Print ISSN 1991-6639
Online ISSN 2949-1940

Том 27 № 6 2025

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ИЗВЕСТИЯ
КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

DOI: 10.35330/1991-6639

12+

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук» (КБНЦ РАН)

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ
КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

Том 27 № 6 2025

Сквозной номер выпуска – 128

Журнал основан в 1998 г. Выходит 6 раз в год

ISSN 1991-6639 (печатная версия), ISSN 2949-1940 (электронная версия)

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-14936 от 20 марта 2003 г. выдано Министерством Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

360010, Российская Федерация, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2
E-mail: ired07@mail.ru

© КБНЦ РАН, 2025

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Federal State Budgetary Scientific Establishment “Federal Scientific Center “Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences” (KBSC RAS)

Science journal

NEWS
OF THE KABARDINO-BALKARIAN SCIENTIFIC CENTER OF RAS

Vol. 27 No. 6 2025

Continuous issue number – 128

The journal was founded in 1998, 6 issues per year

ISSN 1991-6639 (print), ISSN 2949-1940 (online)

Certificate of registration PI No. 77-14936 March 20, 2003 issued by the Ministry of Russian Federation of Press, Broadcasting and Mass Communications

ADDRESS OF THE EDITORIAL OFFICE:

360010, Russian Federation, Kabardino-Balkarian, Nalchik, 2 Balkarov street
E-mail: ired07@mail.ru

© KBSC RAS, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН Том 27 № 6 2025

Редакционная коллегия……7

Математика и механика

Смешанная краевая задача для одного разрывно-нагруженного параболического уравнения
М. М. КАРМОКОВ, М. А. КЕРЕФОВ, С. Х. ГЕККИЕВА……13

Нелокальная краевая задача для нагруженного уравнения Маккендрика – фон Ферстера дробного порядка
Ф. М. ЛОСАНОВА, Р. О. КЕНЕТОВА……24

Об обращении преобразования Лапласа одной функции, содержащей гиперболический тангенс
Ф. Г. ХУШТОВА……30

О единственности решения функционально-интегрального уравнения дробного порядка с инволюцией
Л. М. ЭНЕЕВА……39

Информационные технологии и телекоммуникации

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

Универсальная мобильная платформа для обслуживания станков с числовым программным управлением
С. А. ИСКАКОВ, Р. А. МУНАСЫПОВ, О. В. ЦЕЛИЩЕВ……47

Проектирование мобильного робототехнического комплекса по обслуживанию нефтехранилищ
М. А. ШЕРЕУЖЕВ, А. Е. УШАКОВ, И. В. СЕМЯННИКОВ……60

Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования

Обратная задача по идентификации значений функции переменного порядка дробной производной в математической модели аномальных вариаций объемной активности радона
Д. А. ТВЁРДЫЙ, Р. И. ПАРОВИК……77

Информатика и информационные процессы

Применение мультимодальных нейросетевых методов для определения качества дорожного полотна
М. Г. ГОРОДНИЧЕВ, К. А. ПОЛЯНЦЕВА, И. Д. РАЗУМОВСКИЙ……89

Робастная модификация PSO на основе M-средних для решения задач линейной регрессии
Е. М. КАЗАКОВА……109

Эволюция производственных функций от Кобба–Дугласа до методов машинного обучения
Д. А. КАНАМЕТОВА……117

Логико-математическая интерпретация решений интеллектуальных агентов
Л. А. ЛЮТИКОВА, М. С. КОЧКАРОВА……125

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Разработка архитектуры программного комплекса агентного моделирования интеллектуальных агроинженерных систем
М. И. АНЧЁКОВ……135

Исследование свойств процессов, характеризующихся логистическими кривыми, при помощи вероятностных клеточных автоматов
Д. П. ДИМИТРИЧЕНКО……..…142

Вопросы функционирования информационных систем для повышения производительности технологических циклов в различных отраслях промышленности
Л. С. ЗВЯГИН……...157

«Что делает мозг?», или Решение априорно не определенных проблем на основе синтеза поведения автономного агента в реальной среде
З. В. НАГОЕВ, О. В. НАГОЕВА……...172

Нейропсихологическая архитектура агента универсального искусственного интеллекта
З. В. НАГОЕВ……186

Коллаборативная диалоговая система имитационного моделирования растений на основе нейропсихологических агентов универсального искусственного интеллекта
И. А. ПШЕНОКОВА, М. И. АНЧЁКОВ, К. Ч. БЖИХАТЛОВ, З. В. НАГОЕВ, О. В. НАГОЕВА, А. А. ХАМОВ…….....209

Агрономия, лесное и водное хозяйство

Общее земледелие и растениеводство

Оценка экологической пластичности и стабильности среднеспелых гибридов кукурузы
С. П. АППАЕВ, Л. Х. АЗУБЕКОВ, В. Ю. КАРАЕВ, Б. Р. ШОМАХОВ……225

Продуктивность и экономическая эффективность применения гербицидов при возделывании сахарной свеклы
Н. И. МАМСИРОВ, В. И. БАШКОВ……233

Урожайность и качество зерна сои при возделывании по интенсивным и органическим технологиям в условиях Алтайского края
О. В. ЧЕРЕПАНОВА, В. Н. ЧЕРНЫШКОВ, Д. А. ПУГАЧ, Т. С. БОДНЯ……...251

Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Эффективность инсектицидов против хлопковой совки на кукурузе в степной зоне КБР
А. Х. ШАБАТУКОВ, З. Л. ШИПШЕВА……..257

Экономика

Математические, статистические и инструментальные методы в экономике

Smart-экономика как драйвер трансформации региональной инновационной системы: комплексная оценка, модели и механизмы развития
С. А. МАХОШЕВА……...265

Региональная и отраслевая экономика

Социально-демографические индикаторы национальной безопасности
Ф. Ж. БЕРОВА, И. А. ТАБАКСОЕВ……...279

Интеграция технологий искусственного интеллекта в региональные системы управления: принципы, модели и направления развития
Ж. С. ЖАНГОРАЗОВА, Э. С. БАККУЕВ, М. Ш. ГАЗАЕВА, А. О. КИЛОВ…….287

Исследование теоретических основ, моделей и методов управления процессами формирования системы мотивации акторов региональной экономики с целью создания и развития новых высокотехнологичных отраслей
О. З. ЗАГАЗЕЖЕВА, И. А. МАМБЕТОВ……300

Исследование развития и прогноз отечественного и мирового рынков систем искусственного интеллекта и интеллектуальных робототехнических комплексов
О. З. ЗАГАЗЕЖЕВА, А. А. МАХОШЕВ, К. Ф. КРАЙ, С. Х. ШАЛОВА, М. И. ХАДЖИЕВА……...314

Инклюзивное трудоустройство как концепция социально-экономического благополучия регионов
З. М. КАЗОВА, Л. М. ЦИКАНОВА……..329

Роль агротуризма в развитии сельских территорий Республики Северная Осетия – Алания
В. З. МАЗЛОЕВ…….340

Региональные аспекты демографических процессов в современных условиях
И. А. ТАБАКСОЕВ, Ф. Ж. БЕРОВА……345

Менеджмент

Управление цифровой трансформацией IT-компании
А. С. БАНДУРЯН, А. В. НАЗАРЕНКО……...358

Анализ развития креативной индустрии в России
К. В. САВКА, А. В. НАЗАРЕНКО……369

Принятие стратегических управленческих решений в условиях диверсификации предприятий телекоммуникационной отрасли
А. А. ФЕДОРОВ, А. В. НАЗАРЕНКО…….378

Исторические науки

Документы к истории Высочайшего пожалования земель по Золке и Этоке (1841–1842 гг.)
З. Ж. ГЛАШЕВА……...389

Опыт музеефикации курганов и перспективы создания кургана-музея на территории Кабардино-Балкарской Республики
И. Х. ГУКЕМУХ……...406

К вопросу о функциях Нальчикского окружного полицейского управления в последней трети XIX – начале XX века
И. М. ДАБАГОВА…….426

Петроглифы на горе Букша
Ж. В. КАГАЗЕЖЕВ……...436

Филология

Художественное своеобразие творчества М. С. Гулиева (обзорный анализ)
А. Д. АТАБИЕВА……..444

Трагическое осмысление потери родины в карачаево-балкарских народных песнях о переселении
М. З. УЛАКОВ, Л. С. ГЕРГОКОВА…….454

Национально-культурные особенности фразеологических диалектизмов в карачаево-балкарском языке
М. З. УЛАКОВ, Б. А. МУСУКОВ, Л. Х. МАХИЕВА, Л. Б. КУЧМЕЗОВА……465

Юбиляры

Василию Георгиевичу Закшевскому – 60 лет…….473

Правила для авторов журнала…….475

CONTENTS

News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS Vol. 27 No. 6 2025

Editorial Board……7

Mathematics and Mechanics

Mixed boundary value problem for one discontinuously loaded parabolic equation
M.M. KARMOKOV, M.A. KEREFOV, S.Kh. GEKKIEVA……...13

Nonlocal boundary value problem for the McKendrick – von Foerster loaded equation of fractional-order
F.M. LOSANOVA, R.O. KENETOVA……...24

On inversion of Laplace transform of function, involving hyperbolic tangent
F.G. KHUSHTOVA……..30

On uniqueness of solution to functional-integral equation of fractional order with involution
L.M. ENEEVA……...39

Information Technologies and Telecommunications

Automation and control of technological processes and productions

Universal mobile platform for servicing computer numerical control machines
S.A. ISKAKOV, R.A. MUNASYPOV, O.V. TSELISCHEV……47

Design of a mobile robotic system for servicing oil storage facilities
M.A. SHEREUZHEV, A.E. USHAKOV, I.V. SEMYANNIKOV…….....60

Computer modeling and design automation

Inverse problem on determining variable-order fractional derivative in mathematical model of anomalous variations in radon volumetric activity
D.A. TVERDYI , R.I. PAROVIK……77

Informatics and information processes

Use of multimodal neural network techniques to assess quality of roadways
M.G. GORODNICHEV, K.A. POLYANTSEVA, I.D. RAZUMOVSKY…….....89

Robust modification of PSO algorithm based on M-means for solving linear regression
E.M. KAZAKOVA……...109

Evolution of production functions from Cobb–Douglas to machine learning methods
D.A. KANAMETOVA……..117

Logical and mathematical interpretation of decisions of intelligent agents
L.A. LYUTIKOVA, M.S. KOCHKAROVA……..125

System analysis, management and information processing, statistics

Development of a software architecture for agent-based modeling of intelligent agricultural systems
M.I. ANCHEKOV……...135

Investigation of properties of processes characterized by logistic curves, using probabilistic cellular automata
D.P. DIMITRICHENKO……142

Issues of functioning of information systems for increasing productivity of technological cycles in various industries
L.S. ZVYAGIN……157

"What does the brain do?", or Solving a priori undefined problems based on an autonomous agent behavior in real environment
Z.V. NAGOEV, O.V. NAGOEVA……172

Neuropsychological architecture of a general-purpose artificial intelligence agent
Z.V. NAGOEV ……186

Collaborative dialogue system for plant simulation based on neuropsychological agents of universal artificial intelligence
I.A. PSHENOKOVA, M.I. ANCHEKOV, K.Ch. BZHIKHATLOV, Z.V. NAGOEV, O.V. NAGOEVA, A.A. KHAMOV……..209

Agronomy, Forestry and Water Management

General farming and crop production

Evaluation of ecological plasticity and stability of mid-season corn hybrids
S.P. APPAEV, L.Kh. AZUBEKOV, V.Yu. KARAEV, B.R. SHOMAKHOV……225

Productivity and economic efficiency of herbicide application in sugar beet cultivation
N.I. MAMSIROV, V.I. BASHKOV……..233

Yield and quality of soybean grain when cultivated using intensive and organic technologies in Altai region
O.V. CHEREPANOVA, V.N. CHERNYSHKOV, D.A. PUGACH, T.S. BODNYA……..251

Agrochemistry, agrosoil science, plant protection and quarantine

Effectiveness of insecticides against the cotton bollworm on corn in steppe zone of Kabardino-Balkarian Republic
A.Kh. SHABATUKOV, Z.L. SHIPSHEVA……..257

Economy

Mathematical, statistical and instrumental methods in economics

Smart economy as a driver of regional innovation system transformation: comprehensive assessment, models, and development mechanisms
S.A. MAKHOSHEVA……..265

Regional and sectoral economics

Socio-demographic indicators for national security
F.Zh. BEROVA, I.A. TABAKSOEV……279

Integration of artificial intelligence technologies into regional governance systems: principles, models, and development directions
Zh.S. ZHANGORAZOVA, E.S. BAKKUEV, M.Sh. GAZAEVA, A.O. KILOV ……287

Development of theoretical foundations, models and methods for managing processes of formation of motivation system for regional economic actors to participate in the creation and development of new high-tech industries
O.Z. ZAGAZEZHEVA, I.A. MAMBETOV……...300

Research on development and forecast of domestic and global markets for artificial intelligence systems and intelligent robotic complexes
O.Z. ZAGAZEZHEVA, A.A. MAKHOSHEV, K.F. KRAI, S.Kh. SHALOVA, M.I. KHADZHIEVA……...314

Inclusive employment as a concept of socio-economic well-being of regions
Z.M. KAZOVA, L.M. TSIKANOVA……329

Role of agrotourism in the development of rural areas in the Republic of North Ossetia – Alania
V.Z. MAZLOEV……..340

Regional aspects of demographic processes in modern world
I.A. TABAKSOEV, F.Zh. BEROVA……345

Management

Management of digital transformation of an IT company
A.S. BANDURYAN, A.V. NAZARENKO……358

Analysis of the development of the creative industry in Russia
K.V. SAVKA, A.V. NAZARENKO……...369

Strategic decision-making in context of differentiation in telecommunications industry
A.A. FEDOROV, A.V. NAZARENKO……378

Historical Sciences

Historical documents on Imperial Land Grant along Zolka and Etoka rivers (1841–1842)
Z.Zh. GLASHEVA……...389

Burial mounds museifying experiences and prospects for creating burial mound museum
in Kabardino-Balkarian Republic
I.Kh. GUKEMUKH……406

On functions of Nalchik district police department in last third of 19th and early 20th centuries
I.M. DABAGOVA……426

Petroglyphs on Mount Buksha
Zh.V. KAGAZEZHEV……436

Philology

Artistic originality of M.S. Guliev's work (Review analysis)
A.D. ATABIEVA……..444

Tragic understanding of loss of one's homeland in Karachay-Balkar folk songs
of resettlement
M.Z. ULAKOV, L.S. GERGOKOVA……...454

National and cultural features of phraseological dialecticisms
in Karachay-Balkar language
M.Z. ULAKOV, B.A. MUSUKOV, L.Kh. MAKHIEVA, L.B. KUCHMEZOVA……...465

Anniversaries

Vasily Georgievich Zakshevsky is 60 years old……...473

Publishing regulations for the authors …….....475

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:

Иванов Петр Мацович, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Кабардино-Балкарский научный центр РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Заместитель главного редактора:

Улаков Махти Зейтунович, доктор филологических наук, профессор, Институт гуманитарных исследований – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Ответственный секретарь:

Энеева Лиана Магометовна, кандидат физико-математических наук, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Члены редакционной коллегии:

Абазов Алексей Хасанович, доктор исторических наук, Институт гуманитарных исследований – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Адуков Рухман Хасаинович, доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

Алтухов Анатолий Иванович, академик РАН, доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

Амирханов Хизри Амирханович, академик РАН, доктор исторических наук, профессор, Институт археологии РАН, Москва, Россия

Бабенко Людмила Клементьевна, доктор технических наук, профессор, Таганрогский технологический институт ЮФУ, Таганрог, Россия

Барыкин Сергей Евгеньевич, доктор экономических наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Высшая школа сервиса и торговли, Санкт-Петербург, Россия

Бижоев Борис Чамалович, доктор филологических наук, Институт гуманитарных исследований – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Гукежев Владимир Мицахович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Институт сельского хозяйства – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Дзамихов Касболат Фицевич, доктор исторических наук, профессор, Институт гуманитарных исследований – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Дзюба Владимир Алексеевич, доктор биологических наук, профессор, неаффилированный ученый, Краснодар, Россия

Дохолян Сергей Владимирович, доктор экономических наук, профессор, Федеральный научно-исследовательский социологический центр РАН, Москва, Россия

Завалин Алексей Анатольевич, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, Москва, Россия

Закшевский Василий Георгиевич, академик РАН, доктор экономических наук, профессор, Научно-исследовательский институт экономики и организации агропромышленного комплекса Центрально-Черноземного района РФ, Воронеж, Россия

Иванов Анатолий Беталович, доктор биологических наук, профессор, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Кибиров Алихан Яковлевич, доктор экономических наук, профессор, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

Клейнер Георгий Борисович, член-корреспондент РАН, доктор экономических наук, профессор, Центральный экономико-математический институт РАН, Москва, Россия

Комков Николай Иванович, доктор экономических наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, Санкт-Петербург, Россия

Котляков Владимир Михайлович, академик РАН, доктор географических наук, профессор, Институт географии РАН, Москва, Россия

Кузьминов Валерий Васильевич, доктор физико-математических наук, Баксанская нейтринная обсерватория – центр коллективного пользования Института ядерных исследований РАН, Нейтрино, Приэльбрусье, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Кусраев Анатолий Георгиевич, доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Владикавказский научный центр РАН, Владикавказ, РСО–Алания, Россия

Мазлоев Виталий Зелимханович, доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

Малкандуев Хамид Алиевич, доктор сельскохозяйственных наук, Институт сельского хозяйства – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Мамбетова Фатимат Абдуллаховна, доктор экономических наук, доцент, Институт информатики и проблем регионального управления – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Маслиенко Любовь Васильевна, доктор биологических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В. С. Пустовойта, Краснодар, Россия

Матишов Геннадий Григорьевич, академик РАН, доктор географических наук, профессор, Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

Махошева Салима Александровна, доктор экономических наук, Институт информатики и проблем регионального управления – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Нагоев Залимхан Вячеславович, кандидат технических наук, Кабардино-Балкарский научный центр РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Нечаев Василий Иванович, доктор экономических наук, профессор, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

Попков Юрий Соломонович, академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление», Москва, Россия

Псху Арсен Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Пшихопов Вячеслав Хасанович, доктор технических наук, профессор, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

Рехвиашвили Серго Шотович, доктор физико-математических наук, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Ронжин Андрей Леонидович, доктор технических наук, профессор, профессор РАН, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург, Россия

Савин Игорь Юрьевич, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Российский университет дружбы народов, департамент рационального природопользования Института экологии, Москва, Россия

Семин Александр Николаевич, академик РАН, доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Уральский государственный университет, Институт мировой экономики, Екатеринбург, Россия

Симаков Евгений Алексеевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А. Г. Лорха, Москва, Россия

Скляров Игорь Юрьевич, доктор экономических наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия

Склярова Юлия Михайловна, доктор экономических наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия

Стемпковский Александр Леонидович, академик РАН, доктор технических наук, профессор, Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН, Москва, Россия

Супрунов Анатолий Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Национальный центр зерна им. П. П. Лукьяненко, Краснодар, Россия

Темботова Фатимат Асланбиевна, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, Институт экологии горных территорий им. А. К. Темботова РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Трамова Азиза Мухамадияевна, доктор экономических наук, доцент, Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, Москва, Россия

Филюшин Михаил Александрович, кандидат биологических наук, Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Москва, Россия

Чочаев Алим Хусеевич, доктор экономических наук, профессор, Федеральное государственное унитарное предприятие «Агронаучсервис», Москва, Россия

Шевхужев Анатолий Фоадович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия

Шогенов Юрий Хасанович, академик РАН, доктор технических наук, Отделение сельскохозяйственных наук РАН, Москва, Россия

Янбых Рената Геннадьевна, член-корреспондент РАН, доктор экономических наук, доцент, профессор РАН, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия

EDITORIAL BOARD

Editor in Chief:

Petr M. Ivanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Merited Scientist of the Russian Federation, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Deputy Editor in Chief:

Makhti Z. Ulakov, Doctor of Philology, Professor, Institute for Humanitarian Research – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Responsible Secretary:

Liana M. Eneeva, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Members of the Editorial Board:

Aleksey Kh. Abazov, Doctor of Historical Sciences, Institute for Humanitarian Research – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Rukhman Kh. Adukov, Doctor of Economics, Professor, Merited Scientist of the Russian Federation, Federal Research Center for Agricultural Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Institute of Economics of Agriculture, Moscow, Russia

Anatoly I. Altukhov, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics, Professor, Merited Scientist of the Russian Federation, Federal Research Center for Agricultural Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Institute of Economics of Agriculture, Moscow, Russia

Khizri A. Amirkhanov, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Historical Sciences, Professor, Institute of Archeology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Lyudmila K. Babenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Taganrog Institute of Technology, Southern Federal University, Taganrog, Russia

Sergey E. Barykin, Doctor of Economics, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Higher School of Service and Trade, St. Petersburg, Russia

Boris Ch. Bizhoev, Doctor of Philology, Institute for Humanitarian Research – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Vladimir M. Gukezhev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Institute of Agriculture – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Kasbolat F. Dzamikhov, Doctor of Historical Sciences, Professor, Institute for Humanitarian Research – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Vladimir A. Dzyuba, Doctor of Biological Sciences, Professor, nonaffiliated scientist, Krasnodar, Russia

Sergey V. Dokholyan, Doctor of Economics, Professor, Federal Center of Theoretical and Applied Sociology of RAS, Moscow, Russia

Aleksey A. Zavalin, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, Moscow, Russia

Vasily G. Zakshevsky, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics, Professor, Research Institute for Economics and Organization of the Agro-Industrial Complex of the Central Black Earth Region of the Russian Federation, Voronezh, Russia

Anatoly B. Ivanov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Alikhan Ya. Kibirov, Doctor of Economics, Professor, Federal Scientific Center for Agricultural Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia

Georgy B. Kleiner, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics, Professor, Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Nikolai I. Komkov, Doctor of Economics, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Institute of Economic Forecasting of RAS, St. Petersburg, Russia

Vladimir M. Kotlyakov, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Valery V. Kuzminov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Baksan Neutrino Observatory – center of collective use of Institute for Nuclear Research, Neutrino, Elbrus region, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Anatoly G. Kusraev, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Merited Scientist of the Russian Federation, Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Vladikavkaz, North Ossetia – Alania, Russia

Vitaly Z. Mazloev, Doctor of Economics, Professor, Merited Scientist of the Russian Federation, Federal Research Center for Agrarian Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia

Khamid A. Malkanduev, Doctor of Agricultural Sciences, Institute of Agriculture – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Fatimat A. Mambetova, Doctor of Economics, Associate Professor, Institute of Informatics and Regional Management Problems – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Lyubov V. Maslienko, Doctor of Biological Sciences, All-Russian Research Institute of Oilseeds named after V.S. Pustovoit, Krasnodar, Russia

Gennady G. Matishov, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geography, Professor, Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia

Salima A. Makhosheva, Doctor of Economics, Institute of Informatics and Regional Management Problems – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Zalimkhan V. Nagoev, Candidate of Technical Sciences, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Vasily I. Nechaev, Doctor of Economics, Professor, Federal Research Center for Agrarian Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Center Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia

Yuri S. Popkov, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Merited Scientist of the Russian Federation, Federal Research Center “Informatics and Control”, Moscow, Russia

Arsen V. Pskhu, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Vyacheslav Kh. Pshikhopov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Sergo Sh. Rekhviashvili, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Institute of Applied Mathematics and Automation – Branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Andrey L. Ronzhin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Igor Yu. Savin, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Peoples Friendship University of Russia, Department of Environmental Management of the Institute of Ecology, Moscow, Russia

Alexander N. Semin, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics, Professor, Ural State University, Institute of World Economy, Department of Strategic and Production Management, Ekaterinburg, Russia

Evgeny A. Simakov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, All-Russian Research Institute of Potato Economy named after A.G. Lorkh, Moscow, Russia

Igor Yu. Sklyarov, Doctor of Economics, Professor, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

Yulia M. Sklyarova, Doctor of Economics, Professor, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

Alexander L. Stempkovsky, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute for Design Problems in Microelectronics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Anatoly I. Suprunov, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, National Grain Center named after P.P. Lukyanenko, Krasnodar, Russia

Fatimat A. Tembotova, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor, Institute of Ecology of Mountain Territories named after A.K. Tembotov of RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Aziza M. Tramova, Doctor of Economics, Associate Professor, Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov, Moscow, Russia

Mikhail A. Filyushin, Candidate of Biological Sciences, Federal Research Center "Fundamental Foundations of Biotechnology" of RAS, Moscow, Russia

Alim Kh. Chochaev, Doctor of Economics, Professor, Federal State Unitary Enterprise "Agronauchservis", Moscow, Russia

Anatoly F. Shevkhuzhev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center, Mikhailovsk, Russia

Yuri Kh. Shogenov, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Renata G. Yanbykh, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economic Sciences, Professor, HSE University, Moscow, Russia

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

УДК 517.95 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-13-23
EDN: AMSYXU

Смешанная краевая задача для одного разрывно-нагруженного параболического уравнения

М. М. Кармоков[1], М. А. Керефов[1], С. Х. Геккиева[2]✉

[1]Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х. М. Бербекова
360004, Россия, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173
[2]Институт прикладной математики и автоматизации –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89А

Аннотация. Статья посвящена актуальным вопросам теории уравнений в частных производных, связанных с исследованием краевых задач для нагруженных параболических уравнений с оператором дробного интегро-дифференцирования, представляющих интерес как с точки зрения развития данной теории, так и в связи с многочисленными приложениями исследуемых задач.

Цель исследования – доказательство однозначной разрешимости смешанной краевой задачи для разрывно-нагруженного параболического уравнения с дробной производной Римана – Лиувилля.

Методы исследования. В работе использованы метод функции Грина, теория потенциала простого слоя, теория дробного исчисления.

Результаты. В работе доказана однозначная разрешимость смешанной краевой задачи для нагруженного параболического уравнения дробного порядка.

Заключение. Полученные результаты важны для развития теории краевых задач для уравнений в частных производных дробного порядка, в том числе нагруженных уравнений параболического типа, а также математического моделирования различных процессов и систем с распределенными параметрами, имеющих фрактальную структуру.

Ключевые слова: краевые задачи, параболические уравнения, оператор дробного интегро-дифференцирования, нагруженное уравнение, регулярное решение

Поступила 10.10.2025, одобрена после рецензирования 12.11.2025, принята к публикации 02.12.2025

Для цитирования. Кармоков М. М., Керефов М. А., Геккиева С. Х. Смешанная краевая задача для одного разрывно-нагруженного параболического уравнения // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 13–23. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-13-23

MSC: 35K20 Original article

Mixed boundary value problem for one discontinuously loaded parabolic equation

M.M. Karmokov[1], M.A. Kerefov[1], S.Kh. Gekkieva[2]✉

[1]Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov
173, Chernyshevsky street, Nalchik, 360004, Russia
[2]Institute of Applied Mathematics and Automation –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
89A, Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. This article is devoted to current issues in the theory of partial differential equations related to the study of boundary value problems for loaded parabolic equations with a fractional integro-differentiation operator, which are of interest not only for the advancement of this specific theory, but also for their numerous applications.

© Кармоков М. М., Керефов М. А., Геккиева С. Х., 2025

Aim. The study is to prove the unique solvability of a mixed boundary value problem for a discontinuously loaded parabolic equation with the Riemann–Liouville fractional derivative.

Research methods. The study employs the Green's function method, simple layer potential theory, and fractional calculus theory.

Results. This paper demonstrates the unique solvability of a mixed boundary value problem for a loaded fractional-order parabolic equation.

Conclusion. The results obtained are significant for the development of the theory of boundary value problems for partial differential equations of fractional order, including loaded parabolic equations; they are also relevant for mathematical modeling of various processes and systems with distributed parameters and fractal structures.

***Keywords**:* boundary value problems, parabolic equations, fractional integro-differentiation operator, loaded equation, regular solution

Submitted 10.10.2025, approved after reviewing 12.11.2025, accepted for publication 02.12.2025

For citation. Karmokov M.M., Kerefov M.A., Gekkieva S.Kh. Mixed boundary value problem for one discontinuously loaded parabolic equation. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 13–23. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-13-23

Введение

Исследование дифференциальных уравнений, лежащих в основе математических моделей физико-биологических фрактальных процессов и связанных с ними задач, приводит к качественно новому классу дифференциальных и интегро-дифференциальных уравнений, получивших название нагруженных уравнений, представляющих большой теоретический и практический интерес.

В монографии А. М. Нахушева [1] приведена подробная библиография по нагруженным уравнениям, в том числе по различным применениям нагруженных уравнений: как метод исследования задач математической биологии, математической физики, математического моделирования нелокальных процессов и явлений, механики сплошных сред с памятью.

Представленная работа посвящена исследованию смешанной краевой задачи для разрывно-нагруженного параболического уравнения с дробной производной.

В области $D = \{(x,t): X_1(t) < x < X_2(t), 0 < t < T\}$ рассматривается уравнение

$$L_1 u = \begin{cases} \lambda_1 u_x(x_0,t),\ 0 < t \le T_1, \\ \lambda_2 D_{0t}^{\alpha} u(X_1(t),t),\ T_1 < t < T, \end{cases} \tag{1}$$

где $L_1 u = u_t - a^2 u_{xx}$, λ_i $(i = 1,2)$ – известные постоянные, $X_1(t) < x_0 < X_2(t)$, D_{0t}^{α} – оператор дробного интегро-дифференцирования Римана – Лиувилля порядка α [2], $0 < \alpha < 1$.

Уравнение (1) относится к классу уравнений, предложенных в [3]. В работе [4] методом функции Грина исследована смешанная краевая задача для нагруженного уравнения теплопроводности. Краевые задачи для уравнений в частных производных дробного порядка, включая диффузионно-волновые уравнения, рассмотрены в монографии [5]. Краевые задачи для нагруженных и разрывно-нагруженных параболических уравнений исследованы в последние годы в работах [6–8].

Нелокальные краевые задачи для линейных параболических уравнений рассматривались также в работах [9, 10].

В работах [11, 12] получены решения краевых задач для нагруженного диффузионно-волнового уравнения с дробной производной, а также изучена краевая задача для обобщенного уравнения переноса с дробной производной в полубесконечной области.

Среди более поздних работ отметим также [13], в которой доказана однозначная разрешимость в пространстве Соболева нелокальной задачи с интегральными условиями для

параболического уравнения, а также работы [14, 15], посвященные исследованию разрешимости нелинейных обратных задач для параболических уравнений, в том числе вырождающихся.

Цель настоящего исследования – доказательство однозначной разрешимости смешанной краевой задачи для разрывно-нагруженного параболического уравнения с дробной производной Римана – Лиувилля.

Смешанная краевая задача

Пусть

$$D_1 = \{(x,t): X_1(t) < x < X_2(t), 0 < t < T_1\},$$
$$D_2 = \{(x,t): X_1(t) < x < X_2(t), T_1 < t < T\}.$$

Задача 1. *Найти регулярное в D_1 и D_2 решение $u(x,t)$ уравнения* (1) *из класса* $\mathbb{C}(\overline{D})$, *удовлетворяющее условиям*

$$\begin{gathered} u(x,0) = \varphi(x),\ X_1(0) < x < X_2(0), \\ u_x(X_1(t),t) = v_1(t),\ u(X_2(t),t) = v_2(t), \end{gathered} \tag{2}$$

где $\sqrt{t}X_i(t) \in \mathbb{C}[0,t]$, $X_i(t) \in \mathbb{C}^1(0,t)$, $i = 1, 2$, *причем*

$$\begin{gathered} \varphi(x) \in \mathbb{C}^1[X_1(0), X_2(0)],\ \ v_i(t) \in \mathbb{C}^1[0,t],\ i = 1,2, \\ v_1(0) = \varphi'\big(X_1(0)\big),\ \ v_2(0) = \varphi\big(X_2(0)\big). \end{gathered} \tag{3}$$

Введем обозначения:

$$u_x(X_2(t),t) = f(t), \quad \lim_{x \to X_1(t)} u(x,t) = g(t),$$
$$u_x(x_0(t),t) = w(t), \quad \lim_{t \to T_1} u(x,t) = \psi(x),$$
$$G_1(x,t;\xi,\eta) = \left(2\sqrt{\pi a(t-\tau)}\right)^{-1}\left(e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4a(t-\tau)}} - e^{-\frac{(x+\xi)^2}{4a(t-\tau)}}\right),$$
$$G_2(x,t;\xi,\eta) = \left(2\sqrt{\pi a(t-\tau)}\right)^{-1}\left(e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4a(t-\tau)}} + e^{-\frac{(x+\xi)^2}{4a(t-\tau)}}\right)$$

– функции Грина первой и второй краевых задач уравнения теплопроводности для полупрямой $x > 0$ соответственно.

Справедлива следующая теорема.

Теорема 1. *Задача* (1), (2) *при условиях* (3) *разрешима и притом единственным образом.*

Доказательство. Пусть функция $u(x,t)$ равномерно ограничена в D_1, непрерывна в $\overline{D}_1$ вместе с u_x, за исключением, быть может, точек $(X_i(0), 0)$, $i = 1, 2$, и удовлетворяет в D_1 уравнению (1) при $0 < t < T_1$. В силу свойств функции $X_i(t)$, $i = 1, 2$ для $u(x,t)$ имеем следующее интегральное представление:

$$\begin{aligned} u(x,t) = \int_0^t \Big\{ &[a^2 f(\tau) + V_2(\tau)X_2(\tau)]G_2(x,t;X_2(\tau),\tau) \\ &- a^2\left[V_2(\tau)\frac{\partial}{\partial\xi}G_2(x,t;X_2(\tau),\tau) - g(\tau)\frac{\partial}{\partial\xi}G_2(x,t;X_2(\tau),\tau)\right]\Big\} d\tau \\ &+ \int_{X_1(0)}^{X_2(0)} \varphi(\xi)\, G_2(x,t;\xi,0)d\xi \ + \ \lambda_1 \int_0^t w(\tau)\, d\tau \int_{X_1(\tau)}^{X_2(\tau)} G_2(x,t;\xi,\tau)\, d\xi. \end{aligned} \tag{4}$$

Дифференцируя (4) по x и учитывая, что $\frac{\partial G_1}{\partial x} = -\frac{\partial G_2}{\partial \xi}$, $\frac{\partial G_1}{\partial \xi} = -\frac{\partial G_2}{\partial x}$, получим

$$u_x(x,t) = \int_{X_1(0)}^{X_2(0)} \varphi'(\xi)\, G_1(x,t;\xi,0)d\xi + \lambda_1 \int_0^t w(\tau)\, d\tau \int_{X_1(\tau)}^{X_2(\tau)} G_1(x,t;\xi,\tau)\, d\xi$$
$$+ \int_0^t [g'(\tau)G_1(x,t;X_1(\tau),\tau) - a^2 V_1(\tau)\frac{\partial}{\partial \xi} G_1(x,t;X_1(\tau),\tau) - V_2'(\tau)G_1(x,t;X_2(\tau),\tau) \quad (5)$$
$$+a^2 f(\tau)\frac{\partial}{\partial \xi} G_1(x,t;X_2(\tau),\tau)]d\tau.$$

Пользуясь теоремой о разрывах теплового потенциала двойного слоя [16], находим

$$\lim_{x \to X_2(t)-0} \left(-a^2 \int_0^t f(\tau)\frac{\partial}{\partial \xi} G_1(x,t;X_2(\tau),\tau)\, d\tau \right) = \frac{1}{2} f(t)$$
$$- a^2 \int_0^t f(\tau)\frac{\partial}{\partial \xi} G_1(X_2(t),t;X_2(\tau),\tau)\, d\tau. \quad (6)$$

Следовательно, имеем

$$f(t) = 2\left\{ \left[g(0) - \varphi\left(X_1(0)\right)\right] G_1(X_2(t),t;X_1(0),0) + \int_{X_1(0)}^{X_2(0)} \varphi'(\xi)\, G_1(x,t;\xi,0)d\xi \right.$$
$$- \int_0^t g'(\tau)G_1(X_2(t),t;X_1(\tau),\tau)d\tau - a^2 \int_0^t f(t)\frac{\partial}{\partial \xi} G_1(X_2(t),t;X_1(\tau),\tau)d\tau \quad (7)$$
$$\left. - \lambda_1 \int_0^t w(\tau)\, d\tau \int_{X_1(\tau)}^{X_2(\tau)} \frac{\partial}{\partial \xi} G_1(X_2(t),t;\xi,\tau)\, d\xi \right\}.$$

Переходя к пределу в (4) при $x \to X_2(t) + 0$ для функции $g(t)$, получим

$$g(t) =$$
$$= 2\int_0^t \left\{ -[a^2 V_1(\tau) + g(\tau)X_1'(\tau)]G_2(X_1(t),t;X_1(\tau),\tau) - a^2 g(\tau)\frac{\partial}{\partial \xi} G_2(X_1(t),t;X_1(\tau),\tau) \right.$$
$$\left. + [a^2 f(\tau)V_2(\tau)X_2'(\tau)]G_2(X_1(t),t;X_2(\tau),\tau) - a^2 V_2(\tau)\frac{\partial}{\partial \xi} G_2(X_1(t),t;X_2(\tau),\tau) \right\} d\tau \quad (8)$$
$$+ \int_{X_1(0)}^{X_2(0)} \varphi(\xi)\, G_2(X_1(t),t;\xi,0)d\xi + \lambda_1 \int_0^t w(\tau)\, d\tau \int_{X_1(\tau)}^{X_2(\tau)} G_2(X_1(t),t;\xi,\tau)\, d\xi.$$

Наконец, при $x \to x_0$ из (4) для функции $w(t)$ имеем

$$w(t) = \int_{X_1(0)}^{X_2(0)} \varphi'(\xi)\, G_1(x_0,t;\xi,0)d\xi + \lambda_1 \int_0^t w(\tau)\, d\tau \int_{X_1(\tau)}^{X_2(\tau)} G_1(x_0,t;\xi,\tau)\, d\xi +$$

$$+\int_0^t \Big[g'(\tau)G_1(x_0,t;X_1(\tau),\tau) - a^2V_1(\tau)\frac{\partial}{\partial\xi}G_1(x_0,t;X_1(\tau),\tau) - V_2'(\tau)G_1(x_0,t;X_2(\tau),\tau)d\tau \quad (9)$$
$$+ a^2f(\tau)\frac{\partial}{\partial\xi}G_1(x_0,t;X_2(\tau),\tau)\Big]d\tau.$$

Система (7)–(9) является системой интегральных уравнений Вольтерра второго рода. Из свойств функции Грина, а также условия (3) заключаем, что эта система имеет единственное решение в классе непрерывных функций.

Покажем теперь, что $u(x,t)$ удовлетворяет уравнению L_1u=0 и начальному условию (2). Пользуясь равенством

$$\lim_{t\to 0+}\frac{1}{2\sqrt{\pi at}}\int_\alpha^\beta \varphi(\xi)\,e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4a^2t}}d\xi = \begin{cases} 0, & x \overline{\in} [\alpha,\beta], \\ \frac{1}{2}\varphi(x), & x=\alpha \text{ или } x=\beta, \\ \varphi(x), & x\in(\alpha,\beta), \end{cases} \quad (10)$$

выполняющимся для любой непрерывной функции $\varphi(x)$, находим, что

$$\lim_{\substack{t\to 0\\ x\to X_2(t)}} u(x,t) = \frac{1}{2}V_2(0) + \frac{1}{2}\,\varphi\big(X_2(0)\big).$$

Из $V_2(0) = \varphi\big(X_2(0)\big)$ и (10) следует, что $u(x,t)$ непрерывна в точке $\big(X_2(0)\big)$. Следовательно, u непрерывна в $\overline{D_1}$. Из способа построения (4) ясно, что

$$\lim_{x\to X_2(t)} u_x(x,t) = \frac{1}{2}f(t) + A(X_2(t),t), \quad (11)$$

где A – правая часть (4). Сопоставляя теперь (11) и (5), имеем, что

$$\lim_{x\to X_2(t)} u_x(x,t) = f(t).$$

Аналогично

$$\lim_{\substack{t\to 0\\ x\to X_2(t)}} u_x(x,t) = \varphi'\big(X_2(0)\big), \qquad \lim_{\substack{t\to 0\\ x\to X_1(t)}} u_x(x,t) = \varphi'\big(X_1(0)\big).$$

Далее, так как

$$f_1(0) = \varphi'\big(X_1(0)\big),$$

то

$$\lim_{x\to X_1(t)} u_x(x,t) = \frac{1}{2}f_1(t) + A(X_1(t),t). \quad (12)$$

Отсюда при $t\to 0$:

$$\lim_{\substack{t\to 0\\ x\to X_1(t)}} u_x(x,t) = \frac{1}{2}f_1(0) + \frac{1}{2}\varphi'\big(X_1(0)\big),$$

а это в силу (12) означает, что

$$\lim_{\substack{t\to 0\\ x\to X_1(t)}} u_x(x,t) = \varphi'\big(X_1(0)\big).$$

Аналогично

$$\lim_{\substack{t\to 0\\ x\to X_2(t)}} u_x(x,t) = \varphi'\big(X_2(0)\big).$$

Покажем выполнимость условий (3). Из непрерывности $u(x,t)$ и $u_x(x,t)$ следует применимость к $u(x,t)$ интегрального представления (4).

Положим

$$\lim_{x\to X_1(t)+0} u_x(x,t) = V_1^0(t), \quad \lim_{x\to X_1(t)-0} u(x,t) = V_2^0(t).$$

Тогда получим

$$u(x,t) = \int_0^t [a^2 f(\tau) + V_2^0(\tau)X_2'(\tau)]G_2(x,t;X_2(\tau),\tau)d\tau$$

$$-\int_0^t [a^2 V_1^0(\tau) + g(\tau)X_1'(\tau)]\, G_2(x,t;X_1(\tau),\tau)d\tau - a^2\int_0^t V_2^0(\tau)\frac{\partial}{\partial\xi}G_2(x,t;X_2(\tau),\tau)d\tau$$

$$+a^2\int_0^t g(\tau)\frac{\partial}{\partial\xi}G_2(x,t;X_1(\tau),\tau)d\tau + \int_{X_1(0)}^{X_2(0)} \varphi(\xi)\, G_2(x,t;\xi,0)d\xi \tag{13}$$

$$+\lambda_1\int_0^t w(\tau)\, d\tau \int_{X_1(\tau)}^{X_2(\tau)} G_2(x,t;\xi,\tau)\, d\tau.$$

Положим

$$z_1(t) = V_1(t) - V_1^0(t), \quad z_2(t) = V_2(t) - V_2^0(t).$$

Вычитая (13) из (5), получим

$$0 = \int_0^t \left\{ z_2(\tau)\left[X_2'(\tau) - a^2\frac{\partial}{\partial\xi}\right] G_2(x,t;X_2(\tau),\tau) - a^2 z_1(\tau)G_2(x,t;X_1(\tau),\tau)\right\} d\tau. \tag{14}$$

При $x \to X_2(t) - 0$, пользуясь (6), найдем

$$z_2(t) = 2\int_0^t \{a^2 z_1(\tau)G_2(X_2(t),t;X_1(\tau),\tau)$$

$$+z_2(\tau)\left[X_2'(\tau) + a^2\frac{\partial}{\partial\xi}\right] G_2(X_2(t),t;X_2(\tau),\tau)\}\, d\tau. \tag{15}$$

Далее, дифференцируя (14) по x и переходя к пределу при $x \to X_1(t) + 0$, аналогично получим

$$z_1(t) = -2\int_0^t \left\{ a^2 z_1(\tau)\frac{\partial}{\partial\xi}G_1(X_1(t),t;X_1(\tau),\tau) + z_2(\tau)\frac{\partial}{\partial\tau}G_1(X_1(t),t;X_2(\tau),\tau)\right\} d\tau. \tag{16}$$

Так как $x_2 - x_1 \neq 0$, то второе слагаемое в (16) – ограниченное. Следовательно, система (15), (16) является однородной системой интегральных уравнений Вольтерра второго рода.

Таким образом, $z_1 \equiv z_2 \equiv 0$, что и требовалось доказать. Из единственности решения системы интегральных уравнений (7)–(9) следует единственность решения исходной задачи.

В области D_2 мы имеем следующее интегральное представление:

$$u(x,t) = \int_{T_1}^{t} \Big\{ [a^2 f(\tau) + V_2(\tau) X_2(\tau)] G_2(x,t;X_2(\tau),\tau) - a^2 \left[V_2(\tau) \frac{\partial}{\partial \xi} G_2(x,t;X_2(\tau),\tau) - g(\tau) \frac{\partial}{\partial \xi} G_2(x,t;X_1(\tau),\tau) \right] \Big\} d\tau + \int_{X_1(T_1)}^{X_2(T_1)} u(\xi, T_1)\, G_2(x,t;\xi,T_1) d\xi + \lambda_1 \int_{T_1}^{t} D_{0\tau}^{\alpha} u(X_1(\tau),\tau)\, d\tau \int_{X_1(\tau)}^{X_2(\tau)} G_2(x,t;\xi,\tau)\, d\xi. \tag{17}$$

Рассмотрим интеграл

$$I_1 = \lambda_1 \int_{T_1}^{t} D_{0\tau}^{\alpha} u(X_1(\tau),\tau)\, G_2(x,t;\xi,\tau) d\tau.$$

При $\alpha < 0$

$$I_1 = \frac{\lambda_1}{\Gamma(-\alpha)} \int_{T_1}^{t} (t-\tau_1)^{-\alpha_j - 1} u(X_1(\tau),\tau)\, d\tau_1 \int_{t}^{\tau} G_2^0\,(x,t;\xi,\tau)(t-\tau)^{-\frac{1}{2}} d\tau$$

$$= \frac{\lambda_1}{\Gamma(-\alpha)} \int_{T_1}^{t} u(X_1(\tau_1),\tau_1)(t-\tau_2)^{-\alpha-\frac{1}{2}} d\tau_1 \int_{0}^{1} G_2^0\,(x,t;\xi,\tau_1 d\tau$$

$$+ (t-\tau_1)y)\, y^{-1-\alpha}(1-y)^{-\frac{1}{2}} dy,$$

а при $0 < \alpha < \frac{1}{2}$

$$I_1 = -\frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \int_{T_1}^{t} u(X_1(\tau_1),\tau_1)\, d\tau_1 \frac{d}{d\tau_1} (t-\tau_1)^{\frac{1}{2}-\alpha} \int_{0}^{1} G_2^0\,(x,t;\xi,\tau_1 + (t-\tau_1)y) y^{-\alpha}(1-y)^{-\frac{1}{2}} dy,$$

где

$$G_2^0(x,t;\xi,\tau_1) = (t-\tau_1)^{\frac{1}{2}} G_2(x,t;\xi,\tau).$$

При $x \to X_1(t)$ из (17) имеем

$$u(X_1(t),t) = \int_{T_1}^{t} \frac{K(t,\tau) u(X_1(\tau),\tau)}{(t-\tau)^{\alpha+1/2}} d\tau + F(t), \tag{18}$$

где

$$F(t) = \int_{T_1}^{t} \Big\{ [a^2 f(\tau) + V_2(\tau) X_2(\tau)] G_2(X_1(t), t; X_2(\tau), \tau)$$
$$- a^2 \Big[V_2(\tau) \frac{\partial}{\partial \xi} G_2(x, X_1(t); X_2(\tau), \tau) - g(\tau) \frac{\partial}{\partial \xi} G_2(X_1(t), t; X_1(\tau), \tau) \Big] \Big\} d\tau$$
$$+ \int_{X_1(T_1)}^{X_2(T_1)} u(\xi, T_1)\, G_2(X_1(t), t; \xi, T_1) d\xi,$$

при $\alpha < 0$

$$K(t, \tau) = \frac{\lambda_1}{\Gamma(-\alpha)} \int_0^1 \int_{X_1(\tau)}^{X_2(\tau)} G_2^0(X_1(t), t; \xi, \tau_1 + (t - \tau_1) y) y^{-1-\alpha} (1 - y)^{-\frac{1}{2}} d\xi\, dy,$$

при $0 < \alpha < \frac{1}{2}$

$$K(t, \tau) = \frac{\lambda_1 (t - \tau)^{\alpha + 1/2}}{\Gamma(1 - \alpha)} \frac{d}{d\tau} (t - \tau)^{\frac{1}{2} - \alpha} \int_0^1 G_2^0\,(x, t; \xi, \tau + (t - \tau) y) d\xi.$$

Пользуясь (18), а также соотношениями (7), (8) для определения $f(t)$ и $g(t)$ в области D_2, получим единственное решение поставленной задачи в области D_2.

Заключение

Таким образом, в данной работе доказана однозначная разрешимость смешанной краевой задачи для нагруженного параболического уравнения дробного порядка. Полученные результаты важны для развития теории краевых задач для уравнений в частных производных дробного порядка, в том числе нагруженных уравнений параболического типа, а также математического моделирования различных процессов и систем с распределенными параметрами, имеющих фрактальную пространственно-временную структуру.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нахушев А. М.* Нагруженные уравнения и их применение. М.: Наука, 2012. 232 с. EDN: RPBPQZ

2. *Нахушев А. М.* Дробное исчисление и его применение. М.: Физматлит, 2003. 272 с. EDN: UGLEPD

3. *Нахушев А. М.* О задаче Дарбу для одного вырождающегося нагруженного интегро-дифференциального уравнения второго порядка // Дифференц. уравнения. 1976. Т. 12. № 1. С. 103–108. EDN: PDBUJB

4. *Дикинов Х. Б., Керефов А. А., Нахушев А. М.* Об одной краевой задаче для нагруженного уравнения теплопроводности // Дифференц. уравнения. 1976. Т. 12. № 1. С. 177–179. EDN: PBDAVT

5. *Псху А. В.* Уравнения в частных производных дробного порядка. М.: Наука, 2005. 199 с. EDN: QJPLZX

6. *Кармоков М. М., Нахушева Ф. М., Абрегов М. Х.* Краевая задача для нагруженного параболического уравнения дробного порядка // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. № 1(117). С. 69–77. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-1-69-77

7. *Кармоков М. М., Нахушева Ф. М., Геккиева С. Х.* Краевые задачи для разрывно-нагруженных параболических уравнений // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. 2024. Т. 30. № 4. С. 7–17. DOI: 10.18287/2541-7525-2024-30-4-7-17

8. *Геккиева С. Х., Керефов М. А.* Смешанные краевые задачи для нагруженного уравнения с дробной производной // Нелокальные краевые задачи и родственные проблемы математической биологии, информатики и физики: материалы III Международной конференции. Нальчик, 2006. С. 80–82. EDN: QKREBL

9. *Кожанов А. И.* Нелокальная по времени краевая задача для линейных параболических уравнений // Сибирский журнал индустриальной математики. 2004. Т. 7. № 1(17). С. 51–60. EDN: HZOGQL

10. *Кожанов А. И.* О разрешимости краевой задачи с нелокальным граничным условием для линейных параболических уравнений // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки. 2004. № 30. С. 63–69. EDN: HKZXBD

11. *Геккиева С. Х.* Смешанные краевые задачи для нагруженного диффузионно-волнового уравнения // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Математика. Физика. 2016. № 6(227). С. 32–35. EDN: VUUBKR

12. *Геккиева С. Х.* Краевая задача для обобщенного уравнения переноса с дробной производной в полубесконечной области // Современные методы в теории краевых задач. Материалы Воронежской весенней математической школы «Понтрягинские чтения – XIII». Воронеж, ВГУ, 2002. С. 37. EDN: VNGVYT

13. *Бейлин А. Б., Богатов А. В., Пулькина Л. С.* Задача с нелокальными условиями для одномерного параболического уравнения // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки. 2022. Т. 26. № 2. С. 380–395. DOI: 10.14498/vsgtu1904

14. *Кожанов А. И., Ашурова Г. Р.* Параболические уравнения с вырождением и неизвестным коэффициентом // Математические заметки СВФУ. 2024. Т. 31. № 1. С. 56–69. DOI: 10.25587/2411-9326-2024-1-56-69

15. *Богатов А. В., Пулькина Л. С.* Разрешимость обратной коэффициентной задачи с интегральным переопределением для одномерного параболического уравнения // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. 2022. Т. 28. № 3-4. С. 7–17. DOI: 10.18287/2541-7525-2022-28-3-4-7-17

16. *Фридман А.* Уравнения с частными производными параболического типа. М.: Мир, 1968. 427 с.

REFERENCES

1. Nakhushev A.M. *Nagruzhennye uravneniya i ih primenenie* [Loaded equations and their application]. Moscow: Nauka, 2012. 232 p. EDN: RPBPQZ. (In Russian)

2. Nakhushev A.M. *Drobnoe ischislenie i ego primenenie* [Fractional calculus and its applications]. Moscow: Fizmatlit, 2003. 272 p. EDN: UGLEPD. (In Russian)

3. Nakhushev A.M. On the Darboux problem for a degenerate loaded second-order integro-differential equation. *Differential Equations*. 1976. Vol. 12. No. 1. Pp. 103–108. EDN: PDBUJB. (In Russian)

4. Dikinov Kh.B., Kerefov A.A., Nakhushev A.M. On a boundary value problem for a loaded heat conduction equation. *Differential Equations*. 1976. Vol. 12. No. 1. Pp. 177–179. EDN: PBDAVT. (In Russian)

5. Pskhu A.V. *Uravneniya v chastnyh proizvodnyh drobnogo poryadka* [Fractional-order partial differential equations]. Moscow: Nauka, 2005. 199 p. EDN: QJPLZX. (In Russian)

6. Karmokov M.M., Nakhusheva F.M., Abregov M.Kh. Boundary value problem for loaded parabolic equations of fractional order. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2024. Vol. 26. No. 1. Pp. 69–77. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-1-69-77. (In Russian)

7. Karmokov M.M., Nakhusheva F.M., Gekkieva S.Kh. Boundary value problems for discontinuously loaded parabolic equations. *Vestnik of Samara University. Natural Science Series*. 2024. Vol. 30. No. 4. Pp. 7–17. DOI: 10.18287/2541-7525-2024-30-4-7-17. (In Russian)

8. Gekkieva S.Kh., Kerefov M.A. Mixed boundary value problems for a loaded equation with a fractional derivative. *Nelokal'nye kraevye zadachi i rodstvennye problemy matematicheskoy biologii, informatiki i fiziki: materialy III Mezhdunarodnoy konferencii* [Nonlocal boundary value problems and related problems in Mathematical Biology, Computer Science, and Physics: materials of the III International Conference]. Nalchik, 2006. EDN: QKREBL. (In Russian)

9. Kozhanov A.I. A non-local in time boundary value problem for linear parabolic equations. *Sibirskii Zhurnal Industrial'noi Matematiki*. 2004. Vol. 7. No. 1(17). Pp. 51–60. EDN: HZOGQL. (In Russian)

10. Kozhanov A.I. On the solvability of an edge problem with a non-local boundary condition for linear parabolic equations. *Journal of Samara State Technical University. Ser. Physical and Mathematical Sciences*. 2004. No. 30. Pp. 63–69. EDN: HKZXBD. (In Russian)

11. Gekkieva S.Kh. Mixed boundary value problems for a loaded diffusion-wave equation. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematika. Fizika* [Scientific Bulletin of Belgorod State University. Series: Mathematics. Physics]. 2016. No. 6(227). Pp. 32–35. EDN: VUUBKR. (In Russian)

12. Gekkieva S.Kh. Boundary value problem for a generalized transport equation with a fractional derivative in a semi-infinite domain. *Sovremennye metody v teorii kraevyh zadach. Materialy Voronezhskoy vesenney matematicheskoy shkoly "Pontryaginskie chteniya-XIII"* [Modern methods in the theory of boundary value problems. Proceedings of the Voronezh Spring Mathematical School "Pontryagin Readings-XIII"]. Voronezh: VGU, 2002. P. 37. EDN: VNGVYT. (In Russian)

13. Beilin A.B., Bogatov A.V., Pulkina L.S. A problem with non-local conditions for a one-dimensional parabolic equation. *Journal of Samara State Technical University. Ser. Physical and Mathematical Sciences*. 2022. Vol. 26. No. Pp. 380–395. DOI: 10.14498/vsgtu1904. (In Russian)

14. Kozhanov A.I., Ashurova G.R. Parabolic equations with degeneracy and unknown coefficient. *Mathematical Notes of NEFU*. 2024. Vol. 31. No. 1. Pp. 56–69. DOI: 10.25587/2411-9326-2024-1-56-69. (In Russian)

15. Bogatov A.V., Pulkina L.S. Solvability of the inverse coefficient problem with integral redefinition for a one-dimensional parabolic equation. *Vestnik of Samara University. Natural Science Series*. 2022. Vol. 28, No. 3-4. Pp. 7–17. DOI: 10.18287/2541-7525-2022-28-3-4-7-17. (In Russian)

16. Fridman A. *Uravneniya s chastnymi proizvodnymi parabolicheskogo tipa* [Parabolic partial differential equations]. Moscow: Mir, 1968. 427 p. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Кармоков Мухамед Мацевич, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики и информатики, Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х. М. Бербекова;
360004, Россия, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173;
mkarmokov@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5189-6538, SPIN-код: 1771-6984

Керефов Марат Асланбиевич, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики и информатики, Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х. М. Бербекова;
360004, Россия, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173;
kerefov@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7442-5402, SPIN-код: 1424-6720

Геккиева Сакинат Хасановна, канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. отдела вычислительных методов, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А;
gekkieva_s@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2135-2115, SPIN-код: 6711-3471

Information about the authors

Mukhamed M. Karmokov, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Department of Applied Mathematics and Computer Science, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov;
173, Chernyshevsky street, Nalchik, 360004, Russia;
mkarmokov@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5189-6538, SPIN-code: 1771-6984

Marat A. Kerefov, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Department of Applied Mathematics and Computer Science, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov;
173, Chernyshevsky street, Nalchik, 360004, Russia;
kerefov@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7442-5402, SPIN-code: 1424-6720

Sakinat Kh. Gekkieva, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, Department of Computational Methods, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
89 A, Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia;
gekkieva_s@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2135-2115, SPIN-code: 6711-3471

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

УДК 517.95 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-24-29
EDN: BHXCHC

Нелокальная краевая задача для нагруженного уравнения Маккендрика – фон Ферстера дробного порядка

Ф. М. Лосанова✉, Р. О. Кенетова

Институт прикладной математики и автоматизации –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А

Аннотация. В работе рассматривается нагруженное уравнение Маккендрика – фон Ферстера дробного порядка.

Цель исследования – доказать, что при соблюдении условий регулярности функций начальных и граничных условий существует единственное решение нагруженного уравнения в рассматриваемой области Ω.

Методы исследования. Решение найдено путем редуцирования к системе интегральных уравнений Вольтерра 2-го рода. Применялся аппарат дробного исчисления.

Результаты. Доказаны существование и единственность решения нелокальной краевой задачи для нагруженного уравнения Маккендрика – фон Ферстера дробного порядка, а также получена явная его форма в виде интегральных выражений.

Выводы. Результаты имеют важное значение для математического моделирования популяционной динамики с учетом возрастных аспектов и диффузионных эффектов с памятью, реализуемых через дробные производные. Полученные выводы расширяют теоретическую базу для анализа подобных дифференциальных уравнений и могут быть использованы для дальнейших исследований в области математической биологии и теории дифференциальных уравнений с памятью.

Ключевые слова: производная Герасимова – Капуто, нагруженное уравнение, уравнения Маккендрика – фон Ферстера, функция Райта, уравнения дробного порядка

Поступила 02.10.2025, одобрена после рецензирования 02.11.2025, принята к публикации 17.11.2025

Для цитирования. Лосанова Ф. М., Кенетова Р. О. Нелокальная краевая задача для нагруженного уравнения Маккендрика – фон Ферстера дробного порядка // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 24–29. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-24-29

MSC: 35A02, 35C15 Original article

Nonlocal boundary value problem for the McKendrick – von Foerster loaded equation of fractional-order

F.M. Losanova✉, R.O. Kenetova

Institute of Applied Mathematics and Automation –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
89 A, Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. The paper considers McKendrick–von Foerster loaded equation of fractional-order.

Aim. The study aims to demonstrate the existence of a unique solution 'loaded equation' within Ω, contingent upon satisfaction of regularity conditions.

© Лосанова Ф. М., Кенетова Р. О., 2025

Research methods. The convergence towards a solution was achieved via a reduction to a Volterra integral equation system, specifically of the second order. Employed the fractional calculus operator.

Results. Given the McKendrick – von Foerster loaded equation of fractional-order, the existence and uniqueness of a solution to a nonlocal boundary value problem is proven. An explicit representation of the solution is derived, expressed as integral equations.

Conclusion. The derived results facilitate mathematical modeling, specifically applied to population dynamics. Consider age-structured populations and incorporate diffusion phenomena exhibiting memory effects, formally representable via fractional-order derivatives. The derived theorems augment the axiomatic foundation for analyzing said differential equations, enabling further investigation in mathematical biology and the theory of integro-differential equations.

Keywords: Gerasimov – Caputo derivative, loaded equation, McKendrick – von Foerster equations, Wright function, fractional order equations

Submitted 02.10.2025, approved after reviewing 02.11.2025, accepted for publication 17.11.2025

For citation. Losanova F.M., Kenetova R.O. Nonlocal boundary value problem for the McKendrick – von Foerster loaded equation of fractional-order. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 24–29. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-24-29

Введение

В области $\Omega = \{(x,t)\colon 0 < x < 1,\ 0 < t < T\}$ рассмотрим нагруженное уравнение вида

$$u_x(x,t) + \lambda \partial_{0t}^{\alpha} u(x,t) + \sum_{k=1}^{n} \lambda_k u(x_k,t) = f(x,t), \qquad (1)$$

где λ, λ_k – заданные вещественные числа, $\lambda \neq 0$, $\sum_{k=1}^{n} \lambda_k \neq 0$, x_k – фиксированные точки внутри интервала $(0,1)$, $f(x,t)$ – заданная вещественная функция, $\partial_{0t}^{\alpha} u(x,t)$ – регуляризованная дробная производная Герасимова – Капуто порядка α, $0 < \alpha < 1$, определяемая равенством [1]

$$\partial_{0t}^{\alpha} u(x,t) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \int_0^t \frac{u_\eta(x,\eta)}{(t-\eta)^{\alpha}} d\eta.$$

Уравнение (1) относится к классу нагруженных дифференциальных уравнений. При $\alpha = 1$ и $\lambda_k = 0$ уравнение (1) называется уравнением неразрывности Маккендрика – фон Ферстера [2, с. 244].

Уравнение вида (1) при $\alpha = 1$ и $\lambda_k = 0$ было рассмотрено многими авторами. Для линейного дифференциального уравнения вида (1) с постоянными коэффициентами решена задача Коши в прямоугольной области в работе [3]. Для уравнения (1) с оператором Римана – Лиувилля с переменными коэффициентами в работе [4] доказана теорема об однозначной разрешимости краевой задачи в прямоугольной области, а в работе [5] для того же уравнения доказаны теоремы существования и единственности решения задачи Коши в нелокальной постановке. В [6] рассмотрена краевая задача для уравнения в частных производных дробного порядка, не превосходящего единицу в области с криволинейной границей. При $\alpha = 1$ в работе [7] была рассмотрена динамика популяции, основанная на возрастной модели, учитывающей эффект «насыщения».

В работе [8] для уравнения (1) при $\lambda_k = 0$ рассмотрена динамика возрастной структуры популяции с интегральным условием, а в [9] решена ее обратная задача.

В работе [10] для уравнения (1) при $k = 1$ была рассмотрена динамика численности популяции с возрастной структурой с учетом миграции.

В математическом моделировании уравнение (1) можно использовать для описания развития замкнутой популяции особей с учетом межвозрастных взаимодействий и миграционных процессов, где функция $u(x,t)$ определяет плотность численности популяции возраста *x* в момент времени *t*.

Постановка задачи

Введем понятие регулярного решения.

Определение. *Регулярным решением уравнения (1) в области Ω назовем функцию $u = u(x,t)$ из класса $u(x,t) \in C(\bar{\Omega})$, функция $u(x,t)$ непрерывно дифференцируема по x, является абсолютно непрерывной как функция переменной t на отрезке $[0,1]$ при каждом x из интервала $(0,1)$, а также удовлетворяет уравнению (1).*

Исследуется следующая задача

Задача. *В области Ω требуется найти регулярное решение $u(x,t)$ уравнения (1), удовлетворяющее условиям*

$$u(x,0) = \tau(x), \qquad 0 \le x \le 1, \tag{2}$$

$$u(0,t) = \varphi(t), \qquad 0 \le t \le T, \tag{3}$$

где $\tau(x), \varphi(t)$ – заданные функции.

Представление решения

Перепишем уравнение (1) в виде

$$u_x(x,t) + \lambda \partial_{0t}^{\alpha} u(x,t) = F(x,t), \tag{4}$$

где

$$F(x,t) = f(x,t) - \textstyle\sum_{k=1}^{n} \lambda_k u(x_k,t). \tag{5}$$

Для решения задачи (2), (3) для уравнения (4) воспользуемся представлением решения [11, с. 64]

$$u(x,t) = \int_0^x \tau(\xi) t^{-\alpha} e_{1,\alpha}^{1,1-\alpha}\left(-\frac{x-\xi}{t^{\alpha}}\right) d\xi + \int_0^t \int_0^x \frac{F(\xi,\eta)}{t-\eta} e_{1,\alpha}^{1,0}\left(-\frac{x-\xi}{(t-\eta)^{\alpha}}\right) d\xi d\eta. \tag{6}$$

Подставим (5) в уравнение (6):

$$u(x,t) + \int_0^t \int_0^x \frac{\sum_{k=1}^{n} \lambda_k u(x_k,\eta)}{t-\eta} e_{1,\alpha}^{1,0}\left(-\frac{x-\xi}{(t-\eta)^{\alpha}}\right) d\xi d\eta =$$

$$= \int_0^x \tau(\xi) t^{-\alpha} e_{1,\alpha}^{1,1-\alpha}\left(-\frac{x-\xi}{t^{\alpha}}\right) d\xi + \int_0^t \int_0^x \frac{f(\xi,\eta)}{t-\eta} e_{1,\alpha}^{1,0}\left(-\frac{x-\xi}{(t-\eta)^{\alpha}}\right) d\xi d\eta. \tag{7}$$

После небольших преобразований уравнение (7) перепишем в виде

$$u(x,t) + \int_0^t \textstyle\sum_{k=1}^{n} \lambda_k u(x_k,\eta)\, K(x,t,\eta) d\eta = F_1(x,t), \tag{8}$$

где

$$K(x,t,\eta) = \int_0^x \frac{1}{t-\eta} e_{1,\alpha}^{1,0}\left(-\frac{x-\xi}{(t-\eta)^{\alpha}}\right) d\xi = (t-\eta)^{\alpha-1} e_{1,\alpha}^{1,\alpha}\left(-\frac{x-\xi}{(t-\eta)^{\alpha}}\right),$$

$$F_1(x,t) = \int_0^t \int_0^x \frac{f(\xi,\eta)}{t-\eta} e_{1,\alpha}^{1,0}\left(-\frac{x-\xi}{(t-\eta)^{\alpha}}\right) d\xi d\eta - \int_0^x \tau(\xi) t^{-\alpha} e_{1,\alpha}^{1,1-\alpha}\left(-\frac{x-\xi}{t^{\alpha}}\right) d\xi.$$

Пусть в уравнении (8) $\sum_{k=1}^{n} \lambda_k u(x_k, t) = U(t)$. При $x \to x_i$, домножим (8) на λ_i и суммируем по i, $1 < i < n$. Тогда получим систему интегральных уравнений:

$$U(t) + \int_0^t U(\eta) \sum_{i=1}^{n} \lambda_i K(x_i, t, \eta)\, d\eta = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i F_1(x_i, t). \quad (9)$$

Уравнение (9) представляет собой интегральное уравнение Вольтерра 2-го рода с ядром $\sum_{i=1}^{n} \lambda_i K(x_i, t, \eta)$, решение которого выписывается в виде

$$U(t) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i F_1(x_i, t) + \int_0^t R(x_i, t, \eta) \sum_{i=1}^{n} \lambda_i F_1(x_i, \eta) d\eta, \quad (10)$$

где $R(x_i, t, \eta)$ – резольвента ядра

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_i K(x_i, t, \eta) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i (t-\eta)^{\alpha-1} e_{1,\alpha}^{1,\alpha}\left(-\frac{x_i-\xi}{(t-\eta)^{\alpha}}\right).$$

Основной результат работы

В работе доказана следующая

Теорема. *Пусть* $0 < \alpha < 1$, $\tau(x) \in C[0,1]$, $\varphi(t) \in \mathrm{C}[0,T]$, $R(x_i, t, \eta)$, $F_1(x_i, t)$ *и* $f(x,t) \in C(\bar{\Omega})$, $f(x,t)$ *удовлетворяет условию Гельдера по одной из переменных, и выполнено условие согласования* $\varphi(0) = \tau(0)$.

Тогда существует единственное регулярное решение уравнения (1) в области Ω, *удовлетворяющее условиям (2) и (3), и имеет вид*

$$u(x,t) = \int_0^x \tau(\xi) t^{-\alpha} e_{1,\alpha}^{1,1-\alpha}\left(-\frac{x-\xi}{t^{\alpha}}\right) d\xi +$$

$$+ \int_0^t \int_0^x \Big[f(\xi,\eta) + \sum_{i=1}^{n} \lambda_i F_1(x_i, \eta) + \int_0^{\eta} R(x_i, \eta, \chi) \sum_{i=1}^{n} \lambda_i F_1(\xi_i, \chi) d\chi \Big] \times$$

$$\times \frac{1}{t-\eta} e_{1,\alpha}^{1,0}\left(-\frac{x-\xi}{(t-\eta)^{\alpha}}\right) d\xi d\eta.$$

Заключение

Таким образом, в данной работе было рассмотрено нагруженное уравнение дробного порядка. Было установлено, что при соблюдении условий регулярности функций начальных и граничных условий существует единственное решение уравнения в области Ω. Решение было найдено путем редуцирования к системе интегральных уравнений Вольтерра 2-го рода.

Доказаны существование и единственность решения поставленной задачи, а также получена явная его форма в виде интегральных выражений. Результаты имеют важное значение для математического моделирования популяционной динамики с учетом возрастных аспектов и диффузионных эффектов с памятью, реализуемых через дробные производные. Полученные выводы расширяют теоретическую базу для анализа подобных дифференциальных уравнений и могут быть использованы для дальнейших исследований в области математической биологии и теории дифференциальных уравнений с памятью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нахушев А. М.* Дробное исчисление и его применение. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 272 с. EDN: UGLEPD

2. *Нахушев А. М.* Уравнения математической биологии. М.: Высшая школа, 1995. 301 с. EDN: PDBBNB

3. *Псху А. В.* Краевая задача для дифференциального уравнения с частными производными дробного порядка // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2002. № 1(8). С. 76–78. EDN: VOVONL

4. *Мамчуев М. О.* Краевая задача для уравнения первого порядка с частной производной дробного порядка с переменными коэффициентами // Доклады АМАН. 2009. Т. 11. № 1. С. 32–35. EDN: OHVXZT

5. *Мамчуев М. О.* Задача Коши в нелокальной постановке для уравнения первого порядка с частной производной дробного порядка с переменными коэффициентами // Доклады АМАН. 2009. Т. 11. № 2. С. 21–24. EDN: OHLUYD

6. *Псху А. В.* О краевой задаче для уравнения в частных производных дробного порядка в области с криволинейной границей // Дифференциальные уравнения. 2015. Т. 51. № 8. С. 1076–1082. DOI: 10.1134/S0374064115080117

7. *Кайгермазов А. А., Кудаева Ф. Х.* Стационарные состояния обобщенной популяционной модели Вейбулла // Южно-Сибирский научный вестник. 2015. № 1(19). С. 10–14. EDN: TPEXPD

8. *Лосанова Ф. М., Кенетова Р. О.* Нелокальная задача для обобщенного уравнения МакКендрика – фон Ферстера с оператором Капуто // Нелинейный мир. 2018. Т. 16. № 1. С. 49–53. EDN: YQLELZ

9. *Лосанова Ф. М.* Обратная задача для уравнения Мак-Кендрика – фон Ферстера с оператором Капуто // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2022. Т. 40. № 3. С. 111–118. DOI: 10.26117/2079-6641-2022-40-3-111-118

10. *Лосанова Ф. М., Кенетова Р. О.* Краевая задача для нагруженного уравнения Маккендрика – фон Ферстера дробного порядка // Доклады АМАН. 2023. Т. 23. № 4. С. 28–33. DOI: 10.47928/1726-9946-2023-23-4-28-33. EDN: UUZSAY

11. *Псху А. В.* Уравнения в частных производных дробного порядка. М.: Наука, 2005. 199 с. EDN: QJPLZX

REFERENCES

1. Nakhushev A.M. *Drobnoe ischislenie i ego primenenie* [Fractional calculus and its applications]. Moscow: FIZMATLIT, 2003. 272 p. EDN: UGLEPD. (In Russian)

2. Nakhushev A.M. *Uravneniya matematicheskoy biologii* [Equations of mathematical biology]. Moscow: Vysshaya shkola, 1995. 301 p. EDN: PDBBNB. (In Russian)

3. Pskhu A.V. Boundary value problem for fractional partial differential equation. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2002. No. 1(8). Pp. 76–78. EDN: VOVONL. (In Russian)

4. Mamchuev M.O. Boundary value problem for a first-order partial differential equation of fractional order with variable coefficients. *Adyghe Int. Sci. J.* 2009. Vol. 11. No. 1. Pp. 32–35. EDN: OHVXZT. (In Russian)

5. Mamchuev M.O. Cauchy problem in a nonlocal statement for a first-order partial differential equation of fractional order with variable coefficients. *Adyghe Int. Sci. J.* 2009. Vol. 11. No. 2. Pp. 21–24. EDN: OHLUYD. (In Russian)

6. Pskhu A.V. On a boundary value problem for a partial differential equation of fractional order in a domain with a curvilinear boundary. *Differential Equations*. 2015. Vol. 51. No. 8. Pp. 1076–1082. DOI: 10.1134/S0374064115080117. (In Russian)

7. Kaygermazov A.A., Kudayeva F.Kh. Steady states of the generalized Weibull population model. *South-Siberian Scientific Bulletin*. 2015. Vol. 17. No. 1(19). mart. Pp. 10–14. EDN: TPEXPD. (In Russian)

8. Losanova F.M., Kenetova R.O. Nonlocal problem for the generalized McKendrick – von Foerster equation with the Caputo operator. *Nonlinear World*. 2018. Vol. 16. No. 1. Pp. 49–53. EDN: YQLELZ. (In Russian)

9. Losanova F.M. Inverse problem for McKendrick von Foerster equation with Caputo operator. *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki.* 2022. Vol. 40. No. 3. Pp. 111–118. DOI: 10.26117/2079-6641-2022-40-3-111-118. (In Russian)

10. Losanova F.M., Kenetova R.O. Boundary value problem for the loaded McKendrick – von Foerster equation of fractional order. *Adyghe Int. Sci. J.* 2023. Vol. 23. No. 4. Pp. 28–33. DOI: 10.47928/1726-9946-2023-23-4-28-33. EDN: UUZSAY. (In Russian)

11. Pskhu A.V. *Uravneniya v chastnykh proizvodnykh drobnogo poryadka* [Fractional Partial Differential Equations]. Moscow: Nauka, 2005. 199 p. EDN: QJPLZX. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Института прикладной математики и автоматизации – филиала Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук (тема № 125031904191-2).

Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (topic No. 125031904191-2).

Информация об авторах

Лосанова Фатима Мухамедовна, науч. сотр. лаборатории синергетических проблем, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А;

losanovaf@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6342-7162, SPIN-код: 8328-6335

Кенетова Раиса Османовна, канд. физ.-мат. наук, заведующий лабораторией синергетических проблем, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А;

kenetova_r@mail.ru, SPIN-код: 8888-9163

Information about the authors

Fatima M. Losanova, Researcher, Laboratory of Synergetic Problems, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

89 A, Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia;

losanovaf@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6342-7162, SPIN-code: 8328-6335

Raisa O. Kenetova, Candidate of Physics and Mathematics, Head of Laboratory of Synergetic Problems, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

89 A, Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia;

kenetova_r@mail.ru, SPIN-code: 8888-9163

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

УДК 517.44 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-30-38
EDN: BJSKOG

Об обращении преобразования Лапласа одной функции, содержащей гиперболический тангенс

Ф. Г. Хуштова

Институт прикладной математики и автоматизации –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А

Аннотация. В работе рассматривается обращение преобразования Лапласа одной функции, содержащей гиперболический тангенс. Указанная функция возникает при решении краевой задачи в ограниченной области с условиями второго и третьего рода для уравнения теплопроводности.

Цель исследования – обращение преобразования Лапласа функции, возникающей при решении краевой задачи с условиями второго и третьего рода для уравнения теплопроводности.

Результаты. Используя теорему о вычетах и методы теории функций комплексного переменного, получили обращение рассматриваемой функции в двух формах, пригодных для больших и малых значений времени. В первом случае обратное преобразование записывается в виде ряда из экспоненциальных функций с постоянными коэффициентами, во втором случае – в виде ряда из сверток Лапласа специальных функций.

Выводы и заключение. Полученные результаты могут быть использованы при построении решения краевой задачи для уравнения теплопроводности в ограниченной области с условием второго рода на одной из границ и условием третьего рода – на другой в форме, пригодной для малых значений времени. В теории уравнений математической физики решение аналогичной задачи построено методом разделения переменных в форме, хорошо описывающей процессы теплопередачи для больших значений времени. Но такая форма оказывается неудобной в случае малых значений времени по причине плохой сходимости ряда Фурье по собственным функциям задачи.

Ключевые слова: преобразование Лапласа, теорема о вычетах, лемма Жордана, гиперболический тангенс, интеграл вероятности, полиномы Лагерра

Поступила 30.10.2025, одобрена после рецензирования 25.11.2025, принята к публикации 02.12.2025

Для цитирования. Хуштова Ф. Г. Об обращении преобразования Лапласа одной функции, содержащей гиперболический тангенс // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 30–38. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-30-38

MSC: 44A10 Original article

On inversion of Laplace transform of function, involving hyperbolic tangent

F.G. Khushtova

Institute of Applied Mathematics and Automation –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
89 A, Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia

© Хуштова Ф. Г., 2025

Abstract. The paper examines the inverse of the Laplace transform with a hyperbolic tangen function. This function arises when solving a boundary value problem in a bounded domain governed by the heat equation, subject to boundary conditions of the second and third kind.

Aim. To determine the inverse Laplace transform of a function that emerges from solving a boundary value problem, specifically a second or third type condition, associated with the heat equation

Results. Using the residue theorem and the theory of a complex variable functions, we derive the inverse transform, suitable for large and small time values. In the first case, the inverse transform is expressed as a series of exponential functions with constant coefficients; in the second case, as a series of Laplace convolutions of special functions.

Conclusion and deduction. The derived results constitute a basis for constructing a solution to the boundary value problem for the heat equation in a bounded domain with a second-order condition on one of the boundaries and a third-order condition on the other, in a form suitable for small time values. In the context of mathematical physics, a solution to a similar problem is derived via separation of variables suitable for characterizing heat transfer processes for large time values. However, this proves inconvenient given sufficiently small temporal values, due to poor convergence properties pertaining to the Fourier series expansion involving eigenfunctions of the problem.

Keywords*:* Laplace transform, residue theorem, Jordan's lemma, hyperbolic tangent, probability integral, Laguerre polynomials

Submitted 30.10.2025, approved after reviewing 25.11.2025, accepted for publication 02.12.2025

For citation. Khushtova F.G. On inversion of Laplace transform of function, involving hyperbolic tangent. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 30–38. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-30-38

Введение

Методы интегральных преобразований остаются одними из наиболее эффективных методов решения различных линейных дифференциальных и интегральных уравнений, возникающих в прикладных задачах математики, математической физики, механики и других областях науки. Наличие большого количества таблиц и справочников по интегральным преобразованиям значительно упрощает процесс нахождения решения исследуемых задач.

В некоторых случаях, если функция, прообраз которой нужно вычислить, отсутствует в современных таблицах и справочниках по интегральным преобразованиям, разрешить проблему в терминах известных функций позволяет теорема о вычетах и использование других важных теорем теории функций комплексного переменного.

При решении операционными методами задач для уравнения теплопроводности важное место занимает преобразование Лапласа.

В данной работе рассмотрим обращение преобразования Лапласа функции, возникающей при решении краевой задачи с условиями второго и третьего рода для уравнения теплопроводности [1].

1. Вспомогательные сведения

Как известно, преобразование Лапласа ставит в соответствие функции $f(t)$ действительной переменной t функцию $f(s)$ комплексной переменной s с помощью интеграла [2, с. 30; 3, с. 211; 4, с. 33]

$$\bar{f}(s) = \int_0^\infty e^{-st} f(t)dt. \qquad (1)$$

Если функция $f(t)$ кусочно-непрерывна при $t \geq 0$, $f(t) \equiv 0$ при $t < 0$, имеет ограниченную степень роста, то есть существуют такие положительные постоянные A и σ, что для всех $t > 0$

$$|f(t)| \leq Ae^{\sigma t},$$

то интеграл (1) сходится в области $\mathrm{Re}s > \sigma$, причем в области $\mathrm{Re}s \geq \sigma_0 > \sigma$ этот интеграл сходится равномерно.

Класс функций $f(t)$, допускающих преобразование Лапласа, может быть расширен. Пусть функция $f(t)$ определена для всех $t \geq 0$ и существует такое комплексное число s_0, что сходится интеграл

$$\int_0^\infty e^{-s_0 t} f(t)dt < M.$$

Тогда для всех s, удовлетворяющих условию $\mathrm{Re}s > \mathrm{Re}s_0$, сходится интеграл (1).

Функция $\bar{f}(s)$, определенная через функцию $f(t)$ с помощью преобразования (1), называется *изображением Лапласа* $f(t)$ функции $f(t)$. Функция $f(t)$ называется *оригиналом* функции $f(s)$. Связь функций $f(t)$ и $f(s)$ символически обозначают следующим образом:

$$f(t) \doteqdot \bar{f}(s) \quad \text{или} \quad \bar{f}(s) \doteqdot f(t).$$

Если известно изображение $f(s)$, то формула обратного преобразования Лапласа

$$f(t) = \frac{1}{2\pi i}\int_{\gamma-i\infty}^{\gamma+i\infty} e^{st}\,\bar{f}(s)ds, \quad \gamma > \sigma \tag{2}$$

определяет функцию $f(t)$ в точках ее непрерывности. Формула (2) называется *формулой Меллина*.

Приведем здесь некоторые свойства преобразования Лапласа, необходимые для дальнейшего исследования.

1. *Изображение производной.* Если функция $f'(t)$ удовлетворяет условиям существования изображения и $f(t) \doteqdot f(s)$, то

$$f'(t) \doteqdot s\bar{f}(s) - f(0). \tag{3}$$

2. *Изображение свертки.* Если $f_1(t) \doteqdot f_1(s)$, $f_2(t) \doteqdot f_2(s)$, то

$$f_1(t) * f_2(t) = \int_0^t f_1(\tau)f_2(t-\tau)d\tau \doteqdot \bar{f}_1(s)\bar{f}_2(s). \tag{4}$$

3. *Изображение интеграла с весовой функцией.* Если $f(t) \doteqdot f(s)$, то

$$\int_0^\infty f(\tau)\chi(\tau,t)d\tau \doteqdot \frac{1}{\sqrt{s}}\,\bar{f}\left(\sqrt{s}\right), \quad \chi(\tau,t) = \frac{1}{\sqrt{\pi t}}\,e^{-\frac{\tau^2}{4t}}. \tag{5}$$

Изображения некоторых функций

Известно, что [6, с. 220]

$$\chi(\alpha,t) \doteqdot \frac{1}{\sqrt{s}}\,e^{-\alpha\sqrt{s}}, \quad \alpha \geq 0. \tag{6}$$

Пусть

$$\mathrm{Erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_x^\infty e^{-\tau^2}\,d\tau$$

– интеграл вероятности [6, с. 333; 8, с.30]. Справедливо изображение [6, с. 210]

$$\frac{1}{\sqrt{\pi t}} - \alpha e^{\alpha^2 t}\mathrm{Erfc}\left(\alpha\sqrt{t}\right) \doteq \frac{1}{\sqrt{s}+\alpha}. \tag{7}$$

Пусть

$$L_n(t) = \frac{e^t}{n!}\frac{d^n}{dt^n}(t^n e^{-t}), \quad n = 0,1,2, \ldots,$$

– полиномы Лагерра [7, с.188; 8, с. 100]. Имеет место формула [2, с. 421; 6, с. 158]

$$e^{\alpha t}L_n(\beta t) \doteq \frac{(s-\beta-\alpha)^n}{(s-\alpha)^{n+1}}, \quad \mathrm{Re}\, s > \alpha. \tag{8}$$

2. Основные результаты

Пусть $a \geq 0, \quad l > 0$. Обозначим $E(a,l;t) \equiv E(t)$, $\bar{E}(a,l;s) \equiv \bar{E}(s)$ и рассмотрим контурный интеграл

$$E(t) = \frac{1}{2\pi i}\int_{\gamma-i\infty}^{\gamma+i\infty} e^{ts}\,\bar{E}(s)\,ds, \quad \gamma > 0, \tag{9}$$

где

$$\bar{E}(s) = \frac{1}{\sqrt{s}\mathrm{th}\sqrt{s}l+a}. \tag{10}$$

Вычислим интеграл (9). Для этого исследуем подынтегральную функцию (10). Функция (10) является однозначной функцией от s, полюсы ее – корни уравнения

$$\mathrm{th}\sqrt{s}l = -\frac{a}{\sqrt{s}}. \tag{11}$$

Известно [9, с. 117], что уравнение (11) имеет только действительные корни, причем все корни – простые, и они расположены вдоль оси $\mathrm{Re}s < 0$. Обозначим $s = -\lambda^2$. Тогда уравнение (11) перепишется в виде

$$\mathrm{ctg}\lambda l = \frac{\lambda}{a}. \tag{12}$$

Функция $y_1(\lambda) = \mathrm{ctg}\lambda l$ является нечетной периодической функцией, убывающей на каждом интервале $(\pi n/l, \pi(n+1)/l), \quad n \in \mathbb{Z}$. Функция $y_2(\lambda) = \lambda/a$ является нечетной возрастающей функцией. Поэтому уравнение (12) имеет бесчисленное множество попарно противоположных по знаку и равных по абсолютному значению корней λ, причем каждый последующий корень больше предыдущего:

$$\lambda_0 < \lambda_1 < \lambda_2 < \ldots < \lambda_n < \ldots$$

Так как $s_n = -\lambda_n^2$, то рассмотрим только положительные значения корней λ_n.

Для вычисления $E(t)$ рассмотрим интеграл

$$\int_C e^{ts}\,\bar{E}(s)\,ds,$$

по контуру C, изображенному на рис. 1 и состоящему из отрезка AB, параллельного мнимой оси, и левой полуокружности C_R радиуса R.

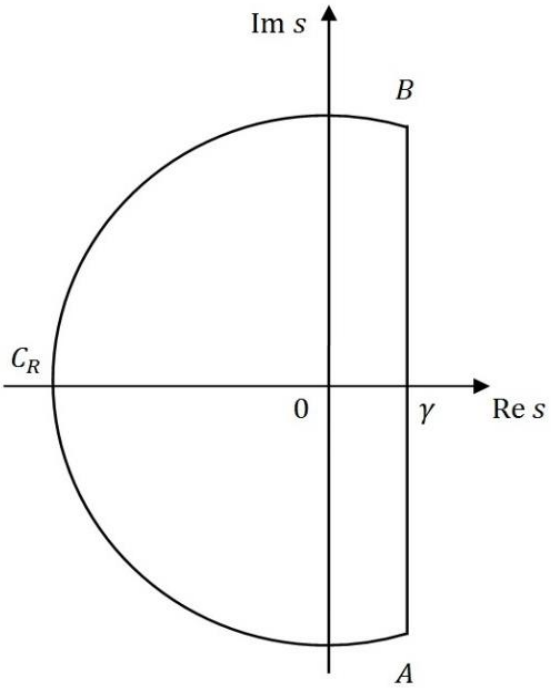


Рис. 1. / ***Fig. 1***.

Выберем радиус полуокружности $R = n^2\pi^2/l^2$, если $a \neq 0$, и $R = (n + 1/2)^2\pi^2/l^2$, если $a = 0$. В этом случае ни один из полюсов не будет лежать на C_R. При $n \to \infty$ интеграл по отрезку AB перейдет в искомый интеграл (9), а интеграл по полуокружности C_R согласно лемме Жордана и в силу предельного соотношения

$$\lim_{\substack{|s|\to+\infty \\ s\in C_R}} \sqrt{s}\bar{E}(s) = 1$$

обратится в нуль. По теореме о вычетах [2, с. 47] получаем

$$E(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \operatorname*{Res}_{s=s_n} [e^{ts}\bar{E}(s)].$$

Пусть

$$\Phi(s) = \operatorname{ch}\sqrt{s}l,$$

$$\Psi(s) = \sqrt{s}\operatorname{sh}\sqrt{s}l + a\operatorname{ch}\sqrt{s}l. \tag{13}$$

Тогда функцию $\bar{E}(s)$ можно представить в виде отношения двух обобщенных полиномов $\Phi_1(s) = s\Phi(s)$ и $\Psi_1(s) = s\Psi(s)$, $s \neq 0$:

$$\bar{E}(s) = \frac{\Phi_1(s)}{\Psi_1(s)}.$$

Известно, что [10, с. 109]

$$\lim_{s\to s_n} \frac{\Phi_1(s)}{\Psi_1{}'(s)} = \lim_{s\to s_n} \frac{\Phi(s)}{\Psi'(s)},$$

где s_n – корни уравнения $\Psi(s)=0$. Вычеты функции $e^{ts}E(s)$ можно найти по формуле [2, с. 47; 4, с. 166]

$$\operatorname*{Res}_{s=s_n}[e^{ts}\bar{E}(s)]=\frac{\Phi(s_n)}{\Psi'(s_n)}\ e^{s_nt}.$$

Найдем $\Psi'(s_n)$, учитывая при этом, что s_n – корни уравнения (11). Из (13) имеем

$$\Psi'(s)=\operatorname{ch}\sqrt{s}l\left[\frac{l}{2}+\frac{la+1}{2\sqrt{s}}\operatorname{th}\sqrt{s}l\right].$$

Подставляя вместо $\operatorname{th}\sqrt{s}l$ выражение (11), можем записать

$$\Psi'(s)=\operatorname{ch}\sqrt{s}l\ \frac{l(s-a^2)-a}{2s}.$$

Так как $s_n=-\lambda_n^2$, где λ_n – корни уравнения (12), то

$$c_n=\lim_{s\to s_n}\frac{\Phi(s)}{\Psi\prime(s)}=\frac{2\ \lambda_n^2}{l(\lambda_n^2+a^2)+a}. \tag{14}$$

Таким образом, обратное преобразование Лапласа функции $E(s)$ находим в форме

$$E(t)=\sum_{n=0}^{\infty}c_n\,e^{-\lambda_n^2t},\quad t>0, \tag{15}$$

где коэффициенты c_n определяются из (14).

Учитывая равенство $a=\lambda_n\operatorname{tg}\lambda_nl$, коэффициенты c_n можно записать также в виде

$$c_n=\frac{2\ \lambda_n\cos^2\lambda_nl}{l\lambda_n+\sin\lambda_nl\cos\lambda_nl}.$$

Получим другую форму записи функции $E(t)$. Обозначив $p=\sqrt{s}$ и воспользовавшись равенством

$$p\ \operatorname{sh}pl+a\ \operatorname{ch}pl=\frac{p+a}{2}\ e^{pl}\left(1-\frac{p-a}{p+a}e^{-2pl}\right), \tag{16}$$

а также представлением

$$\frac{1}{1-q}=\sum_{n=0}^{\infty}q^n,\quad |q|<1,$$

запишем функцию (10) в виде

$$\bar{E}(s)=2\operatorname{ch}pl\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(p-a)^n}{(p+a)^{n+1}}e^{-(2ln+l)p}. \tag{17}$$

Пусть

$$\bar{T}_n(s)=\frac{2\operatorname{ch}pl}{p}e^{-(2ln+l)p},$$

$$\bar{f}_n(a,s)=\frac{(p-a)^n}{p(p+a)^{n+1}},\quad \bar{E}_n(a,s)=s\bar{f}_n(a,s).$$

Тогда функция (17) примет вид

$$\bar{E}(s) = \sum_{n=0}^{\infty} \bar{T}_n(s)\bar{E}_n(a,s). \tag{18}$$

Функцию $T_n(s)$ запишем следующим образом:

$$\bar{T}_n(s) = \frac{1}{\sqrt{s}}\, e^{-2ln\sqrt{s}} + \frac{1}{\sqrt{s}}\, e^{-(2ln+2l)\sqrt{s}}. \tag{19}$$

Из формулы (6) следует

$$\bar{T}_n(s) \doteq T_n(t) = \chi(2ln,t) + \chi(2ln+2l,t)\ .$$

Воспользовавшись формулами (5) и (8), получаем, что

$$\bar{f}_n(a,s) \doteq \int_0^{\infty} e^{-a\tau}\, L_n(2a\tau)\chi(\tau,t)\, d\tau.$$

Свойство (3) позволяет нам записать

$$\bar{E}_n(a,s) \doteq E_n(a,t) = \int_0^{\infty} e^{-a\tau}\, L_n(2a\tau)\chi_t'(\tau,t)\, d\tau.$$

Применяя теперь к равенству (18) свойство (4), окончательно находим

$$E(t) = \sum_{n=0}^{\infty} T_n(t) * E_n(a,t). \tag{20}$$

Таким образом, имеет место следующее утверждение.

Утверждение. *Пусть* $a \geq 0$, $l > 0$. *Тогда обратное преобразование Лапласа функции*

$$\bar{E}(s) = \frac{1}{\sqrt{s}\ th\sqrt{s}l + a}$$

может быть записано в двух эквивалентных формах:

$$E(t) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n\, e^{-\lambda_n^2 t},$$

где

$$c_n = \frac{2\ \lambda_n^2}{l(\lambda_n^2 + a^2) + a},$$

λ_n *– положительные корни трансцендентного уравнения* $\mathrm{ctg}\lambda l = \lambda/a$, *и*

$$E(t) = \sum_{n=0}^{\infty} T_n(t) * E_n(a,t)\ ,$$

где

$$T_n(t) = \chi(2ln,t) + \chi(2ln+2l,t)\ , \quad \chi(\tau,t) = \frac{1}{\sqrt{\pi t}}\, e^{-\frac{\tau^2}{4t}}\ ,$$

$$E_n(a,t) = \int_0^{\infty} e^{-a\tau}\, L_n(2a\tau)\chi_t{}'(\tau,t)\, d\tau, \quad L_n(\tau) = \frac{e^{\tau}}{n!}\frac{d^n}{d\tau^n}(\tau^n e^{-\tau}).$$

Частные случаи. Если $a = 0$, то $\lambda_n = \pi n/l$, $c_n = 2/b$ и функция (15) запишется в виде

$$E(0, l; t) = \frac{2}{l}\sum_{n=0}^{\infty} e^{-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 t}, \qquad t > 0. \tag{21}$$

При $a = 0$ из (18) находим

$$E(0, l; t) = \sum_{n=0}^{\infty} T_n(t) = \sum_{n=0}^{\infty} [\chi(2ln, t) + \chi(2ln + 2l, t)].$$

Таким образом, имеет место равенство

$$\frac{2}{l}\sum_{n=0}^{\infty} e^{-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 t} = \frac{1}{\sqrt{\pi t}}\sum_{n=0}^{\infty}\left[e^{-\frac{l^2 n^2}{t}} + e^{-\frac{l^2 (n+1)^2}{t}}\right], \quad t > 0.$$

Рассмотрим предельный случай $l = \infty$. В этом случае функция (10) принимает вид

$$\bar{E}(a, \infty; s) = \frac{1}{\sqrt{s} + a}.$$

Из формулы (7) находим

$$E(a, \infty; t) = \frac{1}{\sqrt{\pi t}} - ae^{a^2 t}\mathrm{Erfc}\left(a\sqrt{t}\right). \tag{22}$$

Если $a = 0$, $l = \infty$, то из (22) следует $E(0, \infty; t) = \frac{1}{\sqrt{\pi t}}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ремизова О. И., Соснин М. Л.* Операционный метод построения функций Грина для малых времен, соответствующих решению краевых задач для уравнений переноса параболического типа // Вестник МИХТ им. М. В. Ломоносова. 2011. Т. 6. № 3. С. 116–119. EDN: OHJVKN

2. *Диткин В. А., Прудников А. П.* Интегральные преобразования и операционное исчисление. М.: Физматлит, 1961.

3. *Свешников А. Г., Тихонов А. Н.* Теория функций комплексной переменной. М.: Наука, 1967.

4. *Дёч Г.* Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и Z-преобразования. М.: Наука, 1971.

5. *Галицын А. С., Жуковский А. Н.* Интегральные преобразования и специальные функции в задачах теплопроводности. Киев: Наукова думка, 1976.

6. *Бейтмен Г., Эрдейи А.* Таблицы интегральных преобразований. М.: Наука, 1969. Т. 1. 344 с.

7. *Бейтмен Г., Эрдейи А.* Высшие трансцендентные функции. Т. 2. М.: Наука, 1966.

8. *Лебедев Н. Н.* Специальные функции и их приложения. М.: Физматлит, 1963. 358 с.

9. *Карлоу Г., Егер Д.* Теплопроводность твердых тел. М.: Наука, 1964.

10. *Лыков А. В.* Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967.

REFERENCES

1. Remizova O.I., Sosnin M.L. Operational method for constructing Green's functions for small times corresponding to the solution to the boundary value problems for transfer equations of parabolic type. *Fine Chemical Technologies*. 2011. Vol. 6. No. 3. Pp. 116–119. EDN: OHJVKN. (In Russian)

2. Ditkin V.A., Prudnikov A.P. *Integral'nye preobrazovaniya i operacionnoe ischislenie* [Integral transforms and operational calculus]. Moscow: Fizmatlit, 1961. (In Russian)

3. Sveshnikov A.G., Tihonov A.N. The theory of functions of a complex variable. Moscow: MIR PUBLISHERS, 1978. (In Russian)

4. Doetsch G. Guide to the applications of the Laplace and Z-transforms. London: Van Nostrand Reinhold Company, 1971.

5. Galitsyn A.S., Zhukovsky A.N. *Integral'nye preobrazovaniya i special'nye funkcii v zadachah teploprovodnosti* [Integral transforms and special functions in heat conduction problems]. Kiev: Naukova Dumka, 1976. (In Russian)

6. Bateman G., Erdelyi A. *Tablicy integral'nyh preobrazovaniy* [Tables of integral transforms]. Moscow: Nauka, 1969. Vol. 1. 344 p. (In Russian)

7. Bateman G., Erdelyi A. *Vysshie transcendentnye funkcii* [Higher transcendental functions]. Vol. 2. Moscow: Nauka, 1966. (In Russian)

8. Lebedev N.N. Special functions and their applications. Prentice-Hall, Inc, 1965.

9. Carslaw H.S., Jaeger J.C. Conduction of heat in solids. Oxford: Oxford University Press. 1959.

10. Lykov A.V. *Teoriya teploprovodnosti* [Theory of Heat Conduction]. Moscow: Vysshaya shkola, 1967. (In Russian)

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Института прикладной математики и автоматизации – филиала Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук (тема № 125031904191-2).

Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (topic No. 125031904191-2).

Информация об авторе

Хуштова Фатима Гидовна, канд. физ.-мат. наук, науч. сотр. отдела дробного исчисления, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А;

khushtova@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4088-3621, SPIN-код: 6803-4959

Information about the author

Fatima G. Khushtova, Candidate of Physics and Mathematics, Researcher, Department of Fractional calculus, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

89 A, Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia;

khushtova@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4088-3621, SPIN-code: 6803-4959

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

УДК 517.96 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-39-46
EDN: BTKLSQ

О единственности решения функционально-интегрального уравнения дробного порядка с инволюцией

Л. М. Энеева

Институт прикладной математики и автоматизации –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А

Аннотация. В работе исследуется функционально-интегральное уравнение с оператором дробного интегрирования и оператором инволюции, возникающие при решении краевых задач для дифференциальных уравнений, содержащих композицию лево- и правосторонних дробных производных, лежащих в основе математических моделей различных физических и геофизических процессов, и в том числе при описании диссипативных колебательных систем.

Цель исследования – исследование функционально-интегрального уравнения с оператором дробного интегрирования и оператором инволюции в критическом случае.

Методы исследования. Для решения поставленной задачи использованы методы теории интегральных уравнений первого рода, методы теории операторов и свойства вполне монотонных функций.

Результаты. Показано, что изучаемое уравнение эквивалентно редуцируется к вопросу о разрешимости интегрального уравнения первого рода с разностным положительным ядром в классе функций, меняющих знак под действием оператора инволюции, для которого доказана теорема о единственности его решения.

Ключевые слова: функционально-интегральное уравнение, дробный интеграл Римана–Лиувилля, инволюция, функция Миттаг-Леффлера, положительный оператор, вполне монотонная функция

Поступила 10.10.2025, одобрена после рецензирования 12.11.2025, принята к публикации 17.11.2025

Для цитирования. Энеева Л. М. О единственности решения функционально-интегрального уравнения дробного порядка с инволюцией // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 39–46. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-39-46

MSC: 26A33, 34B05 Original article

On uniqueness of solution to functional-integral equation of fractional order with involution

L.M. Eneeva

Institute of Applied Mathematics and Automation –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
89 A, Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. The paper studies a functional integral equation with a fractional integration operator and an involution operator, which arise when solving boundary value problems for differential equations that contain a composition of left- and right-sided fractional derivatives. These equations underlie mathematical models of various physical and geophysical processes, such as describing dissipative oscillatory systems.

© Энеева Л. М., 2025

Aim. The study aims to investigate a functional integral equation with an operator of fractional integration involving an involution operator in the critical case.

Research methods. To solve the problem, we employ methods of the theory of integral equations of the first kind, operator theory and properties of completely monotone functions.

Results. It has been shown that the equation under study can be reduced to the problem of solving an integral equation of the first kind with a positive kernel, in a class of functions that change sign under the action of an operator, and for this class of functions, a theorem on the uniqueness of the solution has been proven.

Keywords: functional integral equation, Riemann–Liouville fractional integral, involution, Mittag-Leffler function, positive operator, completely monotone function

Submitted 10.10.2025, approved after reviewing 12.11.2025, accepted for publication 17.11.2025

For citation. Eneeva L.M. On uniqueness of solution to functional-integral equation of fractional order with involution. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 39–46. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-39-46

Введение

Рассмотрим уравнение

$$u(x) + \lambda\, u(1-x) + \mu\, D_{0x}^{-\alpha}\ u(x) = f(x) \qquad (0 < x < 1), \tag{1}$$

где $D_{0x}^{-\alpha}$ – дробный интеграл Римана–Лиувилля порядка α [1],

$$D_{0x}^{-\alpha}\, u(x) := \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x u(t)(x-t)^{\alpha-1}\ dt.$$

Функционально-интегральные уравнения вида (1) возникают при изучении дифференциальных уравнений, содержащих композицию лево- и правосторонних дробных производных [2]. Необходимость исследовать такие уравнения возникает при моделировании различных физических и геофизических процессов и, в частности, при описании диссипативных колебательных систем [3, 4]. В этой связи следует также отметить работы [5, 6], в которых исследовались дифференциальные уравнения дробного порядка с инволюцией.

В работе [7] найдены достаточные условия на параметры α, λ и μ, обеспечивающие однозначную разрешимость уравнения (1). Кроме того, в этой работе показано, что случай $\lambda^2 = \pm 1$ является критическим и приводит к необходимости исследовать системы, содержащие интегральные уравнения первого и второго рода. В данной работе мы исследуем критический случай, а именно когда $\lambda = 1$. Для этого случая мы показываем, что вопрос о разрешимости уравнения (1) эквивалентен вопросу о разрешимости интегрального уравнения первого рода с разностным ядром, и доказываем теорему о единственности его решения.

Вспомогательные сведения

Далее, через I_x будем обозначать оператор инволюции, который действует на функцию $g(x)$ по правилу

$$I_x g(x) := g(1-x). \tag{2}$$

Далее, $\mathcal{J}^+$ будет обозначать множество функций, инвариантных относительно операции инволюции I_x, т.е.

$$\mathcal{J}^+ = \{g(x):\ g(x) = I_x g(x),\quad 0 < x < 1\}. \tag{3}$$

Аналогично через $\mathcal{J}^-$ обозначим множество функций, на которых действие инволюции I_x меняет знак, т.е.

$$\mathcal{J}^- = \{g(x):\ g(x) = -I_x g(x),\quad 0 < x < 1\}. \tag{4}$$

Из определений (3) и (4) непосредственно следует, что

$$g(x) + I_x g(x) \in \mathcal{J}^+ \qquad \text{и} \qquad g(x) - I_x g(x) \in \mathcal{J}^-$$

для любой функции $g(x)$, определенной в интервале $]0,1[$.

Далее нам понадобится утверждение о действии I_x на свертку двух функций.

Лемма 1. *Пусть* $g(x), h(x) \in L(0,1)$. *Имеет место равенство*

$$I_x\left(\int_0^x g(x-t)\,h(t)\,dt\right) = \int_x^1 g(x-t)\,I_x\,h(t)\,dt. \tag{5}$$

Доказательство. Действительно, в силу определения (2) имеем

$$I_x\left(\int_0^x g(x-t)\,h(t)\,dt\right) = \int_0^{1-x} g(1-x-t)\,h(t)\,dt.$$

Сделав замену $s = 1 - t$, получим

$$I_x\left(\int_0^x g(x-t)\,h(t)\,dt\right) = \int_x^1 g(s-x)\,h(1-s)\,ds.$$

Полученное равенство эквивалентно (5). □

Редукция к интегральному уравнению

С учетом определения (2) уравнение (1) в рассматриваемом случае $\lambda = 1$ примет вид

$$u(x) + I_x u(x) + \mu\, D_{0x}^{-\alpha}\ u(x) = f(x). \tag{6}$$

Пусть $u(x)$ – решение уравнения (6). Перепишем (6) в виде

$$u(x) + I_x u(x) = F(x), \tag{7}$$

где

$$F(x) = f(x) - \mu\, D_{0x}^{-\alpha}\ u(x). \tag{8}$$

Согласно лемме 1 уравнение (7) имеет решение тогда и только тогда, когда

$$F(x) \in \mathcal{J}^+. \tag{9}$$

При этом множество решений уравнения (7) совпадает с множеством функций, представимых в виде

$$u(x) = \frac{1}{2}F(x) + g(x), \tag{10}$$

где $g(x)$ – произвольная функция из $\mathcal{J}^-$, т.е.

$$g(x) \in \mathcal{J}^-. \tag{11}$$

Таким образом, с учетом (8) и (10) получаем, что решение уравнения (6) является решением уравнения

$$u(x) = -\frac{\mu}{2} D_{0x}^{-\alpha}\ u(x) + \frac{1}{2} f(x) + g(x). \tag{12}$$

Решение (12) для любых $f(x), g(x) \in L(0,1)$ имеет вид

$$u(x) = \frac{1}{2} f(x) + g(x) - \frac{\mu}{2} \int_0^x W(x-t) \left(\frac{1}{2} f(t) + g(t) \right) dt, \tag{13}$$

где

$$W(x) = x^{\alpha-1} E_{\alpha,\alpha} \left(-\frac{\mu}{2} x^{\alpha} \right), \tag{14}$$

$$E_{\alpha,\beta}(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^k}{\Gamma(\alpha k + \beta)}$$

– функция Миттаг-Леффлера.

Таким образом, всякое решение уравнения (6), если оно существует, должно быть представимо в виде (13) для некоторой функции $g(x) \in \mathcal{J}^-$. Однако для того чтобы было верно обратное, то есть для того, чтобы функция вида (13) являлась решением (6), необходимо выполнение условия (9). Итак, далее наша цель – выяснить, для каких $g(x)$ функция (13) будет удовлетворять условию (9).

Применим к обеим частям (12) оператор $D_{0x}^{-\alpha}$, после простых преобразований получаем

$$D_{0x}^{-\alpha} u(x) = D_{0x}^{-\alpha} \left[\frac{1}{2} f(x) + g(x) - \frac{\mu}{2} \int_0^x W(x-t) \left(\frac{1}{2} f(t) + g(t) \right) dt \right] =$$

$$= D_{0x}^{-\alpha} \left[\frac{1}{2} f(x) + g(x) \right] - \frac{\mu}{2} \int_0^x [D_{0z}^{-\alpha} W(z)]_{z=x-t} \left(\frac{1}{2} f(t) + g(t) \right) dt.$$

Учитывая, что

$$D_{0z}^{-\alpha} W(z) = x^{2\alpha-1} E_{\alpha,2\alpha} \left(-\frac{\mu}{2} x^{\alpha} \right),$$

имеем

$$D_{0x}^{-\alpha} u(x) = \int_0^x \left[\frac{(x-t)^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} - \frac{\mu}{2} (x-t)^{2\alpha-1} E_{\alpha,2\alpha} \left(-\frac{\mu}{2} (x-t)^{\alpha} \right) \right] \left(\frac{1}{2} f(t) + g(t) \right) dt.$$

Принимая во внимание формулу

$$E_{\alpha,\beta}(z) = \frac{1}{\Gamma(\beta)} + z E_{\alpha,\alpha+\beta}(z),$$

получаем

$$D_{0x}^{-\alpha} u(x) = \int_0^x W(x-t) \left(\frac{1}{2} f(t) + g(t) \right) dt. \tag{15}$$

Далее, в силу (8) условие (9) примет вид

$$f(x) - \mu\, D_{0x}^{-\alpha}\ u(x) = I_x [f(x) - \mu\, D_{0x}^{-\alpha}\ u(x)]. \tag{16}$$

Отсюда с учетом (13) и (15) получаем

$$f(x) - I_x f(x) =$$

$$= \mu\left[I_x \int_0^x W(x-t)\left(\frac{1}{2}f(t) + g(t)\right)dt - \int_0^x W(x-t)\left(\frac{1}{2}f(t) + g(t)\right)dt\right].$$

В силу (5) имеем

$$I_x \int_0^x W(x-t)\left(\frac{1}{2}f(t) + g(t)\right)dt = \int_x^1 W(t-x)\left(\frac{1}{2}f(1-t) + g(1-t)\right)dt.$$

Следовательно,

$$f(x) - I_x f(x) =$$

$$= \mu\left[\int_x^1 W(t-x)\left(\frac{1}{2}I_t f(t) + I_t g(t)\right)dt - \int_0^x W(x-t)\left(\frac{1}{2}f(t) + g(t)\right)dt\right].$$

Согласно (11) имеет место равенство $I_t g(t) = -g(t)$. С учетом этого после простых преобразований приходим к соотношению

$$\int_0^1 W(|x-t|)g(t)\,dt = h(x), \tag{17}$$

где

$$h(x) = -\frac{1}{\mu}[f(x) - I_x f(x)] - \frac{1}{2}\int_0^x W(x-t)f(t)\,dt + \frac{1}{2}\int_x^1 W(t-x)I_t f(t)\,dt.$$

Сформулируем полученное в виде утверждения.

Лемма 2. *Пусть $f(x) \in L(0,1)$. Уравнение (6) имеет решение $u(x) \in L(0,1)$ тогда и только тогда, когда уравнение (17) имеет решение $g(x)$ в классе $L(0,1) \cap \mathcal{J}^-$. В этом случае для каждой функции $g(x) \in L(0,1) \cap \mathcal{J}^-$, являющейся решением уравнения (17), решение $u(x)$ имеет вид (13).*

Доказательство. Действительно, вопрос о разрешимости уравнения (6), как следует из (13), эквивалентен существованию функции $g(x)$ из класса $\mathcal{J}^-$, которая обеспечивает выполнение условия (9), или, что то же самое, при которой справедливо равенство (16). Последнее, как показано выше, эквивалентно разрешимости (17). □

Единственность решения

Как известно, функция Миттаг-Леффлера $E_{\alpha,\beta}(-x)$ является вполне монотонной при $x > 0$, если $\alpha \in]0,1[$ и $\beta \geq \alpha$ (см. [8, 9]). Из свойств вполне монотонных функций (см. [10]) следует, что функция $W(x)$, заданная равенством (14), также является вполне монотонной, если $\mu > 0$. Отсюда, в частности, следует, что

$$W(x) > 0, \qquad W'(x) < 0 \qquad \text{и} \qquad W''(x) > 0 \qquad (x > 0). \tag{18}$$

Неравенства (18) позволяют заключить, что функция $W(x)$ образует симметричное ядро положительного оператора в $L_2(0,1)$. Более точно пусть

$$Qg(x) := \int_0^1 W(|x-t|)\,g(t)\;dt \tag{19}$$

и

$$J(g) := \int_0^1 g(x)\, Qg(x)dx. \tag{20}$$

Тогда [1, с. 38]

$$J(g) \geq 0 \qquad \text{и} \qquad J(g) = 0 \quad \Leftrightarrow \quad g(x) \equiv 0. \tag{21}$$

Теорема. *Пусть* $\frac{1}{2} < \alpha < 1$ *и* $\mu > 0$. *Уравнение (6) не может иметь более одного решения* $u(x) \in L_2(0,1)$.

Доказательство. Предположим, что уравнение (6) имеет два различных решения $u_1(x), u_2(x) \in L_2(0,1)$. Тогда в силу линейности (6) их разность $u(x) = u_1(x) - u_2(x)$ будет решением однородного уравнения

$$u(x) + I_x u(x) + \mu\, D_{0x}^{-\alpha}\ u(x) = 0.$$

В этом случае в силу леммы 2 $u(x)$ будет иметь вид

$$u(x) = g(x) - \frac{\mu}{2}\int_0^x W(x-t)\ g(t)\, dt, \tag{22}$$

где функция $g(x)$ является решением уравнения

$$\int_0^1 W(|x-t|)g(t)\, dt = 0 \tag{23}$$

из класса $L_2(0,1) \cap \mathcal{J}^-$. Умножая уравнение (23) на $g(x)$ и интегрируя затем по x в пределах от 0 до 1, принимая во внимание обозначения (19) и (20), получаем, что $J(g) = 0$. Отсюда в силу (19) следует, что $g(x) \equiv 0$. С учетом (22) это означает, что $u(x) \equiv 0$, или, что то же самое, $u_1(x) \equiv u_2(x)$. Таким образом, предположение о существовании двух различных решений неверно. Это завершает доказательство теоремы. □

О существовании решения

В завершение отметим следующее. Из (21) следует, что симметричное ядро $K(x,t) = W(|x-t|)$ является замкнутым в $L_2(0,1)$ и, следовательно, его собственные функции образуют полную ортогональную систему в $L_2(0,1)$. Отсюда в силу теоремы Пикара (см. [11, с. 51]), можем заключить, что интегральное уравнение (17) имеет решение для таких функций $h(x)$, которые являются истокопредставимыми с помощью ядра $K(x,t)$. Однако для дальнейшего построения решения уравнения (6) с помощью формулы (13) необходимо, чтобы функция $g(x)$, найденная как решение уравнения (17), принадлежала $\mathcal{J}^-$, то есть удовлетворяла соотношению $g(x) = -I_x\, g(x)$. Это поднимает вопрос о необходимости дополнительных требований к функции $h(x)$ и, следовательно, к функции $f(x)$ и заслуживает отдельного исследования.

Заключение

Таким образом, проведено исследование уравнения (1) в случае $\lambda = 1$, который является для рассматриваемого уравнения критическим. Показано, что в данном случае разрешимость этого уравнения эквивалентна разрешимости интегрального уравнения (17) в классе функций $L(0,1) \cap \mathcal{J}^-$. Показано, что симметричное ядро $K(x,t)$ уравнения (17) образует положительный оператор. На основе этого факта доказана теорема о единственности рассматриваемого уравнения. Более того, показано, что ядро $K(x,t)$ является замкнутым, то есть

соответствующие ему собственные функции образуют полную ортогональную систему в $L_2(0,1)$. Однако этого оказывается недостаточным для того, чтобы сделать содержательные выводы о существовании решения, и этот вопрос требует дополнительного изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нахушев А. М.* Дробное исчисление и его применение. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 272 с. EDN: UGLEPD

2. *Энеева Л. М.* К вопросу о решении смешанной краевой задачи для уравнения с производными дробного порядка с различными началами // Доклады Адыгской международной академии наук. 2023. Т. 23. № 4. С. 62–68. DOI: 10.47928/1726-9946-2023-23-4-62-68

3. *Рехвиашвили С. Ш.* Формализм Лагранжа с дробной производной в задачах механики // Письма в журнал технической физики. 2004. Т. 30. № 2. С. 33–37. EDN: RDBIHN

4. *Рехвиашвили С. Ш.* К определению физического смысла дробного интегро-дифференцирования // Нелинейный мир, 2007. Т. 5. № 4. С. 194–197. EDN: IAWYWN

5. *Энеева Л. М.* Задача Коши для уравнения дробного порядка с инволюцией // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2024. Т. 48. № 3. С. 43–55. DOI: 10.26117/2079-6641-2024-48-3-43-55

6. *Энеева Л. М.* Начальная задача для уравнения дробного порядка с производной Герасимова–Капуто с инволюцией // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 6. С. 19–25. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-19-257. EDN: BOUNKR

7. *Энеева Л. М.* Интегральное уравнение дробного порядка с инволюцией // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2025. Т. 52. № 3. С. 63–74. EDN: EOPADJ. DOI: 10.26117/2079-6641-2025-52-3-63-74

8. *Джрбашян М. М., Багиян Р. А.* Об интегральных представлениях и мерах, ассоциированных с функциями типа Миттаг-Леффлера // Известия Академии наук Армянской ССР. Математика. 1975. Т. 10. № 6. С. 483–508.

9. *Джрбашян М. М., Багиян Р. А.* Об интегральных представлениях и мерах, ассоциированных с функциями типа Миттаг-Леффлера // Доклады Академии наук СССР. 1975. Т. 223. № 6. С. 1297–1300.

10. *Miller K. S., Samko S. G.* Completely monotonic functions // Integral Transforms and Special Functions. 2001. Vol. 12. No 4. Pp. 389–402. DOI: 10.1080/10652460108819360

11. Bitsadze A. V. Integral Equations of First Kind. Singapore: World Scientific, 1995. 265 p. ISBN10: 9810222637

REFERENCES

1. Nakhushev A.M. *Drobnoye ischisleniye i yego primeneniye* [Fractional Calculus and its Application]. Moscow: FIZMATLIT, 2003. 272 p. EDN: UGLEPD. (In Russian)

2. Eneeva L.M. On the question of solving a mixed boundary value problem for an equation with fractional derivatives with different origins. *Reports of the Adyghe (Circassian) International Academy of Sciences.* 2023. Vol. 23. No. 4. Pp. 62–68. DOI: 10.47928/1726-9946-2023-23-4-62-68. (In Russian)

3. Rekhviashvili S.Sh. Lagrange formalism with fractional derivative in problems of mechanics. *Technical Physics Letters.* 2004. Vol. 30. No. 2. Pp. 33–37. EDN: RDBIHN. (In Russian)

4. Rekhviashvili S.Sh. Fractional derivative physical interpretation. *Nonlinear World.* 2007. Vol. 5. No. 4. Pp. 194–197. EDN: IAWYWN. (In Russian)

5. Eneeva L.M. Cauchy problem for fractional order equation with involution. *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2024. Vol. 48. No. 3. Pp. 43–55. DOI: 10.26117/2079-6641-2024-48-3-43-55. EDN: RHKXQA. (In Russian)

6. Eneeva L.M. Initial value problem for a fractional order equation with the Gerasimov–Caputo derivative with involution. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2024. Vol. 26. No. 6. Pp. 19–25. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-19-25. EDN: BOUNKR. (In Russian)

7. Eneeva L.M. Fractional integral equation with involution. *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2025. Vol. 52. No. 3. Pp. 63–74. EDN: EOPADJ. DOI: 10.26117/2079-6641-2025-52-3-63-74. (In Russian)

8. Dzhrbashyan M.M., Bagiyan R.A. On integral representations and measures associated with Mittag-Leffler type functions. *Izvestiya Academii nauk Armynskoi SSR. Matematika*. 1975. Vol. 10. No. 6. Pp. 483–508. (In Russian)

9. Dzhrbashyan M.M., Bagiyan R.A. On integral representations and measures associated with functions of Mittag-Leffler type. *Doklady Akademii nauk SSSR*. 1975. Vol. 223. No. 6. Pp. 1297–1300. (In Russian)

10. Miller K.S., Samko S.G. Completely monotonic functions. *Integral Transforms and Special Functions*. 2001. Vol. 12. No 4. Pp. 389–402. DOI: 10.1080/10652460108819360

11. Bitsadze A.V. Integral equations of first kind. Singapore: World Scientific, 1995. 265 p. ISBN10: 9810222637

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Института прикладной математики и автоматизации – филиала Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук (тема № 125031904215-5).

Funding. The work was carried out within the framework of state assignments of Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (theme No. 125031904215-5).

Информация об авторе

Энеева Лиана Магометовна, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. отдела математического моделирования геофизических процессов, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А;

eneeva72@list.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2530-5022, SPIN-код: 3403-8412

Information about the author

Liana M. Eneeva, Candidate of Physics and Mathematics, Senior Researcher, Department of Mathematical Modeling of Geophysical Processes, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

89 A, Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia;

eneeva72@list.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2530-5022, SPIN-code: 3403-8412

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 621.865.8:62-236.58:676:84.02
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-47-59
EDN: GSZOXR

Универсальная мобильная платформа для обслуживания станков с числовым программным управлением

С. А. Искаков[1], Р. А. Мунасыпов[2], О. В. Целищев[3]

[1]Уфимское моторостроительное производственное объединение
450039, Россия, г. Уфа, ул. Ферина, 2
[2]Уфимский университет науки и технологий
450076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32
[3]ООО «Айтилук»
450076, Россия, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 3Б, офис 114

Аннотация. В условиях развития Индустрии 4.0 и цифрового производства ключевым фактором повышения эффективности является минимизация времени простоя технологического оборудования. Актуальность разработки универсальной мобильной платформы (МРП) обусловлена растущей потребностью в роботизации межоперационного обслуживания станков с ЧПУ, которое до сих пор в значительной степени зависит от ручного труда, что приводит к потерям времени и снижению общей производительности. Существующие стационарные и мобильные решения не обеспечивают необходимого сочетания точности, адаптивности и быстрого развертывания в динамической производственной среде.

Цель исследования – разработка универсальной мобильной платформы для обслуживания станков с числовым программным управлением (ЧПУ) с повышенными показателями адаптивности, точности и надежности.

Материалы и методы исследования. Методика научного исследования включала системный анализ, математическое моделирование и прочностные расчеты, подтвердившие надежность конструкции (запас прочности 36,4–52,3 %).

Результаты. В данной работе представлена мобильная роботизированная платформа, предназначенная для оперативного обслуживания станков с ЧПУ в условиях динамической производственной среды. Научная новизна заключается в синтезе трех инновационных элементов: модульной архитектуры, адаптивной пневматической подвески и высокоскоростной системы стабилизации, что обеспечивает повышенную проходимость за счет адаптации к неровностям поверхности в отличие от существующих аналогов.

Выводы. Результаты демонстрируют возможность интеграции платформы в производственный цикл на основе прогнозных уведомлений от оборудования, что обеспечивает точность позиционирования ±1,5 мм и автономность работы. Важным практическим результатом является доказанная надежность выбранных пневмоамортизаторов, обеспечивающая безопасную эксплуатацию даже в нештатных ситуациях. Перспективы работы видятся в развитии алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) для системы автоматического управления (САУ), позволяющих осуществлять более сложное прогнозное планирование и адаптацию к непредвиденным ситуациям без вмешательства оператора. Практическая значимость работы подтверждается расчетным сокращением времени простоя оборудования на 15–20 %.

Ключевые слова: мобильная роботизированная платформа, ЧПУ, модульная архитектура, адаптивная пневмоподвеска, прецизионная стабилизация, автономность, позиционирование, сокращение простоев, производственная среда, интеграция

© Искаков С. А., Мунасыпов Р. А., Целищев О. В., 2025

Поступила 20.08.2025, одобрена после рецензирования 30.10.2025, принята к публикации 01.11.2025

Для цитирования. Искаков С. А., Мунасыпов Р. А., Целищев О. В. Универсальная мобильная платформа для обслуживания станков с числовым программным управлением // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 47–59. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-47-59

MSC: 68-XX Original article

Universal mobile platform for servicing computer numerical control machines

S.A. Iskakov[1], R.A. Munasypov[2], O.V. Tselischev[3]

[1]Ufa Engine Industrial Association
2, Ferina street, Ufa, 450039, Russia
[2]Ufa University of Science and Technology
32, Zaki Validi street, Ufa, 450076, Russia
Department LLC “Aytiluk”
3B, Karl Marx street, office 114, Ufa, 450076, Russia

Abstract. In the context of the development of Industry 4.0 and digital manufacturing, minimizing downtime of process equipment is a key factor in increasing efficiency. The development of a universal mobile platform (UMP) is driven by the growing need for robotic automation of CNC machine tool interoperability, which still relies heavily on manual labor, resulting in lost time and reduced overall productivity. Existing stationary and mobile solutions do not provide the necessary combination of precision, adaptability, and rapid deployment in a dynamic production environment.

Aim. The study is to develop a universal mobile platform for servicing numerically controlled (CNC) machines with improved adaptability, accuracy, and reliability.

Research materials and methods. The research methodology includes systems analysis, mathematical modeling, and strength calculations, which confirm the structural reliability (safety factor of 36.4–52.3%).

Results. This paper presents a mobile robotic platform designed for the rapid maintenance of CNC machine tools in a dynamic production environment. The scientific novelty lies in the synthesis of three innovative elements: a modular architecture, an adaptive air suspension, and a high-speed stabilization system, which provides improved off-road capability by adapting to surface irregularities, unlike existing solutions.

Conclusions. The results demonstrate the feasibility of integrating the platform into the production cycle based on predictive notifications from equipment, ensuring positioning accuracy of ±1.5 mm and autonomous operation. An important practical result is the proven reliability of the selected air springs, ensuring safe operation even in emergency situations. The work offers potential in the development of artificial intelligence (AI) algorithms for automatic control systems (ACS), enabling more complex predictive planning and adaptation to unforeseen situations without operator intervention. The practical significance of the work is confirmed by the estimated reduction in equipment downtime by 15–20%.

Keywords: mobile robotic platform, CNC, modular architecture, adaptive pneumatic suspension, precision stabilization, autonomy, positioning, downtime reduction, production environment, integration

Submitted 20.08.2025, approved after reviewing 30.10.2025, accepted for publication 01.11.2025

For citation. Iskakov S.A., Munasypov R.A., Tselischev O.V. Universal mobile platform for servicing computer numerical control machines. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 47–59. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-47-59

Введение

Современное машиностроение характеризуется растущими требованиями к эффективности производственных процессов и сокращению простоев оборудования. Одним из ключевых препятствий на пути к полной автоматизации является проблема оператив-

ного межоперационного обслуживания станков с ЧПУ, которое до сих пор требует значительного участия человеческого труда. Это приводит к потерям времени на перемещения оператора, «окнам» в работе оборудования и, как следствие, к снижению общей производительности участка.

Существующие стационарные роботы-манипуляторы и мобильные платформы не в полной мере решают эту проблему. Стационарные роботы обладают ограниченной зоной обслуживания, а большинство мобильных решений не обеспечивает необходимой точности позиционирования и стабильности в условиях динамической производственной среды, характеризующейся вибрациями, неровностями пола и необходимостью частой перепланировки задач.

Проблема, решаемая в данном исследовании, заключается в отсутствии универсального, точного и быстроразвертываемого роботизированного решения для оперативного обслуживания станков с ЧПУ, способного интегрироваться в гибкие производственные ячейки и минимизировать время простоя оборудования.

В данной работе предлагается комплексное решение – модульная универсальная мобильная роботизированная платформа (МРП), – призванное преодолеть ограничения существующих решений. Ключевой акцент сделан на сокращение простоев и повышение производительности. Платформа проектировалась с учетом требований устойчивости, точности, автономности и модульности.

Проблемам проектирования МРП посвящены работы многих исследователей. В работе [1] рассмотрены вопросы точного позиционирования промышленных роботов в условиях неопределенности производственной среды. В монографии [2] подробно описаны методы SLAM-навигации для мобильных робототехнических комплексов. Особого внимания заслуживают вопросы проектирования пневматических систем стабилизации [3]. Методики расчета параметров движения мобильных платформ подробно изложены в работе [4]. Несмотря на значительное количество исследований в области мобильной робототехники, научная новизна представленной работы заключается в комплексном синтезе модульной архитектуры, адаптивной пневмоподвески с амортизаторами диаметром 80 мм и прецизионной системы стабилизации с временем развертывания менее 2 с, специально оптимизированных для задач обслуживания парка станков с ЧПУ в режиме, инициируемом прогнозными уведомлениями.

Цель исследования – разработка универсальной мобильной платформы для обслуживания станков с ЧПУ с повышенными показателями адаптивности, точности и надежности.

Задачи исследования:

1. Разработка модульной архитектуры платформы.
2. Создание системы адаптивной пневмоподвески.
3. Разработка прецизионной системы стабилизации.
4. Создание интеллектуальной системы управления.

Актуальность проводимых исследований подтверждается тем, что необходимость роботизации определена в Национальном проекте «Средства производства и автоматизации».

Методы исследования

В работе применялись методы системного анализа, математического моделирования, экспериментальные исследования и расчеты на прочность. Использовались стандартные методики оценки механических характеристик [4, 5].

Требования к конструкции МРП

Требования к конструкции МРП разработаны с учетом недостатков существующих мобильных роботов за счет модульности и адаптивных систем.

1. Модульность (быстрая адаптация под задачи):

• Сменные компоненты (приводы, инструменты, датчики, колесные базы), замена привода занимает менее 15 мин.

• Компактность (ширина платформы не более 800 мм) – выбрана исходя из анализа типовых производственных помещений для перемещения в узких зонах (например, дверные проемы).

• Конструкция корпуса – обеспечивает легкий монтаж/демонтаж оборудования для быстрого ремонта и замены.

2. Адаптивная пневмоподвеска (стабильность и виброзащита):

• Амортизаторы – диаметром 80 мм.

• Управление – регулировка давления воздуха (рабочее: 0.6–0.8 МПа) для изменения упругости и демпфирования.

• Надежность – минимальный запас прочности 36,4 % (при $P = 0.6$ МПа).

• Функции:

○ гашение вибраций (защита груза/оборудования);

○ поддержание строго горизонтального положения платформы на неровностях.

Выбор диаметра 80 мм является результатом компромисса между компактностью и запасом прочности, что подробно обосновано в разделе расчетов.

3. Прецизионная стабилизация:

• Гироскопические датчики – точность удержания углов наклона ±0,05°.

• Система стабилизирующих опор:

○ время развертывания менее 2 секунд;

○ фиксация платформы при работе манипулятора (исключение вибраций/проседания).

Для достижения времени развертывания менее 2 секунд была разработана алгоритмическая оптимизация управления пневмоцилиндрами, что критически важно для минимизации общего времени цикла обслуживания.

4. Гибкое энергоснабжение:

• Автономный источник – аккумуляторная батарея (АКБ) 48В, 250 А·ч.

• Стационарная работа – возможность зарядки/питания от промышленной сети 380В.

Преимущества конструкции МРП:

• Универсальность – легкая адаптация к различным задачам и средам за счет модульности.

• Устойчивость и защита – адаптивная подвеска и прецизионная стабилизация обеспечивают безопасность груза и точность работы оборудования на ходу и стоянке.

• Оперативность – быстрая замена модулей и развертывание опор.

• Автономность и долговременная работа – мощная АКБ с возможностью сетевого питания.

Структура МРП

МРП состоит из следующих подсистем:

• Энергообеспечение – АКБ 48В, 250 А·ч.

• Пневмосистема – компрессор, распределители, ресивер.

• Исполнительные механизмы – пневмоцилиндры и сервоприводы.

• Система стабилизации – активные опоры с временем развертывания не менее 2 с.

• Сенсорная система – гироскопы, акселерометры, лидары, камеры.

• Рабочий орган – промышленный манипулятор Fanuc M-20iA.

Методика расчетов параметров движения и нагрузок основывалась на классических подходах теории механизмов и машин с учетом современных требований к точности позиционирования [4].

Структурная схема системы управления мобильного роботизированного комплекса представлена на рис. 1.

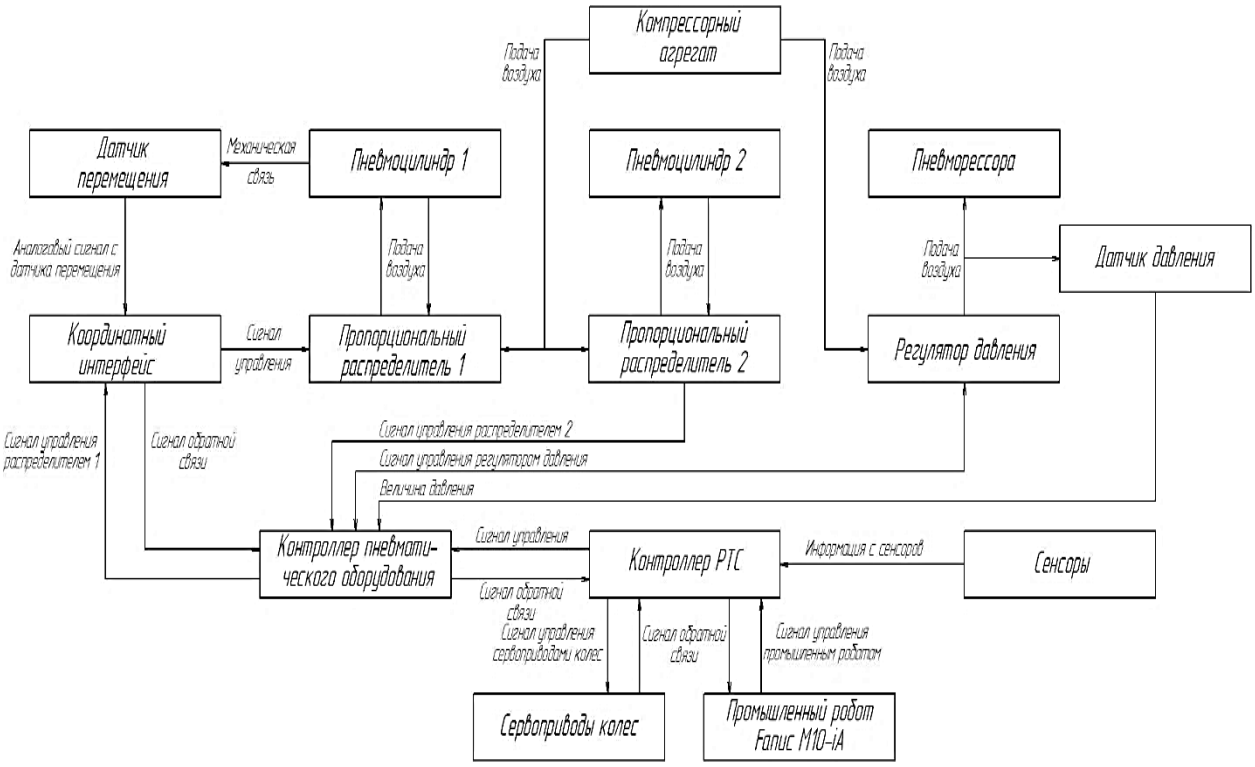


Рис. 1. *Структурная схема системы управления мобильного роботизированного комплекса*

Fig. 1. *Structural diagram of the control system for the mobile robotic complex*

Компрессорный агрегат создает рабочее давление в пневмосистеме, он включается автоматически при понижении давления в ресивере до 0,8 МПа.

За выдачу управляющих сигналов на контроллер пневматического оборудования, промышленного робота и сервоприводы колес платформы отвечает контроллер платформы, в который поступает цифровой сигнал отклонения платформы от горизонтального положения с двухосевого гироскопа и в котором записаны программа или алгоритм работы универсальной мобильной платформы. Цифровые сигналы управления контроллера платформы преобразуются в аналоговые и подаются на соответствующее оборудование контроллером пневматического оборудования.

Контроллер пневматического оборудования обладает функциями контроллера положения (замкнутый контур) и управления позиционированием (открытый контур).

Расчет параметров движения МРП

Параметры МРП:

- Сервоприводы – 4 шт. Fanuc βiS 22HV (P = 1,5 кВт, n_{max} = 4500 об/мин.) [5].
- Радиус колес – R = 0,1 м.

Масса платформы с нагрузкой – 765 кг.

Масса платформы включает все компоненты комплекса и полезную нагрузку. Для достижения этой скорости при выбранной мощности серводвигателей потребовалось передаточное число открытой зубчатой передачи $u_{озп} = \frac{1}{25}$.

Расчет скорости движения:

$$\upsilon = \frac{n_{max}}{60} \cdot 2\pi \cdot \mathrm{R} \cdot u_{\text{озп}} = \frac{4500}{60} \cdot 2\pi \cdot 0{,}1 \cdot \frac{1}{25} = 6{,}786 \text{ км/ч},$$

где n_{max} – максимальное число оборотов серводвигателей;

R – радиус колеса.

Данная скорость удовлетворяет заданным требованиям. Примечание: для обеспечения безопасности, точности позиционирования и минимизации вибраций эксплуатационная скорость ограничена значением 5 км/ч.

Поворот вала сервомотора на один угловой шаг определяет теоретически минимальное смещение платформы МРП:

$$s = \frac{\pi \cdot a_{\text{ш}}}{180^0} \cdot \mathrm{R} \cdot u_{\text{озп}} = \frac{\pi \cdot 0{,}12^0}{180^0} \cdot 0{,}1 \cdot \frac{1}{25} = 0{,}0084 \text{ мм},$$

где R – радиус колеса,

$\alpha_{\text{ш}}$ – угловой шаг сервопривода, $\alpha_{\text{ш}} = 0{,}12°$;

$u_{\text{озп}}$ – передаточное число открытой зубчатой передачи, $u_{\text{озп}} = \frac{1}{25}$.

Примечание: теоретическая точность 0,0084 мм недостижима на практике из-за эластичной деформации шин, люфтов в зубчатой передаче и проскальзывания колес. Точность позиционирования: МРП – ±1,5 мм; манипулятор – ±0,5 мм.

Расчет параметров МРП

Нагрузка на критический амортизатор:

- Суммарная сила – F_Σ = 3835,5 Н.
- Допустимая нагрузка *[F]* – при P = 0,8 Мпа ≈ 8042,5 Н, при P = 0,6 Мпа ≈ 6031,9 Н.

Управляемые амортизаторы МРП должны выдерживать нагрузку при максимально вытянутой руке промышленного робота с максимальной нагрузкой на схвате. На рис. 2 показаны векторы сил, действующих на платформу при работе манипулятора в максимально нагруженной конфигурации (силы нагрузки *($F_г$, F_4, F_3, F_2)* создают крутящий момент; силы F_n и F_1 – статическую нагрузку).

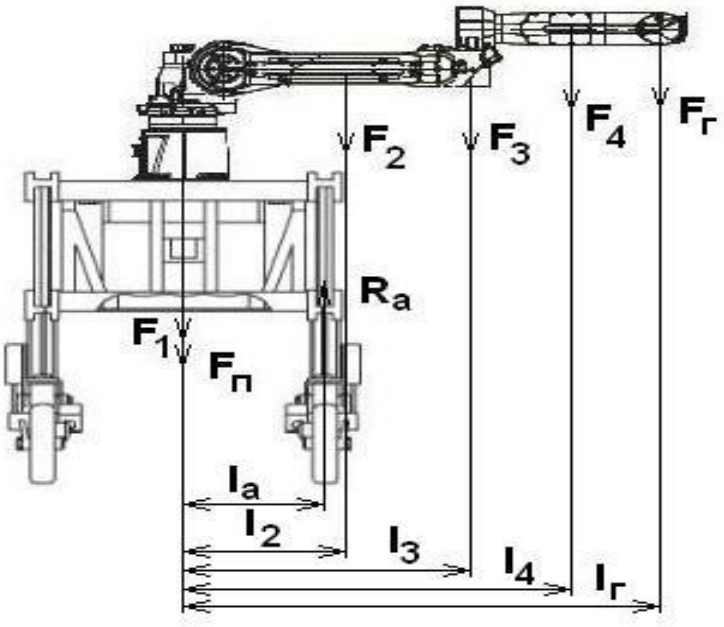


***Рис. 2**. Схема нагружения МРП / **Fig. 2**. MRP loading diagram*

Здесь указаны силы: $F_г$ – полезная нагрузка и вес пятого звена промышленного робота 250 Н; F_4 – вес четвертого звена робота 300 Н; F_3 – вес третьего звена робота 450 Н; F_2 – вес второго звена робота 650 Н; F_1 – вес первого звена робота 1100 Н; $F_п$ – вес подрессоренной части платформы без учета манипулятора приблизительно 7500 Н; Ra – реакция опоры управляемого амортизатора, она не должна превышать допустимую нагрузку управляемого амортизатора. Веса звеньев соответствуют промышленному роботу Fanuc M-20iA. Силы $F_г$, F_4, F_3, F_2 создают крутящий момент относительно оси, проходящей через центр платформы, а силы $F_п$ и F_1 создают своей массой нагрузку, равнораспределенную на все четыре управляемых амортизатора. Расстояния от центра платформы до центров масс: $l_г$ = 1811 мм, l_4 = 1054 мм, l_3 = 924 мм, l_2 = 286 мм, l_a = 575 мм.

Максимально допустимая нагрузка на пневматический цилиндр управляемого амортизатора (Festo DSBG-80-500-PPVA-N3) составляет:

при P = 0,8 МПа

$$F = S \cdot P = \frac{\pi d^2}{4} \cdot P = \frac{\pi \cdot 80^2}{4} \cdot 0{,}8 = 8038{,}4 \text{ Н};$$

при P = 0,6 МПа

$$F = S \cdot P = \frac{\pi d^2}{4} \cdot P = \frac{\pi \cdot 80^2}{4} \cdot 0{,}6 = 6028{,}8 \text{ Н}.$$

Расчет нагрузки осуществляется для двух наиболее нагруженных амортизаторов МРП для данной схемы.

Силы $F_п$ и F_1 создают нагрузку на все четыре управляемых амортизатора, равную:

$$F_{\Sigma 1} = \frac{F_п + F_1}{4} = \frac{7500+1100}{4} = 2150 \text{ Н (на амортизатор)}.$$

Силы $F_г$, F_4, F_3, F_2 создают крутящий момент относительно оси, проходящей через центр платформы:

$$M_\Sigma = F_Г \cdot l_Г + F_4 \cdot l_4 + F_3 \cdot l_3 + F_2 \cdot l_2 = 250 \cdot 1{,}811 + 300 \cdot 1{,}054 + 450 \cdot 0{,}924 + 650 \cdot 0{,}286 = 1370{,}65 \text{ Нм}.$$

Диагональное расстояние между амортизаторами:

$L_{диаг} = 2 \cdot l_a \cdot \cos(45^0) = 2 \cdot 0{,}575 \cdot 0{,}707 \approx 0{,}813$ м.

Соответственно сила, действующая на рассчитываемые амортизаторы, равна:

$$F_{\Sigma 2} = \frac{M_\Sigma}{L\text{диаг}} = \frac{1370.65}{0{,}813} = 1685{,}5 \text{ Н}.$$

Общая нагрузка на один из наиболее нагруженных управляемых амортизаторов равна:

$$F_\Sigma = F_{\Sigma 1} + F_{\Sigma 2} = 2150 + 1685{,}5\text{Н} = 3835{,}5 \text{ Н}.$$

В таблице 1 представлены результаты расчета и оценки прочности для двух типов диаметров (80 мм и 70 мм) при различных значениях давления. Для каждого случая указаны:

Диаметр 80 мм:

- Гарантированный запас прочности при рабочих давлениях (36,4–52,3 %).
- Безопасная работа даже при аварийном падении давления до 0,6 МПа.
- Полное соответствие ГОСТ Р 57751-2017 и требованиям безопасности.

Таблица 1. *Расчет и оценки прочности для двух типов диаметров (80 мм и 70 мм)*

Table 1. *Strength calculation and evaluation for two diameter types (80 mm and 70 mm)*

Диаметр	Давление	Допустимая нагрузка, Н	Фактическая нагрузка, Н	Запас прочности, %	Оценка рисков
80 мм	0,8 МПа	8038,4	3835,5	52,3	соответствует требованиям
	0,6 МПа	6028,8	3835,5	36,4	соответствует требованиям
70 мм	0,8 МПа	6157,52	3835,5	37,7	приемлемо
	0,6 МПа	4618,14	3835,5	17	требует постоянного контроля
	0,55 МПа	2116,5	3835,5	9,4	не рекомендуется

В результате проведенного анализа был обоснован и внедрен в конструкцию выбор амортизаторов диаметром 80 мм. Это решение, увеличив массогабариты, позволило добиться значительного эксплуатационного запаса, что подтверждено строгими расчетами на прочность, показавшими запас в 36,4 % даже в аварийном режиме.

Диаметр 70 мм:

- Минимально допустим при стабильном давлении ≥0,8 МПа (запас 37,7 %).
- Критичные риски:
  - при P = 0,6 МПа запас всего 17,0 % – требует постоянного контроля;
  - при P = 0,55 МПа запас 9,4% – высокий риск отказа при динамических нагрузках.

Рекомендации

На основе проведенных расчетов сформулированы следующие инженерные рекомендации:

1. В качестве базового должен быть принят вариант с амортизаторами диаметром 80 мм.
2. Для диаметра 70 мм требуется:

- Система постоянного мониторинга давления.
- Автоматическая блокировка робота при падении давления ниже 0,65 МПа.
- Дополнительные расчеты на динамические нагрузки (удары, вибрации).

3. Дополнительные меры безопасности:

- Установка ресивера с запасом сжатого воздуха.
- Датчики контроля нагрузки на амортизаторы в реальном времени.
- Регулярные проверки герметичности пневмосистемы.

Условия эксплуатации

1. Температурный диапазон работы: –10° до +40°С.
2. Требования к покрытию: перепады высот ≤ 3 мм/м.
3. Интервал технического обслуживания (ТО): 250 моточасов.
4. Калибровка системы автоматического управления (САУ): раз в 72 часа работы.

Разработка методики выполнения операций МРП для обслуживания станков с ЧПУ. Подготовка рабочей зоны МРП

Автоматизация любого процесса практически всегда требует предварительной подготовки рабочего места, например, расположения всех необходимых рабочих объектов в определенных местах рабочего пространства, обеспечения соответствующего освещения рабочей зоны в случае использования систем технического зрения, подготовки поверхности передвижения мобильных робототехнических комплексов и т.д.

Для обеспечения проезда МРП необходимо очистить поверхность от посторонних предметов. Перед началом погрузочно-разгрузочных работ необходимо подготовить рабочую зону. В первую очередь следует очистить оснастку от загрязнений и стружки.

Манипулятор МРП захватывает заготовку со стола, предназначенного для установки заготовок, и устанавливает ее в оснастку станка с ЧПУ. После завершения механической обработки МРП снимает деталь с оснастки станка и помещает ее на другой стол, предназначенный для готовой продукции.

Для обслуживания станков и обрабатывающих центров с ЧПУ подготовка рабочей зоны предполагает SLAM (англ. Simultaneous Localization and Mapping – одновременная локализация и построение карты) на основе одометрии, лидара и/или камер, что обеспечивает ориентацию МРП в пространстве. Точность SLAM ±10 мм при перемещении на расстояние до 20 м.

Методика выполнения обслуживания станков с ЧПУ

Перед началом обслуживания станков с ЧПУ МРП занимает расчетную позицию. Программно определяются точки возле стола с заготовками. Рабочий орган МРП останавливается для определения координат заготовки с помощью системы технического зрения, затем захватывает ее. После этого орган перемещается к точке установки следующей заготовки, адаптируя координаты под ее габариты. Процесс повторяется до завершения работ в текущем месте, после чего МРП переходит к следующей позиции. Когда станок с ЧПУ завершает обработку, он отправляет сигнал в контроллер МРП (через Wi-Fi, Bluetooth или Industrial Ethernet). МРП направляется к станку, учитывая маршруты, приоритеты и программы обслуживания из базы данных. После обслуживания МРП может перейти к следующему станку, вернуться на док-станцию или выполнить другие операции. Станки должны отправлять прогнозное уведомление (например, за 5–10 мин до окончания обработки) через систему мониторинга состояния. Критически важным элементом повышения эффективности всей системы является использование прогнозных уведомлений от станков. Внедрение работы по прогнозному сигналу стало ключевым организационным нововведением, позволившим на 15–20 % сократить время простоя оборудования по сравнению с классической реактивной моделью. Алгоритм обслуживания представлен на рис. 3.

***Рис. 3**. Алгоритм обслуживания станков с ЧПУ*

***Fig. 3**. CNC Machine Servicing Algorithm*

Для эффективного выполнения вышеуказанных задач в неопределенной среде необходимо в дальнейшем разработать верхние уровни интеллектуальной САУ МРП, решающей задачи от стратегического планирования до точного исполнительного контроля. Структуру иерархической трехуровневой интеллектуальной системы управления (стратегический, тактический и исполнительный) роботизированным комплексом для станков с ЧПУ укрупненно можно представить в виде, изображенном на рис. 4.

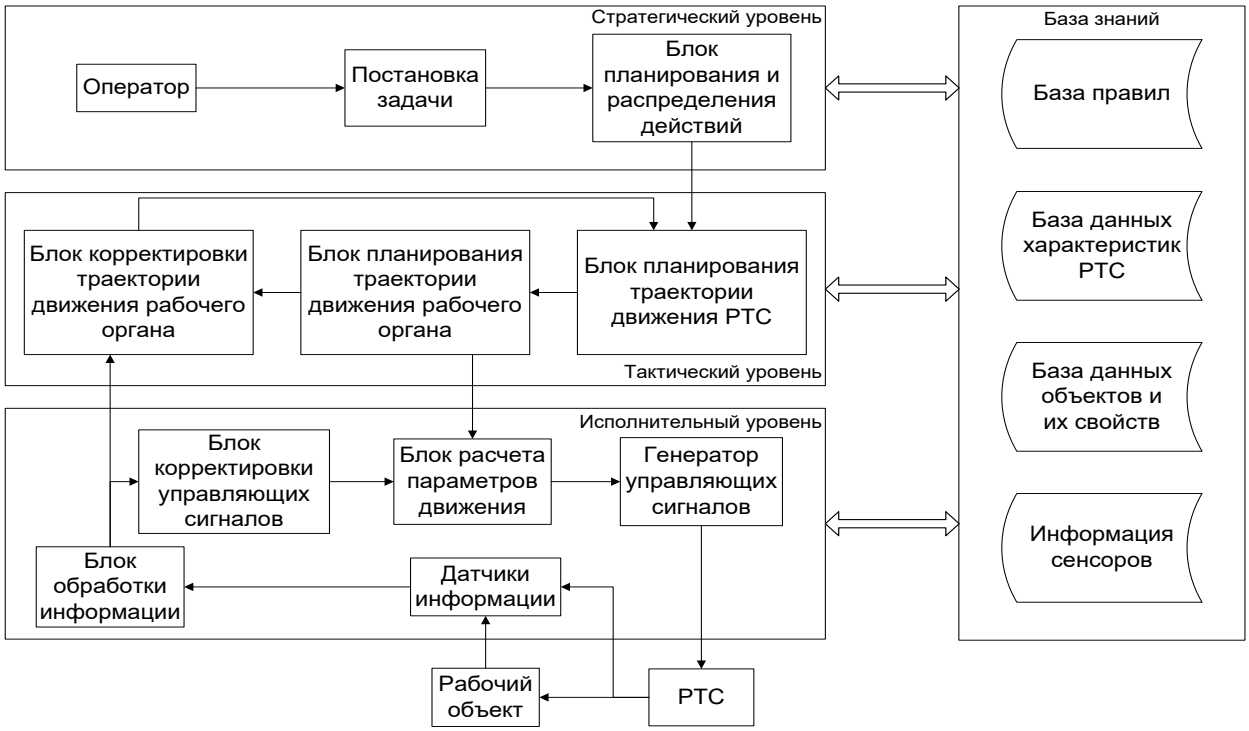


***Рис. 4**. Обобщенная структура САУ*

***Fig. 4**. Generalized structure of the ACS (Automatic Control System)*

Общую модель функционирования такой САУ можно представить в виде множества взаимодействующих процессов:

$$S_{ACS} = (L_{strat}, L_{tast}, L_{exec}, K\,B, \Theta, \Lambda),$$

где:

L_{strat} – стратегический уровень; L_{tast} – тактический уровень; L_{exec} – исполнительный уровень; $K\,B$ – база знаний; Θ – множество сенсорных данных; Λ – множество управляющих воздействий на исполнительные механизмы.

1. Стратегический уровень: модель планирования обслуживания.

Задача уровня – динамическое назначение заданий МРП на основе приоритетов. Используется модель, основанная на минимизации общего времени простоя станков:

$$J = \sum_{i=1}^{N} (t_{ready_i} - t_{avail_i}) \cdot \mathrm{c}_i \rightarrow min,$$

где N – количество станков, требующих обслуживания, t_{ready_i} – время готовности i-го станка, t_{avail_i} – время начала обслуживания i-го станка МРП, c_i – стоимостной коэффициент простоя i-го станка.

Модель и алгоритм работы системы прогнозного уведомления

Критическим элементом является работа по прогнозному уведомлению от станков. Пусть T_{proc} – полное время обработки детали на станке, t_{curr} – текущее время выполнения операции. Станок генерирует прогнозный сигнал в момент

$$t_{alert} = T_{proc} - \Delta t_{reserve} - \Delta t_{MRP},$$

где $\Delta t_{reserve}$ – временной резерв на возможные задержки (≈ 2 мин), Δt_{MRP} – среднее время, необходимое МРП для подхода и подготовки к обслуживанию (≈ 3–8 мин). Это позволяет МРП начать перемещение до фактического останова станка, сокращая время простоя на 15–20 %.

2. Тактический уровень: модели навигации и планирования траектории.

Навигация: используется алгоритм SLAM на основе расширенного фильтра Калмана (EKF). Модель состояния робота в момент *k*:$x_k = [x_k, y_k, \theta_k]^T$. Модель движения:

$$x_k = f(x_{k-1} - 1, u_k) + w_k,$$

где u_k – управляющее воздействие (скорости колес), w_k – гауссов шум процесса. Модель измерений лидара и одометрии: $z_k = h(x_k) + v_k$, где v_k— шум измерений.

Планирование пути: для глобального планирования используется модифицированный алгоритм D* Lite. Стоимость перехода между узлами графа определяется как взвешенная сумма: $C = \alpha L + \beta D + \gamma R$, где *L* – длина пути, *D* – оценка сложности участка (неровности), *R* – фактор риска столкновения.

3. Исполнительный уровень: модель позиционного и силового контроля.

Для управления приводами используется нелинейный ПИД-регулятор с компенсацией:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau)d\tau + K_d \frac{d_e(t)}{d_t} + f_{comp}\ (\dot{q}, \ddot{q}),$$

где $e(t)$ – ошибка позиционирования, f_{comp} – слагаемое компенсации динамических эффектов.

Для обеспечения силового контакта при захвате/установке детали используется гибридный позиционно-силовой контроль на основе модели упругого контакта:

$$F = K\ (X_d - X),$$

где *F* – вектор усилий, *K* – матрица коэффициентов жесткости, X_d и *X* – желаемая и текущая позиции схвата.

Структура базы знаний (KB)

База знаний представляет собой онтологию, формализованную в виде

$$KB = (O, R, A),$$

где: O – множество объектов (станки, МРП, инструменты, детали);

R – множество отношений между объектами (например, расположен_в, обслуживается_МРП, требует_инструмент).

A – множество атрибутов объектов (например, точность_позиционирования: ±1,5 мм, время_развертывания: не менее 2 с, шаблоны_операций).

База знаний включает:

1. Производственную онтологию: модель цеха, типы станков, операции.

2. Технические характеристики МРП и манипулятора.
3. Библиотеку шаблонов операций (более 50) для различных сценариев обслуживания.
4. Карты цехов и исторические данные о выполнении задач.

Результаты

Продемонстрирована возможность интеграции платформы в производственный цикл на основе прогнозных уведомлений от оборудования, что обеспечивает точность позиционирования ±1,5 мм и автономность работы, а также сокращение простоя оборудования на 15–20 %.

Заключение

Разработанная универсальная мобильная платформа представляет собой законченное инженерное решение, готовое к внедрению на современных производственных линиях. Комплексный подход, включающий продуманную модульную архитектуру, надежную систему стабилизации с математически обоснованным запасом прочности и интеллектуальную систему управления, позволяет достичь заявленных показателей. Разработанная модульная архитектура не только обеспечивает гибкость и быстроту переналадки под различные производственные задачи, но и закладывает основу для дальнейшей модернизации. Комплексный подход к проектированию, интегрирующий надежную пневматическую систему стабилизации, энергоэффективную силовую установку и интеллектуальную систему управления, обеспечил достижение заданных показателей точности позиционирования, устойчивости и автономности. Важным практическим результатом является доказанная надежность выбранных пневмоамортизаторов, обеспечивающая безопасную эксплуатацию даже в нештатных ситуациях. Перспективы работы видятся в развитии алгоритмов ИИ для САУ, позволяющих осуществлять более сложное прогнозное планирование и адаптацию к непредвиденным ситуациям без вмешательства оператора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Thrun S., Burgard W., Fox D. Probabilistic Robotics. MIT Press, 2005. 667 p.
2. Siegwart R., Nourbakhsh I.R., Scaramuzza D. Introduction to Autonomous Mobile Robots. MIT Press, 2011. 465 p.
3. *Решетов Д. Н.* Детали машин. М.: Машиностроение, 2019. 367 с.
Reshetov D.N. *Detali mashin* [Machine parts]. Moscow: Mashinostroenie, 2019. 367 p. (In Russian)
4. International Standard ISO 9283:2021. Manipulating industrial robots – Performance criteria and related test methods. Geneva: ISO, 2021. 42 p.
5. Fanuc Corp. Technical manual: Fanuc M-20iA Series. Oshino, Japan, 2023. 215 p.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Искаков Салават Адильбекович, инженер-конструктор, Уфимское моторостроительное производственное объединение;
450039, Россия, г. Уфа, ул. Ферина, 2;
nice.romantic@mail.ru.

Мунасыпов Рустэм Анварович, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой автоматизации технологических процессов (АТП), Уфимский университет науки и технологий;
450076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32;
rust40@mail.ru , SPIN-код: 1949-7757

Целищев Олег Владимирович, ведущий инженер-разработчик электронных устройств департамента НИОКР ООО «Айтилук»;
450076, Россия, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 3Б, офис 114;
noir-phoenix@mail.ru

Information about the authors

Salavat A. Iskakov, Design Engineer, Ufa Engine Industrial Association;
2, Ferina street, Ufa, 450039, Russia;
nice.romantic@mail.ru

Rustem A. Munasypov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head, Department of Process Automation, Ufa University of Science and Technology;
32, Zaki Validi street, Ufa, 450076, Russia;
rust40@mail.ru, SPIN-code: 1949-7757

Oleg V. Tselischev, Leading Electronics Development Engineer, R&D Department LLC “Aytiluk”;
3B, Karl Marx street, office 114, Ufa, 450076, Russia;
noir-phoenix@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 621.865.8:665.6
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-60-76
EDN: GYSEDS

Проектирование мобильного робототехнического комплекса по обслуживанию нефтехранилищ

М. А. Шереужев[✉ 1,2], А. Е. Ушаков[1], И. В. Семянников[1]

[1]Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
127055, Россия, Москва, Вадковский переулок, 1
[2]Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана
105005, Россия, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, с. 1

Аннотация. В нефтяной промышленности стальные вертикальные резервуары со временем загрязняются осадками и отложениями, что приводит к коррозии стенок, потерям полезного объема и аварийным рискам при эксплуатации. Для очистки применяются ручной, химический, механический, гидродинамический и роботизированный методы, однако нероботизированные способы опасны для обслуживающего персонала, требуют значительных материальных и временных ресурсов и могут привести к механическому повреждению стенок резервуара. Существующие роботизированные комплексы для очистки нефтехранилищ обеспечивают безопасную очистку без присутствия персонала внутри резервуара, но требуют постоянного контроля и управления со стороны оператора. Разработка мобильного автономного робототехнического комплекса позволит повысить эффективность процесса очистки, сократить время простоя технологического оборудования, снизить эксплуатационные затраты и минимизировать влияние человеческого фактора в технологическом процессе очистки нефтехранилищ.

Цель данной работы – спроектировать и осуществить компьютерное моделирование мобильного робототехнического комплекса, предназначенного для автоматизированной очистки нефтехранилищ. Для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи: проведено формирование кинематической и динамической моделей мобильного робототехнического комплекса с гусеничным шасси и двухзвенным манипулятором, осуществлено моделирование движения шасси с дифференциальным приводом и манипулятора в среде моделирования *Simulink*, проведена оценка точности позиционирования разработанной системы.

Результаты компьютерного моделирования показали, что при движении по типовой траектории в виде квадрата с длиной ребра 1 метр конечная ошибка позиционирования составила не более 0,102 метра. Накопление ошибки обусловлено отсутствием замкнутого контура управления по положению в текущей версии системы. Достигнутая точность является удовлетворительной для выполнения технологических задач очистки нефтехранилищ и подтверждает перспективность применения автономных роботизированных систем в данной области промышленности.

Заключение. Изготовленный макетный образец подтверждает практическую реализуемость предложенных технических решений и возможность их внедрения в промышленную эксплуатацию на предприятиях нефтегазового комплекса.

Ключевые слова: роботизированная очистка, нефтехранилище, мобильный робот, гусеничная платформа, система управления, математическое моделирование

Поступила 15.10.2025, одобрена после рецензирования 17.11.2025, принята к публикации 25.11.2025

© Шереужев М. А., Ушаков А. Е., Семянников И. В., 2025

Для цитирования. Шереужев М. А., Ушаков А. Е., Семянников И. В. Проектирование мобильного робототехнического комплекса по обслуживанию нефтехранилищ // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 60–76. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-60-76

MSC: 68T40 Original article

Design of a mobile robotic system for servicing oil storage facilities

M.A. Shereuzhev[✉ 1, 2], A.E. Ushakov[1], I.V. Semyannikov[1]

[1]Moscow State University of Technology "STANKIN"
1, Vadkovsky lane, Moscow, 127055, Russia
[2]Bauman Moscow State Technical University
5, buld. 1, 2-nd Baumanskaya street, Moscow, 105005, Russia

Abstract. In the oil industry, steel vertical tanks gradually become contaminated with sediments and deposits over time, leading to wall corrosion, loss of useful volume, and operational safety hazards. Various cleaning methods are employed, including manual, chemical, mechanical, hydrodynamic, and robotic approaches. However, non-robotic methods pose risks to maintenance personnel, require significant material and time resources, and may result in mechanical damage to tank walls. Existing robotic systems for oil tank cleaning ensure safe cleaning without personnel presence inside the tank but require constant monitoring and control by an operator. The development of a mobile autonomous robotic system will improve cleaning process efficiency, reduce technological equipment downtime, decrease operational costs, and minimize the human factor in the oil tank cleaning process.

Aim. This study is to design and perform computer simulation of a mobile robotic system intended for automated oil tank cleaning. To achieve this goal, the following tasks are completed: development of kinematic and dynamic models of the mobile robotic system with tracked chassis and two-link manipulator, simulation of chassis motion with differential drive and manipulator in the *Simulink* simulation environment, and evaluation of the developed system's positioning accuracy.

Computer simulation results showed that when moving along a typical square trajectory with a side length of 1 meter, the final positioning error was no more than 0.102 meters. Error accumulation is due to the absence of a closed-loop position control system in the current version. The achieved accuracy is satisfactory for performing technological tasks of oil tank cleaning and confirms the prospects of applying autonomous robotic systems in this industry sector.

Conclusions. The manufactured prototype confirms the practical feasibility of the proposed technical solutions and the possibility of their implementation in industrial operation at oil and gas industry enterprises.

Keywords: robotic cleaning, oil storage tank, mobile robot, tracked platform, control system, mathematical modeling

Submitted 15.10.2025, approved after reviewing 17.11.2025, accepted for publication 25.11.2025

For citation. Shereuzhev M.A., Ushakov A.E., Semyannikov I.V. Design of a mobile robotic system for servicing oil storage facilities. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 60–76. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-60-76

Введение

В современной нефтяной промышленности хранение нефти и нефтепродуктов осуществляется в стальных вертикальных резервуарах (РВС) [1, 2], которые со временем загрязняются осадками и отложениями. Это приводит к коррозии, снижению объема хранения, количественным потерям, ухудшению качества продукта и рискам аварий [3–5]. Для

очистки нефтехранилищ применяются ручной, химический, механический, гидродинамический и роботизированный методы [6–9].

Нероботизированные способы очистки обладают значительными недостатками [10–13]. Ручная очистка опасна для персонала и требует много времени на выполнение. Химическая очистка эффективна, но требует дорогих реагентов и вызывает проблемы с утилизацией. Механическая очистка сокращает время работ, но применение такого способа очистки может привести к повреждению резервуара. Гидродинамический метод отличается безопасностью и быстротой очистки, но требует значительных затрат воды и оставляет значительный объем отходов.

Основным преимуществом роботизированного подхода к очистке нефтехранилищ является отсутствие необходимости пребывания персонала в резервуаре во время проведения очистки [14]. Существующие роботизированные комплексы, такие как MARTin, Lunar Rover и KOKS ESOT, обеспечивают безопасную и эффективную очистку без необходимости пребывания персонала внутри хранилища при непосредственном осуществлении очистки [15]. Представленное в табл. 1 сравнение вышеперечисленных робототехнических комплексов (РТК) показывает, что основным недостатком данных решений является необходимость участия оператора для осуществления управления роботом.

Таблица 1. Сравнительный анализ существующих РТК для очистки нефтехранилищ

Table 1. Comparative analysis of existing RTCs for cleaning oil storage facilities

	MARTin	Lunar Rover	KOKS ESOT
Тип привода	Гусеничный	Колесный, 6х6	Гусеничный
Давление выпускаемой струи, бар	20	100	70–100
Температура рабочей жидкости, °С	до 85	от 60	до 80
Необходимость сборки внутри резервуара	нет	да	нет
Тип управления	Дистанционное	Дистанционное	Дистанционное

Проектирование нового мобильного РТК позволит повысить эффективность очистки и минимизировать риски для персонала и окружающей среды.

Задачи, решаемые в представленной работе:

– описание конструкции и функционала модели мобильного РТК;

– формирование кинематической модели мобильного РТК;

– разработка динамической модели мобильного РТК;

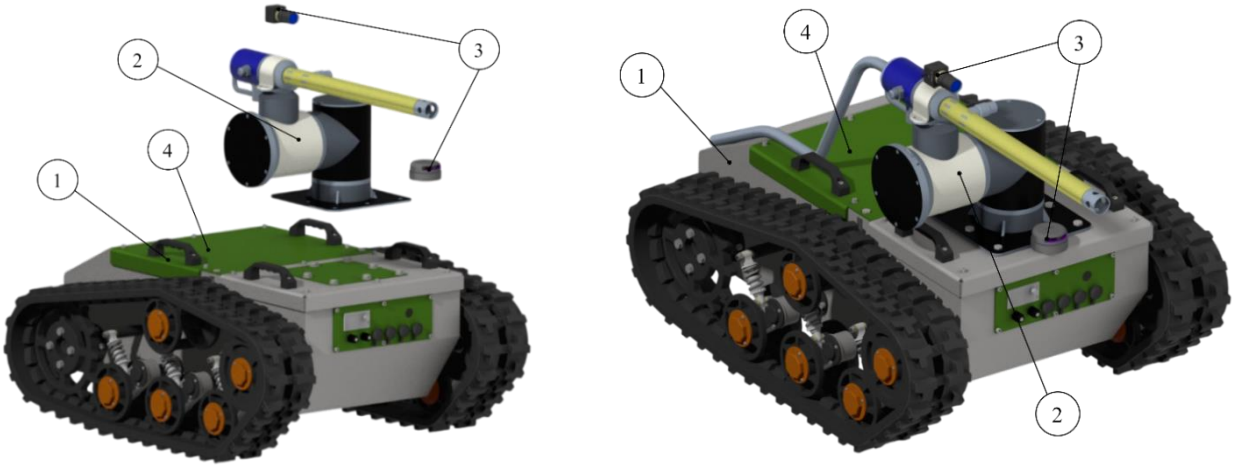
– осуществление моделирования движения шасси и манипулятора мобильного РТК и оценка результатов.

Материалы и методы исследования

Конструкция мобильного РТК

Конструкция мобильного робототехнического комплекса (рис. 1), предназначенного для выполнения операции очистки резервуара для хранения нефтепродуктов, состоит из следующих элементов:

1. Шасси.
2. Двухосевой манипулятор.
3. Сенсоры системы технического зрения.
4. Блок управления.



а) б)

Рис. 1. *Эскиз конструкции мобильного робота. Распределенный вид (а) и вид в сборе (б)*

Fig. 1. *Sketch of the mobile robot design: distributed view (a) and assembled view (b).*

В табл. 2 приведены основные параметры проектируемого РТК, сформированные на основе САПР-модели робота.

Таблица 2. Основные параметры конструкции мобильного РТК

Table 2. Main design parameters of the mobile RTK

Параметр	**Значение**
Длина х Ширина х Высота, мм	1020 х 816 х 780
Масса, кг	120
Тип движителя	Гусеничный
Расстояние между гусеницами, мм	650
Радиус ведущих колес, мм	122
Датчики системы технического зрения	IMU, LiDAR, RGB камера

Кинематическая модель мобильного РТК

На рис. 2 представлена кинематическая схема двухзвенного манипулятора, предназначенного для позиционирования рабочего инструмента.

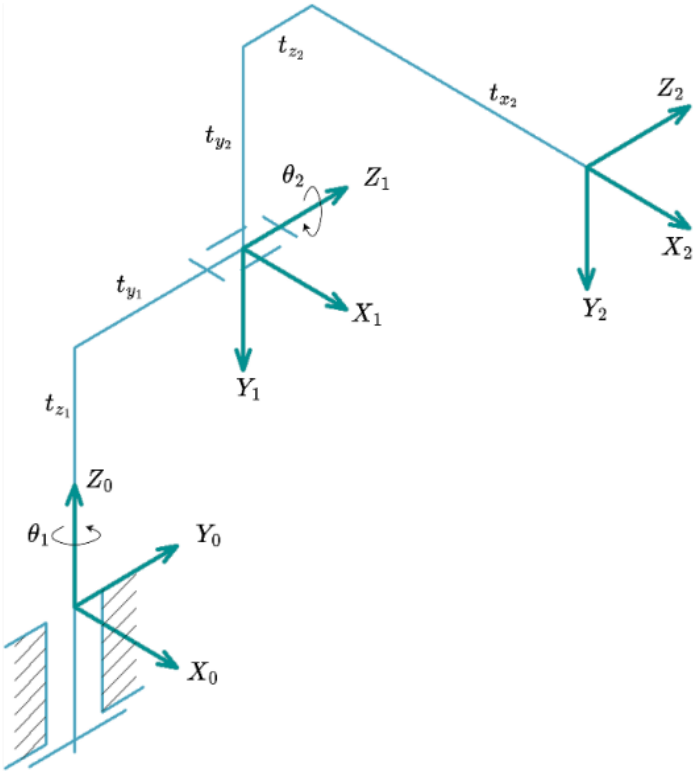


***Рис. 2**. Кинематическая схема двухзвенного манипулятора*

***Fig. 2**. Kinematic diagram for a two-link manipulator*

Как видно из кинематической схемы, двухзвенный манипулятор обладает двумя степенями подвижности.

Кинематическая схема шасси может быть представлена в виде схемы дифференциального привода (рис. 3).

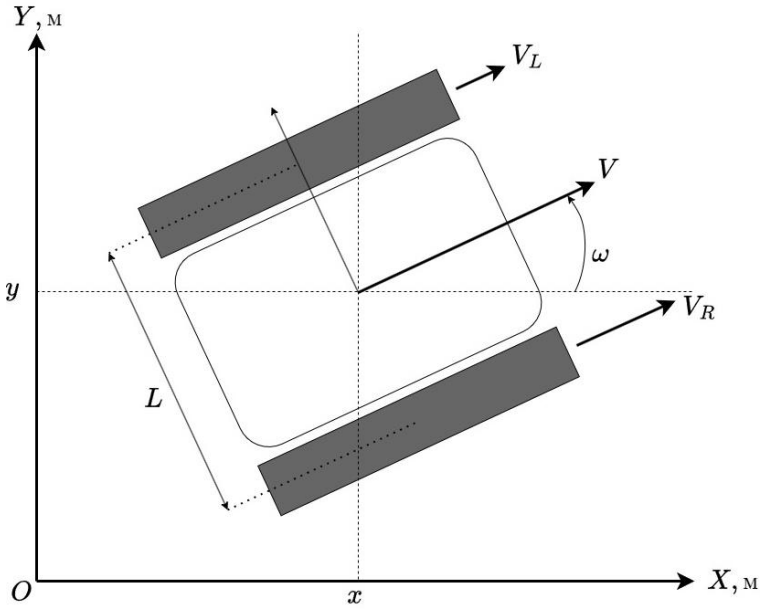


***Рис. 3**. Кинематическая схема шасси*

***Fig. 3**. Chassis kinematic diagram*

Линейные скорости движения правой и левой гусениц вычисляются по следующей формуле [16]:

$$\begin{bmatrix} V_R \\ V_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 \\ 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_R \\ \omega_L \end{bmatrix},$$

где ω_R – угловая скорость вращения ведущего колеса правой гусеницы, рад/с;

ω_L – угловая скорость вращения ведущего колеса левой гусеницы, рад/с;

V_R – линейная скорость правой гусеницы, м/с;

V_L – линейная скорость левой гусеницы, м/с;

R – радиус ведущих колес гусеницы, $R = 0{,}122$ м.

Вектор прямолинейной и угловой скоростей движения мобильного РТК определяется по формуле:

$$\begin{bmatrix} V \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 1/L & -1/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ V_L \end{bmatrix},$$

где V – линейная скорость движения мобильной платформы, м/с;

ω – угловая скорость движения мобильной платформы, рад/с;

L – расстояние между гусеницами платформы, $L = 0{,}65$ м.

Решая обратную задачу, получим вектор требуемых скоростей правой и левой гусениц:

$$\begin{bmatrix} V_R \\ V_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & L/2 \\ 1 & -L/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ \omega \end{bmatrix}.$$

Вектор приращения координат (скоростей) мобильного РТК в глобальной системе координат вычисляется по формуле:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cos(\theta) & 0 \\ sin(\theta) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ \omega \end{bmatrix},$$

где $\dot{x}$ – приращение координаты робота по оси X, м/с;

$\dot{y}$ – приращение координаты робота по оси Y, м/с;

$\dot{\theta}$ – приращение угловой координаты робота, рад/с.

Динамическая модель мобильного РТК

Сила, F_i, развиваемая на гусенице с учетом сопротивления движению, определяется по формуле:

$$F_i = \frac{M_i}{R} - bV_i,$$

где M_i – выходной момент редуктора двигателя, Н×м;

b – коэффициент вязкого трения, $b = 30$ Н×с/м;

V_i – скорость движения гусеницы, м/с.

Уравнение равновесия поступательного движения:

$$m\dot{V} = F_L + F_R - \mu mg,$$

где m – масса робота, m = 120 кг;

$\dot{V}$ – приращение линейной скорости движения, м/с;

F_R – сила, развиваемая двигателем на правой гусенице, Н;

F_L – сила, развиваемая двигателем на левой гусенице, Н;

μ – коэффициент трения, $\mu = 0{,}5$;

g – ускорение свободного падения, $g = 9{,}81$ м/с^2.

Уравнение равновесия вращательного движения РТК:

$$I\dot{\omega} = \frac{L}{2}\left(F_R - F_L\right) - M_C,$$

где I – момент инерции шасси, I = 21 кг × м^2;

$\dot{\omega}$ – приращение угловой скорости движения шасси, рад/с^2.

Вектор приращений линейной и угловой скоростей движения РТК:

$$\begin{bmatrix} \dot{V} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{m} & \frac{1}{m} \\ \frac{L}{2I} & -\frac{L}{2I} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_R \\ F_L \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} F_C \\ M_C \end{bmatrix}.$$

Система управления мобильным РТК

Структурная схема системы управления представлена на рис. 4. На самом верхнем уровне система управления подразделяется на два блока: интерфейс оператора и робототехнический комплекс. Интерфейс оператора предназначен для предоставления информации от платформы непосредственно оператору.

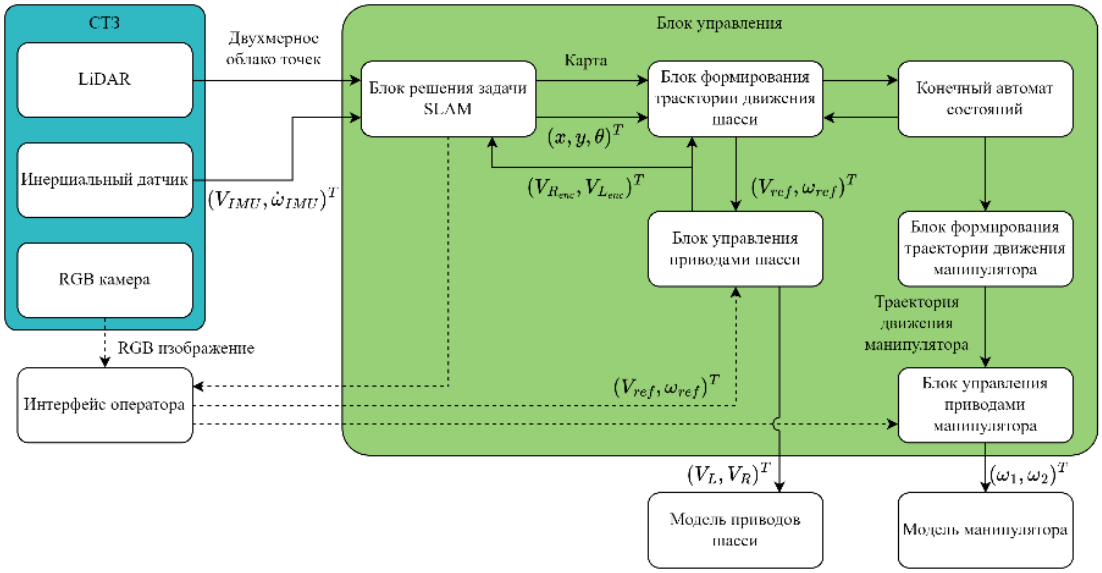


***Рис. 4**. Структурная блок-схема системы управления*

***Fig. 4**. Structural block diagram of the control system*

Если управление комплексом осуществляется оператором в дистанционном режиме, то интерфейс, помимо всего прочего, позволяет оператору осуществлять воздействие на робота. При работе в дистанционном режиме управление комплексом осуществляется исключительно оператором.

Автономный режим подразумевает полностью автономную работу роботизированной платформы. Основываясь на информации, полученной от информационно-измерительной системы, и на показаниях инерциальных датчиков, решается задача построения карты в неизвестном пространстве (SLAM). Учитывая площадь зоны поверхности стенки резервуара, определяются позиции, из которых будет осуществляться очистка, и траектория, по которой робот будет перемещаться между этими позициями. Далее осуществляются низкоуровневое воздействие на двигатели шасси, позиционирование двухосевого манипулятора и управление исполнительным механизмом.

Система технического зрения на основе LiDAR-сканирования обеспечивает коллаборативное взаимодействие с персоналом за счет возможности снижения скорости при детекции человека на безопасном расстоянии [17]. Также предусмотрена экстренная остановка при критическом сближении человека и мобильного РТК.

В автономном режиме работы оператор получает возможность прямого воздействия на систему управления исполнительными механизмами очищающей системы и на блок управления движением гусеничной платформы.

Модель в *Matlab Simulink*

Модель гусеничной платформы, составленная в соответствии с математическим описанием, представлена на рис. 5. Модель содержит замкнутые контуры управления скоростями гусениц, где сигналы обратной связи формируются на основе показаний энкодеров, измеряющих угловые скорости ведущих колес.

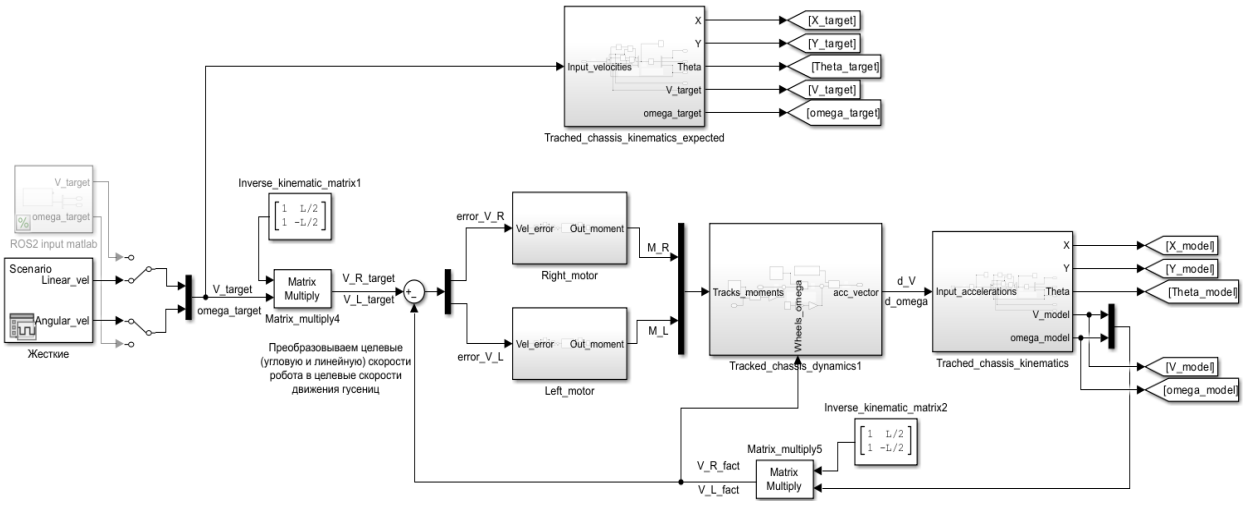


***Рис. 5**. Модель гусеничной платформы в Matlab Simulink*

***Fig. 5**. Model of a tracked platform in Matlab Simulink*

На рис. 6 представлена динамическая модель гусеничной платформы, реализованная в пакете *Simulink*. В данной модели учитываются силы, моменты и инерционные характеристики робота. Входным сигналом является вектор моментов, развиваемых двигателями, а выходным – вектор линейного и углового ускорения движения шасси.

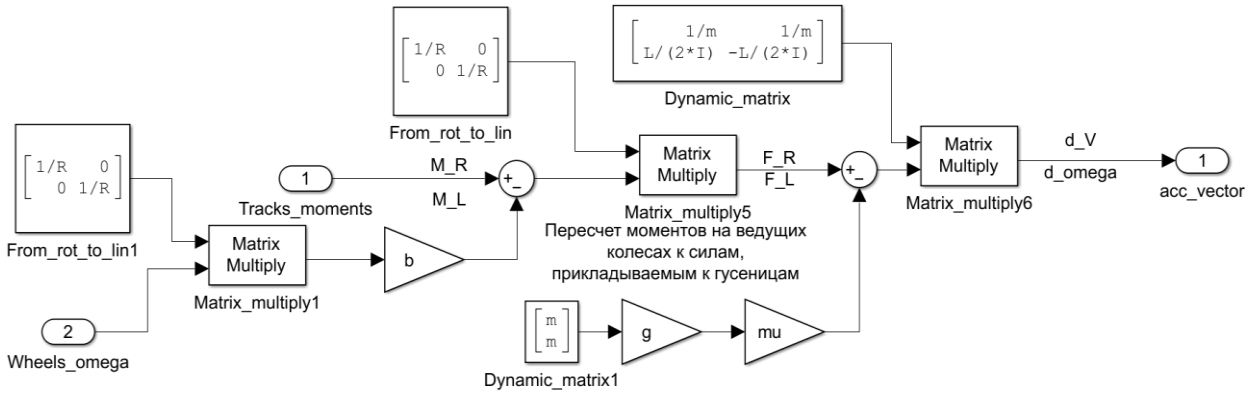


***Рис. 6**. Блок динамической модели гусеничной платформы*

***Fig. 6**. Block of the dynamic model of the tracked platform*

Рис. 7 демонстрирует кинематическую модель платформы, описывающую ее движение на основе скоростей и ускорений ведущих гусениц. В отличие от динамической модели здесь не учитываются силы и моменты, а анализируется лишь геометрическое поведение робота.

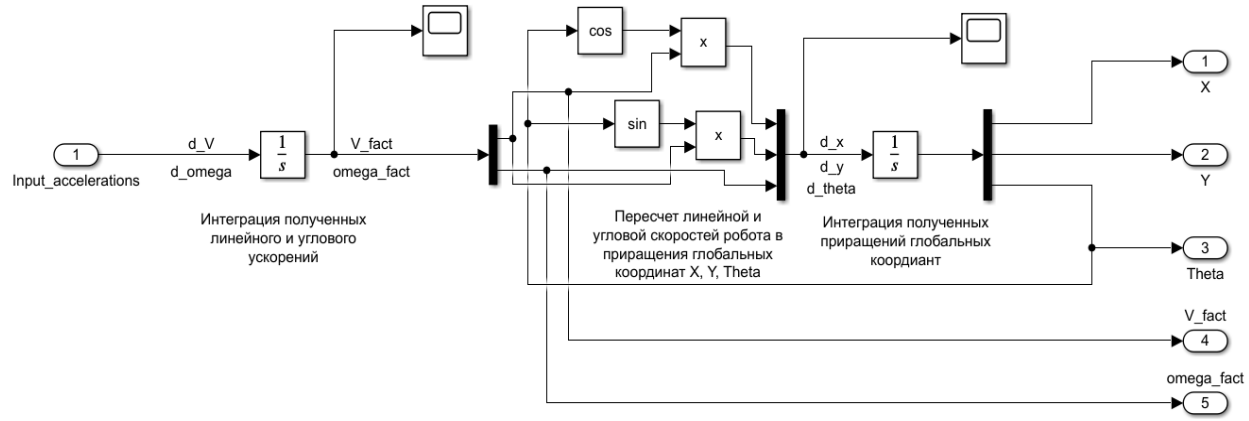


***Рис. 7**. Блок кинематической модели гусеничной платформы*

***Fig. 7**. Block of the kinematic model of the tracked platform*

Результаты

На рис. 8–11 продемонстрированы результаты моделирования при управляющем сигнале, при котором шасси мобильного РТК движется по типовой траектории в виде квадрата (4 прямолинейных отрезка и 4 поворота) с длиной ребра 1 метр.

На рис. 8 проиллюстрирован график координат X и Y центра масс шасси при осуществлении моделирования движения по типовой траектории (на оси абсцисс приведены координаты X, на оси ординат – координаты Y).

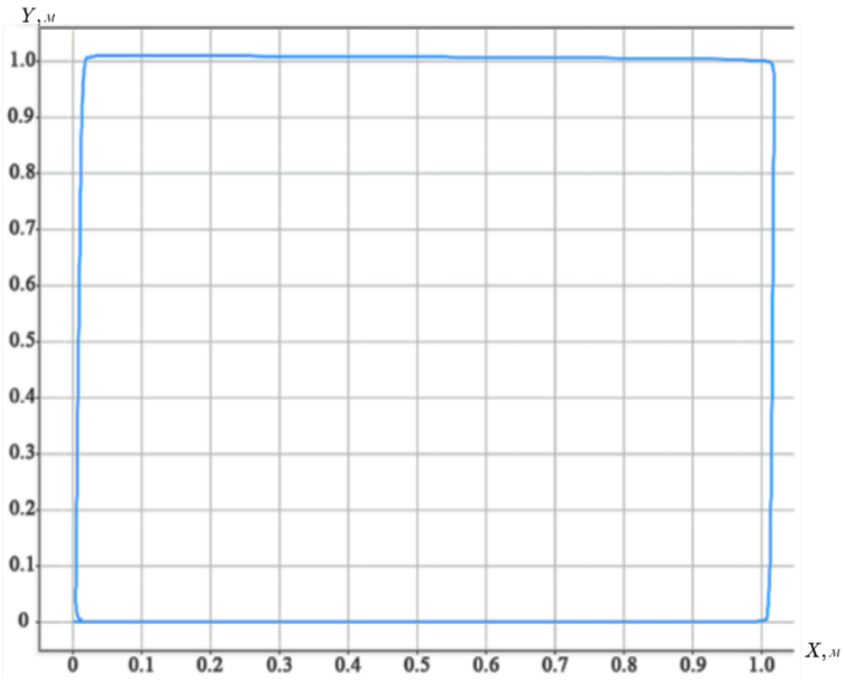
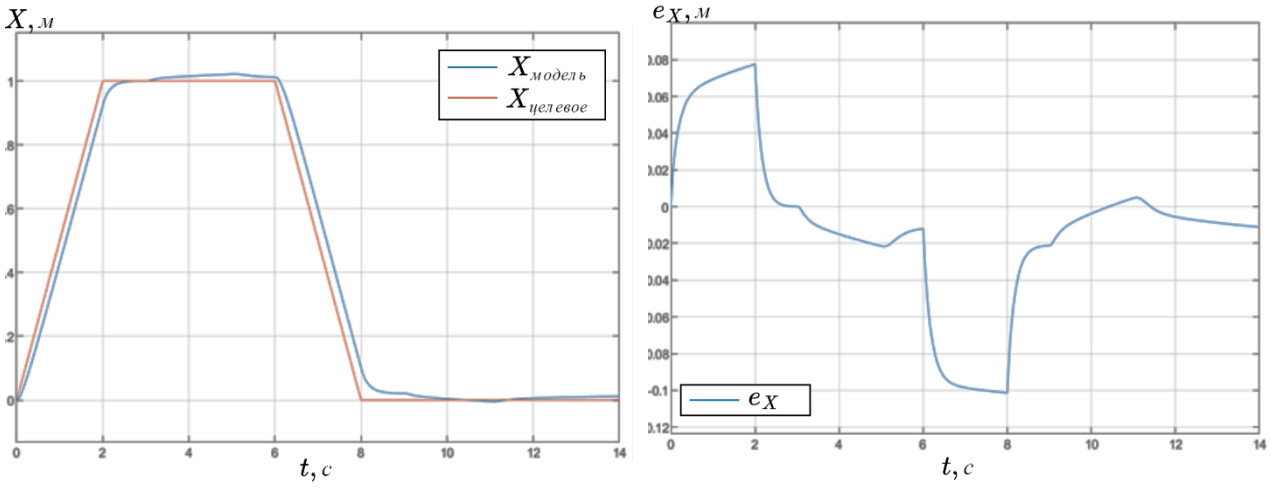


Рис. 8. *График координат X и Y центра масс модели робота при движении по типовой траектории*

Fig. 8. *Graph of X and Y coordinates of the center of mass of the robot model when moving along a typical trajectory*

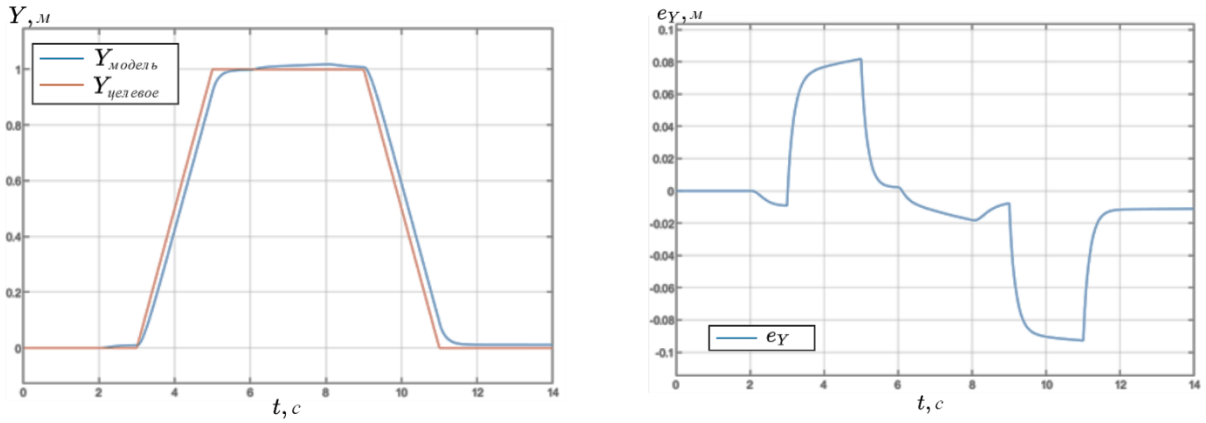
На рис. 9 (а) представлены зависимости целевой и смоделированной координаты X центра масс шасси от времени. На рис. 9 (б) проиллюстрирован график зависимости ошибки по положению по координате X от времени. На рис. 10 (а, б) аналогично продемонстрированы зависимости координаты Y центра масс шасси и ошибки положения по координате Y от времени.



а) б)

Рис. 9. *График зависимости координаты X (а) робота и ее ошибки (б) от времени*

Fig. 9. *Graph of the dependence of the X coordinate (a) of the robot and its error (b) on time*

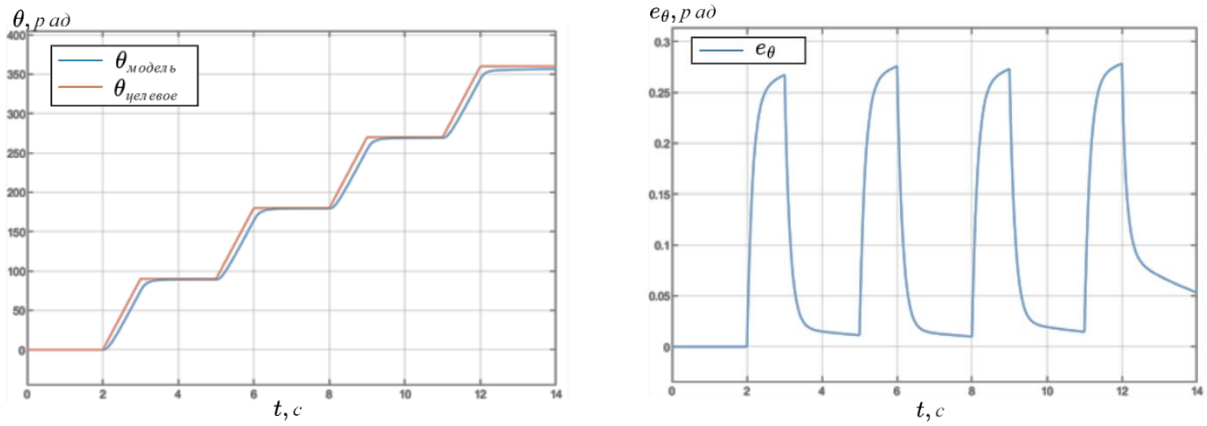


а) б)

Рис. 10. *График зависимости координаты Y (а) и ее ошибки (б) от времени*

Fig. 10. *Graph of the dependence of the Y coordinate (a) and its error (b) on time*

На рис. 11 (а) представлены зависимости целевой и смоделированной ориентации шасси от времени. На рис. 11 (б) проиллюстрирован график зависимости ошибки ориентации мобильной платформы от времени.



а) б)

Рис. 11. *График зависимости координаты угла поворота (а) и ее ошибки (б) от времени*

Fig. 11. *Graph of the dependence of the rotation angle coordinate (a) and its error (b) on time*

На рис. 12 продемонстрирована модель манипулятора, выполненная в пакете *Simulink*. Модель включает в себя 2 вращательных сустава и учитывает смещение систем координат звеньев друг относительно друга.

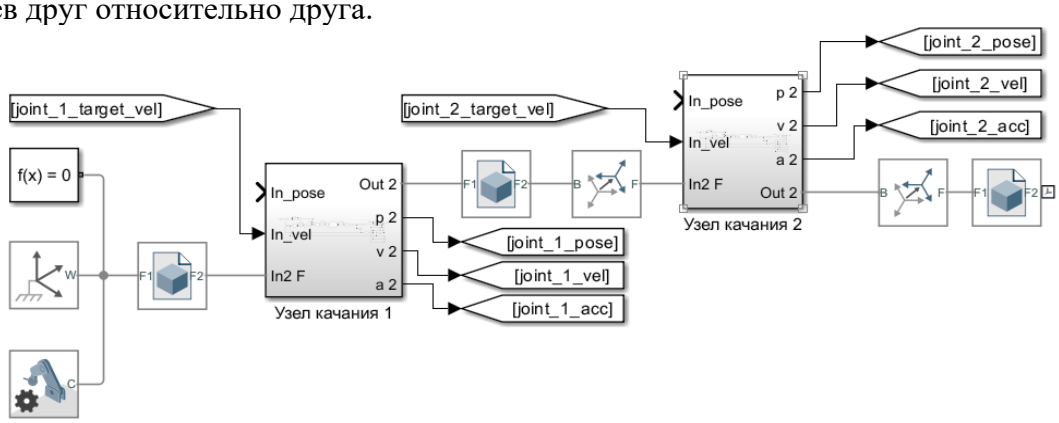


Рис. 12. *Модель манипулятора в Simulink* / ***Fig. 12***. *Manipulator model in Simulink*

На рис. 13 и 14 продемонстрированы результаты моделирования движения манипулятора. На рис. 13 отображены начальное и конечное состояния манипулятора при подаче ступенчатых управляющих сигналов.

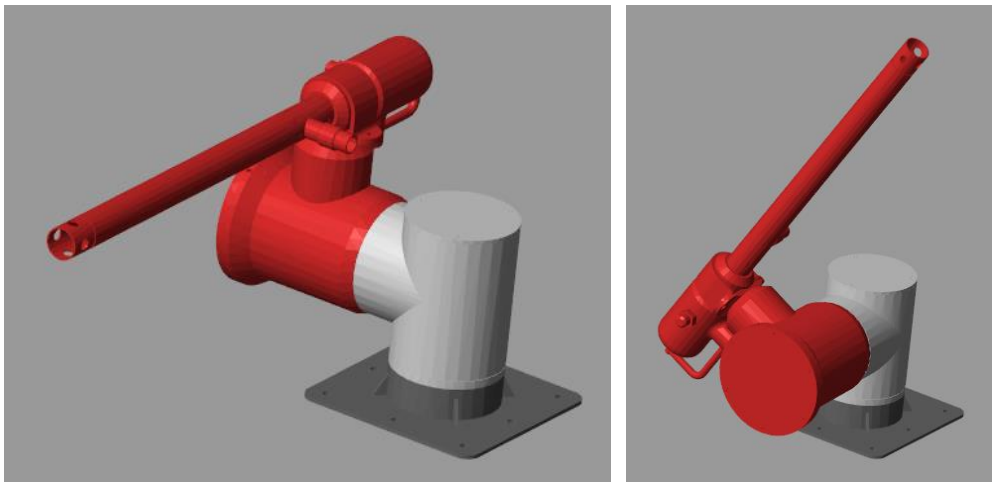
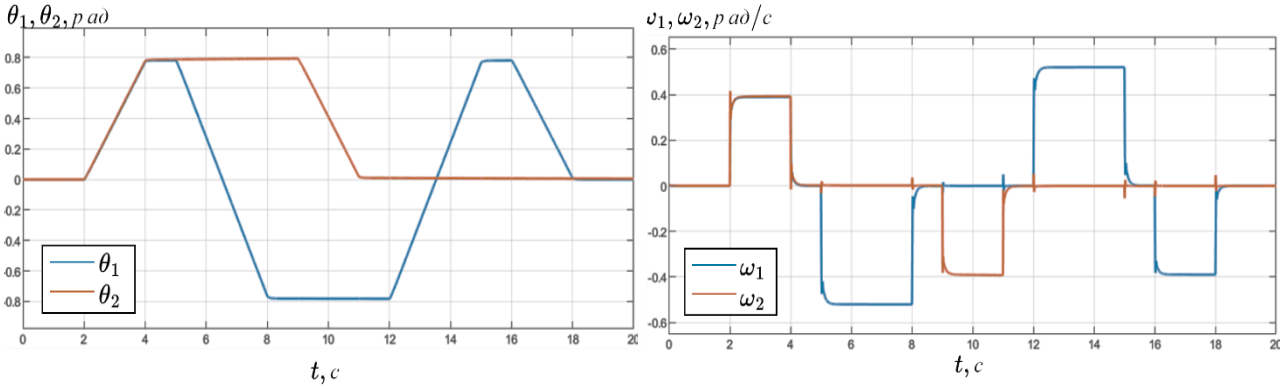


Рис. 13. *Визуальная модель манипулятора до и после моделирования*

Fig. 13. *Visual model of the manipulator before and after simulation*

Ниже приведены графики зависимости положения (рис. 14, а) и скорости суставов манипулятора от времени при отработке фланцем инструмента типовой траектории очистки сектора резервуара (рис. 14, б).



а) б)

Рис. 14. *Результат моделирования манипулятора*

Fig. 14. *Result of manipulator simulation*

Макетный образец

На рис. 15 представлен макетный образец проектируемого мобильного РТК. Данный образец предназначен для отработки движения шасси по труднопроходимому грунту и поверхностям.

Наличие у макетного образца лазерного дальнометрического датчика позволяет формировать двумерное облако точек окружающего пространства в плоскости сканирования сенсора. Это, в свою очередь, позволяет решать задачи картографирования, локализации и навигации мобильного РТК в режиме реального времени.

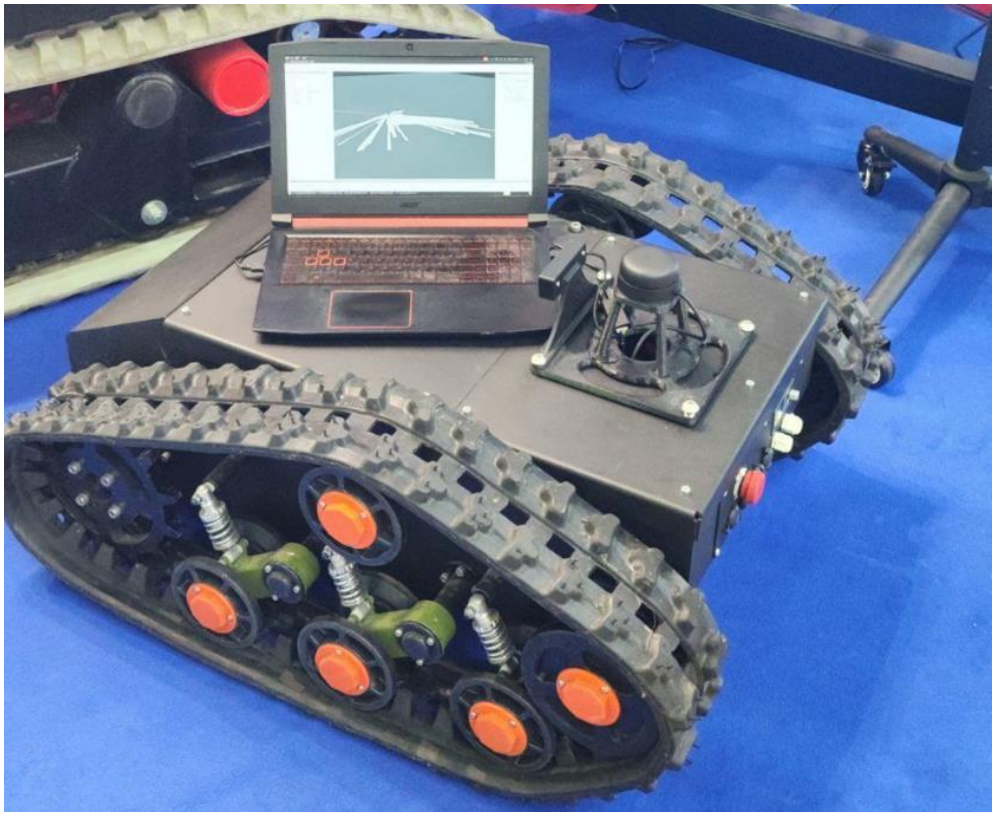


***Рис. 15**. Макетный образец / **Fig. 15**. Mock-up sample*

Для проверки работоспособности систем навигации и картографирования были проведены испытания макетного образца проектируемого РТК. На рис. 16 (а, б) показаны результаты автономного перемещения робота: исходная позиция (рис. 16 (а)) и конечная позиция после выполнения перемещения с обновленной картой окружающего пространства (рис. 16 (б)).

а) б)

***Рис. 14**. Макетный образец в начальной позиции (а) и после автономного перемещения (б)*

***Fig. 14**. The prototype in the initial position (a) and after autonomous movement (b)*

Выводы

В современной нефтяной промышленности хранение нефти и нефтепродуктов осуществляется в стальных вертикальных резервуарах, которые со временем загрязняются осадками и отложениями. В связи с этим особую актуальность приобретают роботизированные технологии, позволяющие автоматизировать процесс очистки и минимизировать участие человека.

В данной статье проведено исследование и моделирование мобильного гусеничного робота для очистки нефтехранилищ. Были рассмотрены основные методы очистки резервуаров, выявлены недостатки традиционных подходов и обоснована необходимость применения роботизированных систем для повышения эффективности и безопасности осуществления очистки нефтехранилищ. В рамках работы описана кинематическая и динамическая модели мобильного РТК, разработаны конструкция робота и система управления.

Результаты моделирования, представленные в табл. 3, показали, что при подаче мобильному РТК управляющих сигналов, в соответствии с которыми он должен проехать типовую траекторию в форме квадрата с длиной ребра 1 метр и вернуться в исходное положение, конечная ошибка положения робота составила не более 0,102 метра. Накопление ошибки позиционирования обусловлено отсутствием замкнутого контура управления по положению и компенсации погрешностей. С точки зрения выполнения технологического процесса достигнутая точность позиционирования шасси мобильного РТК является удовлетворительной для осуществления технологического воздействия. Результаты исследования подтверждают перспективность использования роботизированных систем для автономной очистки нефтехранилищ. Разработка такого комплекса позволяет повысить безопасность персонала, уменьшить временные и материальные затраты, а также минимизировать экологические риски, связанные с процессом очистки.

Таблица 3. Оценка результатов моделирования

Table 3. Evaluation of simulation results

Время t, с	**Положение x, м**	**Положение y, м**	**Ориентация θ, рад**	**Ошибка по положению $\Delta = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$, м**	**Ошибка Δθ, рад**
2	0,923	0	0	0,077	0
3	1,0	0,01	1,3	0,01	0,27
5	1,02	0,92	1,55	0,082	0,02
6	1,01	1,00	2,866	0,01	0,275
8	0,1	1,018	3,121	0,102	0,02
9	0,02	1,008	4,442	0,021	0,27
11	0,007	0,09	4,692	0,09	0,02
12	0,005	0,09	6,008	0,09	0,275

Изготовленный макетный образец подтверждает практическую реализуемость предложенных технических решений и позволяет проводить экспериментальную отработку алгоритмов управления.

Заключение

Экспериментальные испытания системы автономной навигации показали, что робот способен строить карту окружающего пространства, обнаруживать препятствия и выполнять автономное перемещение, что подтверждает применимость разработанного РТК для работы в условиях нефтехранилищ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Щипкова Ю. В.* Оптимизация процесса очистки РВС при эксплуатации // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2017. С. 677–679. EDN: ZQLQKV

2. *Крымская Р. С., Трусов В. И.* Консервационный состав для оборудования хранения и переработки нефти // Естественные и технические науки. 2012. № 1. С. 229–233. EDN: OWMDEJ

3. *Гулиев А. Г.* Исследование потери углеводородов в системах хранения нефти и нефтепродуктов // Мировая наука. 2021. № 3. С. 37–42. EDN: IEJUPV

4. *Ахтямов Р. Г.* Обеспечение безопасности при транспортировке и хранении нефти и нефтепродуктов: учебное пособие. Санкт-Петербург: ПГУПС, 2019. 50 с.

5. *Велин А. С.* Геологические особенности загрязнения грунтов и подземных вод в районе нефтехранилища «Красное Знамя» // Вестник Воронежского государственного университета. 2017. № 2. С. 158–162. EDN: WHEGJM

6. *Расулов Р. С., Исаев А. Я.* Пожаробезопасный способ очистки нефтяных резервуаров // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2010. № 4. С. 29–33. EDN: MVTCPP

7. *Михель Е. С., Скуртова И. В.* Анализ пожарной опасности процесса хранения нефтепродуктов // Научный Лидер. 2022. № 20. С. 83–85. EDN: LYQDFW

8. *Макаров И. С., Колесников Н. П.* Технологии и технические средства очистки резервуаров от нефтяных отложений // Современные тенденции развития технологий и технических средств в сельском хозяйстве: материалы Международной научно-практической конференции. Воронеж: ВГАУ имени императора Петра 1, 2017. С. 69–72. EDN: YIQMLX

9. *Джалалова К. Р., Мазур Е. В.* Проблемы оптимизации процессов очистки вертикальных стальных резервуаров нефтебазы // Вестник экономики и менеджмента. 2021. № 4. С. 17–22. EDN: OSRICR

10. *Тесленко Е. С.* Проблемы ручного метода очистки нефтяных резервуаров // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2013. С. 386–388. EDN: STAVDN

11. *Маркеев В. А., Назаров В. П., Рожков А. В.* Исследование эффективности струйной очистки поверхностей нефтяных резервуаров от загрязнений // Вестник академии государственной противопожарной службы МЧС России. 2005. № 4. С. 20–23. EDN: LQDPPA

12. *Жбанова Ю. А.* Методические аспекты оценки эффективности внедрения цифровых технологий в нефтегазовой области // Актуальные проблемы нефти и газа: сборник трудов V Всероссийской молодежной научной конференции. М.: Институт проблем нефти и газа РАН, 2022. С. 186–188. EDN: SBPPMS

13. *Chrysalidis A., Kyzas G.* Applied cleaning methods of oil residues from industrial tanks // Processes. 2020. No. 8. Pp. 569–596. DOI: 10.3390/pr8050569; EDN: BNPMBI

14. *Полосин Р. А.* Революционные инновации в очистке нефтехранилищ // Нефть. Газ. Новации. 2020. № 5. С. 38–41. EDN: HJQUEJ

15. *Гасымов Э. Т., Куличков С. В.* Преимущества роботизированной установки «MARTIN» // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 31. С. 91–97. EDN: JZRMJJ

16. *Martínez J. L., Mandow A., Morales J.* Approximating kinematics for tracked mobile robots // The International Journal of Robotics Research. 2005. No. 10. Pp. 867–878. DOI: 10.1177/027836490505823

17. *Guerrero-Higueras Á. M., Álvarez-Aparicio C., Calvo Olivera M. C.* Tracking people in a mobile robot from 2d lidar scans using full convolutional neural networks for security in cluttered environments // Frontiers in Neurorobotics. 2019. No. 12. C. 85. DOI: 10.3389/fnbot.2018.00085

REFERENCES

1. Shchipkova Yu.V. Optimization of the cleaning process of vertical steel tanks (VST) during operation. *Problemy geologii i osvoeniya nedr: trudy XXI Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M.A. Usova studentov i molodyh uchyonyh* [Problems of Geology and Subsoil Development: Proceedings of the XXI International Symposium named after Academician M.A. Usov for Students and Young Scientists]. Tomsk: Natsional'nyy issledovatel'skiy Tomskiy politekhnicheskiy universitet, 2017. Pp. 677–679. EDN: ZQLQKV. (In Russian)

2. Krymskaya R.S., Trusov V.I. Conservation composition for oil storage and processing equipment. *Natural and Technical Sciences*. 2012. No. 1. Pp. 229–233. EDN: OWMDEJ. (In Russian)

3. Guliyev A.G. Study of hydrocarbon losses in oil and petroleum product storage systems. *Mirovaya nauka* [World Science]. 2021. No. 3. Pp. 37–42. EDN: IEJUPV. (In Russian)

4. Akhtyamov R.G. Ensuring safety in oil and petroleum product transportation and storage: textbook. Saint Petersburg: PGUPS, 2019. 50 p. (In Russian)

5. Velin A.S. Geological features of soil and groundwater contamination in the area of the "Krasnoye Znamya" oil storage facility. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*. 2017. No. 2. Pp. 158–162. EDN: WHEGJM. (In Russian)

6. Rasulov R.S., Isaev A.Ya. Fire-safe method for cleaning oil storage tanks. *Neftepererabotka i neftekhimiya. Nauchno-tekhnicheskie dostizheniya i peredovoy opyt* [Oil refining and petrochemistry. scientific and technical achievements and best practices]. 2010. No. 4. Pp. 29–33. EDN: MVTCPP. (In Russian)

7. Mikhel E.S., Skurtova I.V. Analysis of fire hazards in petroleum product storage processes. *Scientific Leader*. 2022. No. 20. Pp. 83–85. EDN: LYQDFW. (In Russian)

8. Makarov I.S., Kolesnikov N.P. Technologies and technical means for cleaning tanks from oil deposits. *Sovremennye tendencii razvitiya tekhnologiy i tekhnicheskih sredstv v sel'skom hozyajstve: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii* [Modern Trends in the Development of Technologies and Technical Means in Agriculture: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Voronezh: VGAU imeni imperatora Petra 1, 2017. Pp. 69–72. EDN: YIQMLX. (In Russian)

9. Dzhalalova K.R., Mazur E.V. Problems of optimizing the cleaning processes of vertical steel tanks at oil depots. *Vestnik ekonomiki i menedzhmenta*. 2021. No. 4. Pp. 17–22. EDN: OSRICR. (In Russian)

10. Teslenko E.S. Problems of manual oil tank cleaning methods. *Problemy geologii i osvoeniya nedr: trudy XVII Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M. A. Usova studentov i molodyh uchenyh* [Problems of Geology and Subsoil Development: Proceedings of the XVII International Symposium named after Academician M.A. Usov for Students and Young Scientists]. Tomsk: Natsional'nyy issledovatel'skiy Tomskiy politekhnicheskiy universitet, 2013. Pp. 386–388. EDN: STAVDN. (In Russian)

11. Markeev V.A., Nazarov V.P., Rozhkov A.V. Study of the efficiency of jet cleaning of oil storage tank surfaces from contaminants. *Vestnik akademii gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MCHS Rossii* [Bulletin of the Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia]. 2005. No. 4. Pp. 20–23. EDN: LQDPPA. (In Russian)

12. Zhbanova Yu.A. Methodological aspects of evaluating the effectiveness of digital technology implementation in the oil and gas sector. *Aktual'nye problemy nefti i gaza: sbornik trudov V Vserossiyskoy molodezhnoy nauchnoy konferencii* [Current Problems of Oil and Gas: Proceedings of the V All-Russian Youth Scientific Conference]. Moscow: Institut problem nefti i gaza RAN, 2022. Pp. 186–188. EDN: SBPPMS. (In Russian)

13. Chrysalidis A., Kyzas G. Applied cleaning methods of oil residues from industrial tanks. *Processes*. 2020. No. 8. Pp. 569–596. DOI: 10.3390/pr8050569. EDN: BNPMBI

14. Polosin R.A. Revolutionary innovations in oil storage tank cleaning. *Neft'. Gaz. Novacii* [Oil. Gas. Innovations]. 2020. No. 5. Pp. 38–41. EDN: HJQUEJ. (In Russian)

15. Gasymov E.T., Kulichkov S.V. Advantages of the robotic unit “MARTIN”. *Innovacii. Nauka. Obrazovanie* [Innovations. Science. Education]. 2021. No. 31. Pp. 91–97. EDN: JZRMJJ. (In Russian)

16. Martínez J.L., Mandow A., Morales J. Approximating kinematics for tracked mobile robots. *The International Journal of Robotics Research*. 2005. Vol. 24. No. 10. Pp. 867–878. DOI: 10.1177/027836490505823

17. Guerrero-Higueras Á.M., Álvarez-Aparicio C., Calvo Olivera M.C. Tracking people in a mobile robot from 2D-LIDAR scan using full convolutional neural networks for security in cluttered environments. *Frontiers in Neurorobotics*. 2019. No. 12. Article 85. DOI: 10.3389/fnbot.2018.00085

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FSFS-2024-0012).

Funding. The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project FSFS-2024-0012).

Информация об авторах

Шереужев Мадин Артурович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Роботехника и мехатроника», Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»;
127055, Россия, Москва, Вадковский переулок, 1;
доцент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана;
105005, Россия, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, с. 1;
shereuzhev@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2352-992X, SPIN-код: 1734-9056
Ушаков Александр Евгеньевич, аспирант, инженер-исследователь кафедры «Роботехника и мехатроника», Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»;
127055, Россия, Москва, Вадковский переулок, 1;
ushakov_ae@internet.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0006-1467-5043, SPIN-код: 5174-7378
Семянников Иван Владимирович, магистр, инженер лаборатории промышленной робототехники, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»;
127055, Россия, Москва, Вадковский переулок, 1;
ivan.semyannickov@yandex.ru

Information about the authors

Madin A. Shereuzhev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Robotics and Mechatronics, Moscow State University of Technology “STANKIN”;
1, Vadkovsky lane, Moscow, 127055, Russia;
Associate Professor, Department of Robotic systems and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University;
5, build. 1, 2-nd Baumanskaya street, Moscow, 105005, Russia;
shereuzhev@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2352-992X, SPIN-code: 1734-9056
Alexander E. Ushakov, Postgraduate Student, Research Engineer, Department of Robotics and Mechatronics, Moscow State University of Technology “STANKIN”;
1, Vadkovsky lane, Moscow, 127055, Russia;
ushakov_ae@internet.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0006-1467-5043, SPIN-code: 5174-7378
Ivan V. Semyannikov, Master’s Degree, Engineer of Industrial Robotics Laboratory, Moscow State University of Technology “STANKIN”;
1, Vadkovsky lane, Moscow, 127055, Russia;
ivan.semyannickov@yandex.ru

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 519.642.2;550.3;517.972.7 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-77-88
EDN: HMDBIW

Обратная задача по идентификации значений функции переменного порядка дробной производной в математической модели аномальных вариаций объемной активности радона

Д. А. Твёрдый✉, Р. И. Паровик

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн
Дальневосточного отделения Российской академии наук
684034, Россия, с. Паратунка, ул. Мирная, 7

Аннотация. Проблема сейсмичности в Камчатском крае обусловливает важность фундаментальных исследований, способствующих пониманию процессов, происходящих в земной коре. Аномальные изменения концентрации радиоактивного газа радона (222Rn) считаются одним из краткосрочных предвестников землетрясений. Мониторинг представляет собой сбор информации по объемной активности 222Rn (ОАР) в накопительной камере регистратора со временем и выявление аномалий. Однако механизмы возникновения таких аномалий малоизучены. Поэтому авторами ранее были предложены новые математические эредитарные модели ОАР, с учетом нелокальности по времени процесса переноса в неоднородной фрактальной геосреде, для описания необычной миграционной способности 222Rn. Основной параметр моделей – переменный порядок дробной производной типа Герасимова–Капуто, связанный с интенсивностью процесса переноса 222Rn при изменении проницаемости геосреды.

Цель исследования – решение коэффициентной обратной задачи идентификации значений в математической эредитарной модели аномальных вариаций ОАР.

Методы исследования. Используются методы математического моделирования процессов, протекающих в геологической среде, и решение коэффициентных обратных задач для таких моделей с помощью алгоритма на основе метода Левенберга–Марквардта (IP-LM).

Результаты. Получен ряд результатов решения обратной задачи при различных параметрах, управляющих ходом IP-LM. Результаты разделяются на 2 типа: неправдоподобные – из-за выхода из области допустимых значений и начального приближения идентифицируемых значений, близких к ориентиру, вручную подобранным значениям; правдоподобные – из-за начального приближения, близкого к 0, хорошего согласия результатов с данными ОАР, где сохраняет рост значений от 0 к 1 при потере явной периодичности ориентира.

Выводы. Из результатов можно сделать вывод о возможности решения сформулированной двухпараметрической обратной задачи на основе экспериментальных данных ОАР. Получаемые результаты правдоподобны, однако результат решения обратной задачи зависит от начального приближения идентифицируемых значений.

Ключевые слова: математическое моделирование, объемная активность радона, дробная производная переменного порядка, обратные задачи

Поступила 27.10.2025, одобрена после рецензирования 07.11.2025, принята к публикации 28.11.2025

Для цитирования. Твёрдый Д. А., Паровик Р. И. Обратная задача по идентификации значений функции переменного порядка дробной производной в математической модели аномальных вариаций объемной активности радона // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 77–88. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-77-88

© Твёрдый Д. А., Паровик Р. И. 2025

MSC: 26A33;86A22;49N45 Original article

Inverse problem on determining variable-order fractional derivative in mathematical model of anomalous variations in radon volumetric activity

D.A. Tverdyi✉, R.I. Parovik

Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
7, Mirnaya street, Paratunka village, 684034, Russia

Abstract. The seismicity issue in the Kamchatka region highlights the importance of fundamental research to understand the processes occurring in the Earth's crust. Anomalous changes in the concentration of radioactive radon gas (222Rn) have been observed to be precursor to earthquakes. Monitoring involves collecting data on the volume activity of 222Rn in the recording chamber over time and detecting any unusual patterns or anomalies. However, the mechanisms behind these irregularities are still not well understood. Therefore, the authors have previously proposed new mathematical hereditary VAR models to describe the unusual migration capacity of 222Rn, taking into account the time-dependent transport process in a heterogeneous fractal geoenvironment. The key parameter of the models is the variable order of the Gerasimov-Caputo fractional derivative, related to the intensity of the 222Rn transport process with changes in the permeability of the geoenvironment.

Aim. The study is to solve the coefficient inverse problem of identifying values in the mathematical hereditary model of anomalous variations of the OAR.

Research methods. Methods of mathematical modeling of processes occurring in the geological environment are used, as well as solving coefficient inverse problems for these models using an algorithm based on the Levenberg-Marquardt method (IP-LM).

Results. A series of results are obtained for solving the inverse problem with various parameters controlling the IP-LM motion. The results are divided into two types: implausible – due to going beyond the range of acceptable values and the initial approximation of identified values close to the reference point, similar to manually selected values; plausible – due to the initial approximation close to 0, good agreement between the results and the OAR data, where the increase in values from 0 to 1 is maintained despite the loss of the reference point's apparent periodicity.

Conclusions. The results suggest that it is possible to solve the formulated two-parameter inverse problem based on the experimental data of the OAR. The obtained results are plausible; however, the outcome of the inverse problem solution depends on the initial approximation of the identified values.

Keywords: mathematical modeling, radon volumetric activity, fractional derivative of variable order, inverse problems

Submitted 27.10.2025, approved after reviewing 07.11.2025, accepted for publication 28.11.2025

For citation. Tverdyi D.A., Parovik R.I. Inverse problem on determining variable-order fractional derivative in mathematical model of anomalous variations in radon volumetric activity. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 77–88. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-77-88

Введение

Полуостров Камчатка расположен в одном из наиболее сейсмоопасных районов Земли, а сильные сейсмические события способны нанести огромный ущерб. Проблема сейсмичности в Камчатском крае и прилежащих землях обусловливает важность фундаментальных исследований, которые могут расширить наше понимание процессов, происходящих в земной коре, при подготовке будущего очага землетрясения. Одним из таких актуальных направлений является применение экспериментальных данных мониторинга подпочвен-

ных газов в сопоставлении со сведениями о сейсмичности, в совокупности с исследованиями процессов миграции подпочвенных газов с помощью методов математического моделирования с целью выделения из данных и интерпретации аномалий как возможных предвестников землетрясений.

В целях поиска предвестниковых сигналов в данных мониторинга концентраций подпочвенных газов на полуострове Камчатка развернута сеть пунктов наблюдения, существующая более 20 лет [1]. В данном исследовании интерес представляет ^{222}Rn – инертный радиоактивный газ с периодом полураспада около 3.85 суток, который постоянно выделяется из земной коры, что позволяет вести его непрерывную регистрацию. Газ ^{222}Rn считается известным и хорошо себя зарекомендовавшим индикатором процессов, протекающих в геологической среде [2, 3], особенно как краткосрочный предвестник землетрясений, а его исследование ведется во многих странах, расположенных в сейсмоактивных районах мира. Концентрацию ^{222}Rn характеризует такая величина, как объемная активность радона (ОАР) в накопительной камере, измеряемая в Бк/м^3 и вычисляемая на основе числа зарегистрированных датчиками β-излучения импульсов за минуту.

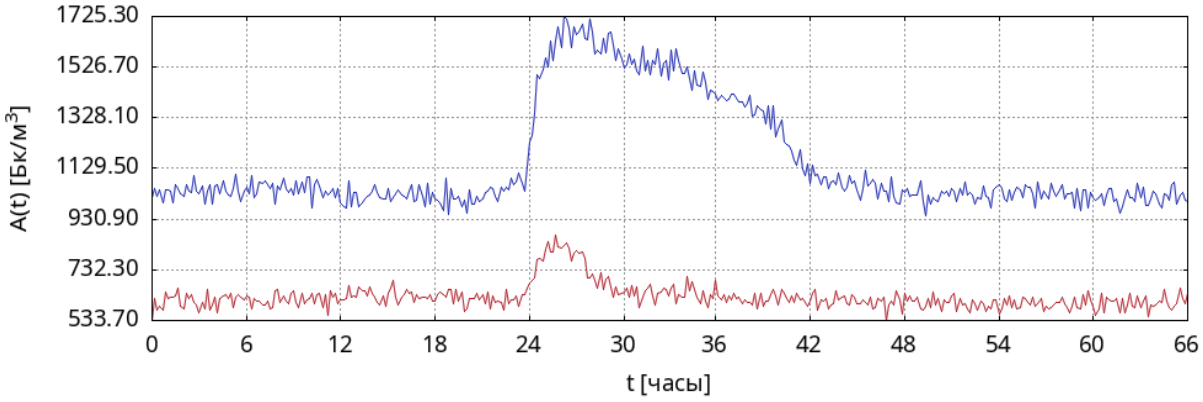


Рис. 1. *Данные ОАР (аномальный выброс) с пункта наблюдения МРЗР (на базе скважины «Морозная-1», Елизовский район, Камчатка) 19.04.2021 05:43 – 21.04.2021 23:43 с частотой дискретизации 1/6 ч: (синий) – камера 1 на глубине 0.2 м; (красный) – камера 2 на глубине 1 м*

Fig. 1. *Data of RVA (anomalous emission) from the MRZR observation point (based on the Moroznaya-1 borehole, Yelizovsky District, Kamchatka) from 19.04.2021 05:43 to 21.04.2021 23:43 with a sampling frequency of 1/6 h: (blue) – camera 1 at a depth of 0.2 m; (red) – camera 2 at a depth of 1 m*

Радоновые аномалии (аномальные вариации ОАР), как на рис. 1, могут служить предвестниковыми сигналами подготовки сильных землетрясений. Стоит отметить, что в работах [2, 4, 5] и многих других, связанных с изучением предвестниковых аномалий, собрана и систематизирована информация о радоновых предвестниках, описаны методы анализа данных, исследуются физические модели возникновения землетрясений и их интерпретации. Однако процесс массопереноса ^{222}Rn по своей природе является нелокальным. Поэтому часто возникают случаи, когда радон обладает необычной миграционной способностью [6], и объяснить это с помощью только механизма диффузии, описываемой обыкновенными производными, или механизма конвекции (адвекции) невозможно. Но если рассматривать геологическую среду как среду со сложной топологией, неоднородную и пористую, одним словом, фрактальную [7], то тогда процесс массопереноса ^{222}Rn можно рассматривать под углом аномальных процессов переноса [8].

Поэтому авторами в исследованиях [9, 10] предлагаются математические эредитарные модели ОАР, но с учетом нелокальности по времени, что приводит к эффекту наследственности [11] в динамике переноса ^{222}Rn [12]. Эредитарность – свойство системы или среды помнить некоторое время оказанное на нее воздействие. Эредитарность эквивалентна таким понятиям, как последействие, наследственность, остаточность, память и запаздывание, нелокальность. Математический аппарат моделей с учетом нелокальности опирается на дробное исчисление, теория которого изучена достаточно хорошо [13, 14]. Основной параметр эредитарных моделей ОАР – это $0<\alpha(t)<1$ – переменный порядок дробной производной типа Герасимова–Капуто [15, 16], входящей в модель, связанный с интенсивностью процесса переноса ^{222}Rn при изменении проницаемости геосреды. В свою очередь, изменение проницаемости связывается с изменением напряженно-деформированного состояния геосреды при подготовке очага землетрясения.

Одним из главных инструментов геофизических исследований является математическое моделирование процессов, протекающих в геологической среде. Но следующим по важности инструментом является постановка и решение коэффициентных обратных задач [17] для таких моделей на основе экспериментальных данных с целью идентификации модельных параметров, так как часто невозможно провести их прямые измерения [18]. Еще одним фактором в пользу обратных задач является то, что параметры математических моделей могут принимать довольно сложный вид, в том числе иметь функциональные зависимости. Уточнение оптимальных значений параметров модели с помощью решения обратных задач на основе экспериментальных данных ОАР может сильно упростить процесс моделирования по сравнению с эмпирическим подбором параметров. Поэтому авторами в ряде работ формулируются и решаются обратные задачи с целью идентификации значений разнообразных параметров в эредитарной α-модели ОАР с дробной производной Герасимова–Капуто постоянного порядка. В работе [19] впервые была применена эредитарная α-модель ОАР для оценки изменения плотности потока радона на основе решения обратной задачи при изменении напряженно-деформированного состояния среды до и после сильного землетрясения на Камчатке 17 августа 2024 г.

В работе [9] также рассматривается задача математического моделирования аномальной ОАР (как на рисунке 1) с помощью эредитарной $\alpha(t)$-модели. Параметры, представляющие собой разнообразные функции, подобраны эмпирически на основе соображений о ходе процессов переноса, накопления ^{222}Rn в накопительной камере, а также влиянии атмосферного давления на процесс накопления. Однако уточнение оптимальных значений этих функций проводилось тоже вручную, посредством сопоставления решения с обработанными экспериментальными данными и по визуальным оценкам степени подобия по R^2 – коэффициенту детерминации и R – коэффициенту корреляции Пирсона. В работе [20] на тестовом примере рассмотрена теоретическая возможность восстановления значений функции $\alpha(t)$ в математической модели с дробной производной типа Герасимова-Капуто переменного порядка $0<\alpha(t)<1$. В качестве метода решения обратной задачи был предложен алгоритм на основе итерационного метода Левенберга–Марквардта [21].

Новизна данной статьи заключается в том, что рассматривается задача идентификации значений функции $\alpha(t)$ в математической эредитарной $\alpha(t)$-модели [9] аномальных вариаций объемной активности радона с помощью ранее предложенного метода и реализующего его алгоритма [20].

Математическая модель ОАР с учетом переменной наследственности

Рассмотрим эредитарную $\alpha(t)$-модель ОАР из работы [9] для описания аномального импульса (всплеска) ОАР, что представляет собой задачу Коши вида

$$\partial_{0,t}^{\alpha(t)}\bar{A}(t) = -a(t)\bar{A}(t)^2 - b(t)\bar{A}(t) + c(t), \qquad \bar{A}(t) = \frac{A(t)}{A_{max}}, \quad \bar{A}(t_0) = \frac{A_0}{A_{max}}, \tag{1}$$

где обозначим: $C^2(0,T) = \mathbb{A}$ – класс дважды непрерывно-дифференцируемых функций; $C(0,1) = \mathbb{B}$ – класс непрерывно-дифференцируемых функций; $\bar{A}(t) \in \mathbb{A}$ – ОАР в безразмерном виде, отн. ед.; $A(t)$ – ОАР, $A_{\max}$ – максимальное значение ОАР, наблюдаемое в данных; A_0 – ОАР в начальный момент времени, Бк/м^3; $0 < \alpha(t) < 1, \alpha(t) \in \mathbb{B}$ – функция, переменный порядок дробной производной, параметр, связанный с интенсивностью переноса ^{222}Rn и изменением проницаемости геосреды, отн. ед.; $t \in [t_0, T]$ – время рассматриваемого процесса; t_0 и T>0 – начальный и конечный моменты времени соответственно, с; θ – некоторое характерное время процесса, с; $a(t)$ – функция, как и член, при котором она стоит, связанные выходом ^{222}Rn из камеры в окружающую атмосферу при разнице давлений: внутреннего (камеры) и атмосферного, например, при прохождении в окрестности пункта наблюдения циклона, отн. ед.; $b(t) = \lambda_0$ – коэффициент воздухообмена, с$^{-1}$; $c(t)$ – функция, описывающая диффузионный механизм переноса ^{222}Rn в камеру [22], отн. ед.

Член модели (1) в левой части уравнения, описывающий задержку, связанную с нелокальностью по времени в процессе переноса ^{222}Rn через геологическую среду, согласно [9, 10] представляется оператором дробного дифференцирования типа Герасимова–Капуто переменного порядка (FD-VO) $0 < \alpha(t) < 1$ вида

$$\partial_{0,t}^{\alpha(t)}\bar{A}(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha(t))}\int_0^t \frac{\dot{\bar{A}}(\tau)d\tau}{(t-\tau)^{\alpha(t)}}, \tag{2}$$

где $\Gamma(\cdot)$ – гамма-функция Эйлера.

Далее для сопоставления с результатами математического моделирования будут использоваться данные с пункта МРЗР, описывающие только сам всплеск ОАР (рис. 1, синяя кривая) на выделенном участке данных протяженностью T = 22. Будем рассматривать задачу (1) при значениях параметров:

$$\mathrm{T} = 22, \quad \bar{A} = 0, \quad \bar{A}_{max} = 1, \quad \lambda_0 = 0.05, \quad \theta = 1, \quad b(t) = \lambda_0,$$

$$\alpha(t) = 0.99\left(1 - \left(\frac{(T-t)}{T}\cos\left(\frac{3\pi t}{T}\right)^2\right)\right), \quad a(t) = -2\lambda_0 + 12\lambda_0\left(2\cos\left(\frac{\pi t}{T}\right)^2 + \cos\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{\pi}{11}\right)^2\right), \tag{3}$$

$$c(t) = 12\lambda_0\left(\frac{12(T-t)}{10T}\sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right)^2 + \frac{(T-t)}{T}\sin\left(\frac{3\pi t}{T}\right)^2\right).$$

Формулировка прямой задачи и метод решения EFDS

Прямая задача представляет собой задачу Коши (1), состоящую в поиске $\bar{A}(t) \in \mathbb{A}$ при известных значениях $\alpha(t) \in \mathbb{B}$ и параметров (3).

Прямая задача будет решаться численно. С этой целью авторами в [23] предложено и изучено несколько численных схем. В данной работе воспользуемся нелокальной явной конечно-разностной схемой (EFDS). Шаг дискретизации возьмем h=1/6 аналогично

частоте дискредитации экспериментальных данных на рисунке 1. Независимо от схемы численное решение прямой задачи рассматривается в равномерной сеточной области $\hat{\Omega}$:

$$\begin{gathered} \mathrm{h} = \mathrm{T} / \mathrm{N} = 1 / 6, \mathrm{N} = 132, \quad \hat{\Omega} = \{(t_i = ih) : 0 \le i < N\}, \quad a(\mathrm{t}) = a_i, c(\mathrm{t}) = c_i, \\ \overline{A}(t) = \overline{A}_i \in \mathbb{A}, \quad 0 < \overline{A}_i < 1, \quad \mathbb{A} \in \hat{\Omega}, \quad \alpha(t) = \alpha_i \in \mathbb{B}, \quad 0 < \alpha_i < 1, \quad \mathbb{B} \in \hat{\Omega}, \end{gathered} \tag{4}$$

где N – число узлов равномерной вычислительной сетки, размер входных данных.

В силу того, что размер входных данных отдельной прямой задачи невелик ($\mathrm{N} = 132$), для численного решения прямой задачи воспользуемся нелокальной явной конечно-разностной схемой (EFDS). С учетом аппроксимации оператора (2) из работы [23] и согласно методу Эйлера численная схема EFDS для решения уравнения из (1) на равномерной сетке (4) примет вид:

$$\begin{gathered} \overline{A}_1 = \frac{1}{D_0}\left(\left(D_0(1-w_1^0)+b_0\right)u_0 - a_0\overline{A}_0^2 + c_0\right), \\ \overline{A}_2 = \frac{1}{D_1}\left(\left(D_1\left(1-w_1^1\right)+b_1\right)\overline{A}_1 + D_1 w_1^1 \overline{A}_0 - a_1\overline{A}_1^2 + c_1\right), \\ \overline{A}_{i+1} = \frac{1}{D_i}\left[\left(D_i\left(1-w_1^i\right)+b_i\right)\overline{A}_i + D_i w_1^i \overline{A}_{i-1} - D_i\sum_{j=2}^{i} w_j^i\left(\overline{A}_{i-j+1} - \overline{A}_{i-j}\right) - a_i\overline{A}_i^2 + b_i\overline{A}_i + c_i\right], \\ D_i = \frac{h^{-\alpha_{i+1}}}{\Gamma(2-\alpha_{i+1})}, \quad w_j^i = (j+1)^{1-\alpha_{i+1}} - j^{1-\alpha_{i+1}}, \quad w_1^i = \sum_{i=0}^{N-1}\left(2^{1-\alpha_{i+1}} - 1^{1-\alpha_{i+1}}\right), \end{gathered} \tag{5}$$

где $\overline{A}_0 = C$ – известная константа, начальное условие задачи Коши.

Разностная прямая задача (5) состоит в том, чтобы в $\hat{\Omega}$ области (4) найти $\overline{A}_i \in \mathbb{A}$ при известных значениях сеточных аналогов функций из (3) и $\alpha_i \in \mathbb{B}$.

Программные реализации различных методов и алгоритмов численного решения прямых и обратных задач, в том числе EFDS, интегрированы в программный комплекс FEVO v1.0 [24] для GNU/Linux, разработанный для решения задач моделирования динамики ОАР в сопоставлении с экспериментальными данными.

ФОРМУЛИРОВКА ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ И МЕТОД ЕЕ РЕШЕНИЯ

Первое: пусть значения функции $\alpha(t) \in \mathbb{A}$ (или ее сеточного аналога $\alpha(t_i) \in \mathbb{A}$) неизвестны. Однако в качестве информации о решении разностной прямой задачи Коши (5) в области $\hat{\Omega}$ можно представлять экспериментальные данные:

$$\overline{A}(t) = \overline{\theta}(t), \qquad \overline{A}(t_i) = \overline{\theta}(t_i), \qquad \overline{A}_i = \overline{\theta}_i. \tag{6}$$

Второе: пусть $\alpha(t) \in \mathbb{B}$ – функция известного класса, и ее вид однозначно определяется неким набором параметров $\vec{X} = \left[X_0, ..., X_{K-1}\right]$ согласно [25].

Третье: у нас имеется представление о том, какой характер имеет функция $\alpha(t) = \alpha(t, \vec{X})$.

Тогда обратная задача для задачи Коши (1) с параметрами $a(t), b(t), c(t)$ из (3) определяется как идентификация (восстановление, определение) оптимальных значений функции $\alpha(t) = \alpha(t, \vec{X}) \in \mathbb{B}$ на основе известных экспериментальных данных (6):

$$\partial_{0,t}^{\alpha(t,\vec{X})}\bar{A}(t) = -a(t)\bar{A}(t)^2 - b(t)\bar{A}(t) + c(t), \quad \alpha(t,\vec{X}) = 0.99\left(1-\left(\frac{X_0(T-t)}{T}\cos\left(X_1 t\right)^2\right)\right),$$
$$\bar{A}(t) = \frac{A(t)}{A_{max}}, \quad \bar{A}(t_0) = \frac{A_0}{A_{max}}, \qquad \bar{A}(t) = \bar{\theta}(t), \quad \bar{A}(t_0) = \bar{\theta}(t_0), \tag{7}$$

а решение обратной задачи (7) сводится к поиску значений этих параметров $\vec{X}$ из множества векторов $\vec{\mathbb{X}}$ как пространства решений обратной задачи, где $\vec{\mathbb{X}} \subset \mathbb{R}^K$.

Тогда разностная обратная задача в области $\hat{\Omega}$ для (5) с сеточными аналогами параметров a_i, b_i, c_i из (3) определяется как идентификация на основе известных экспериментальных данных (6) оптимальных значений сеточной функции:

$$\alpha(i,\vec{X}) = 0.99\left(1-\left(\frac{X_0(T-ih)}{T}\cos\left(X_1 ih\right)^2\right)\right), \qquad \alpha(i,\vec{X}) \in \mathbb{B}. \tag{8}$$

Далее в терминах теории безусловной оптимизации согласно [26] решение разностной обратной задачи сводится к минимизации функционала невязки между вектором экспериментальных данных и вектором решения разностной прямой задачи, полученного относительно некоторого приближения $\vec{X}$ в ходе решения обратной задачи.

Важной характеристикой численных методов оптимизации является скорость сходимости, характеризующая эффективность используемого метода для решения обратной задачи. В данной статье опустим теорию и подробности, связанные с методикой решения обратной задачи для уравнения с дробной производной переменного порядка. С ними можно ознакомиться в работах [19, 20, 24]. В работе [20] на тестовом примере рассмотрена теоретическая возможность восстановления значений и вида функции $\alpha(t)$ в математической модели с дробной производной типа Герасимова–Капуто переменного порядка $0 < \alpha(t) < 1$. В качестве метода решения обратной задачи был предложен алгоритм IP-LM на основе итерационного метода Левенберга–Марквардта [21].

Важно отметить следующее. Решение обратной задачи методом IP-LM сводится к тому, чтобы в ходе цикла, начиная с заданных параметров, управляющих ходом метода IP-LM, многократно вычисляя решение разностной прямой задачи (5) с учетом приближений $\vec{X}$, получаемых в ходе решения обратной задачи, вычислить оптимальные значения $\overrightarrow{\Delta X}$. Такими параметрами, управляющими ходом IP-LM, являются: $\vec{X}^{(0)}$ – начальное приближение для компонент $\vec{X}$; $\overrightarrow{\delta X}$ – малые заданные приращения $\vec{X}$; числа c и ν – константы пересчета параметра регуляризации γ; а также Σ – заданная точность решения как одно из условий выхода из цикла IP-LM. Параметр γ имеет ключевое значение для IP-LM и напрямую связан с шагом и направлением сходимости метода.

Иначе говоря, постановка и решение обратной задачи на параметры модели позволяет перейти от их перебора с целью нахождения оптимальных значений к подбору других параметров: $\vec{X}^{(0)}$, $\overrightarrow{\delta X}$, c, ν, управляющих ходом метода IP-LM, которые уже не привязаны к физическому смыслу исходной задачи.

Результаты моделирования на основе уточненных параметров

Далее на входе алгоритма решения обратной задачи и для сопоставления с результатами математического моделирования будут использоваться данные с пункта МРЗР из камеры 1, описывающие только сам всплеск ОАР (рис. 1, синий). Для этого выделяется участок

данных протяженностью $T = 22$. После проводится обработка данных: сглаживание SMA с окном в 2 значения; нормировка на максимум A_{max}.

Результаты, полученные в виде кривых 1–2 (рис. 2) и кривых 1–2 (рис. 3), нереалистичны по следующим причинам. Во-первых, $\vec{X}^{(0)}$, начальное приближение, было взято очень близко к эталонному $\overrightarrow{\Delta X}$ решению прямой задачи (рис. 2, кривая 5) и (рис. 3, кривая 5). Во-вторых, на рисунке 3 (кривая 1) видно, что было получено $\alpha(i, \vec{X}) > 1$, что неверно, т. к. выходит за ограничение на параметр от 0 до 1, и тот факт, что решение (рис. 2, кривая 1) по численной схеме EFDS не развалилось, это удачное сочетание других параметров модели.

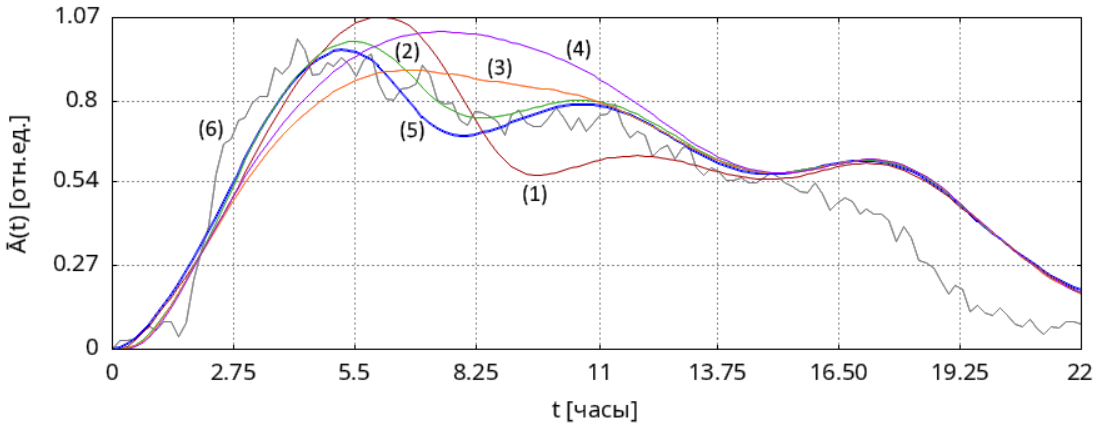


***Рис. 2**. Модельные кривые: (1–4) – на основе результатов решения обратной задачи при различных управляющих параметрах (см. таблицу 1); (5) – «эталонная» модельная кривая как решение прямой задачи при функции (8), подработанной вручную из [9], в сопоставлении с (6) – обработанными данными ОАР с пункта МРЗР*

***Fig. 2**. Model curves: (1–4) – based on the results of solving the inverse problem for various control parameters (see Table 1); (5) – 'reference' model curve as the solution to the direct problem for the function (8), manually refined from [9], compared with (6) – processed RVA data from the MRZR point*

Таблица 1. Список параметров, управляющих ходом алгоритма IP-LM в различных экспериментах (рис. 2), результаты решения обратных задач как вектор оптимальных значений $\overrightarrow{\Delta X}$ и коэффициенты подобия с обработанными экспериментальными данными ОАР

Table 1. List of parameters used to control the IP-LM algorithm in different experiments (Fig. 2), the results of solving inverse problems as a vector of optimal values $\overrightarrow{\Delta X}$ and similarity coefficients based on processed experimental RVA data.

	Кривая (1), красная	Кривая (2), зеленая	Кривая (3), оранжевая	Кривая (4), фиолетовая	«Эталонная» (5), синяя
$\vec{X}^{(0)}$	[1.5, 8.1]	[0.9, 9]	[0.05, 0.1]	[0.05, 1.5]	–
$\overrightarrow{\delta X}$	[0.001, 0.005]	[0.001, 0.05]	[0.01, 0.02]	[0.01, 0.02]	–
c	1.1	1	1.1	1.1	–
ν	2000	5	2000	100	–
Σ	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	–
$\overrightarrow{\Delta X}$	[1.32, 7.182]	[0.9, 9.039]	[0.698, 1.438]	[0.568, 2.501]	[1, 9.425]
R^2	74%	81%	75%	67%	81%
R	87%	93%	89%	89%	93%

Результаты решения обратной задачи, полученные в виде модельных (рис. 2, кривые 3–4) и (рис. 3, кривые 3–4), более правдоподобны. Во-первых, $\vec{X}^{(0)}$, начальное приближение, было взято ±1% от оценки максимальных возможных значений $\vec{X}$ согласно [24]. Во-вторых, это показывает то, что кривые (рис. 2, кривые 3–4) описывают обработанные экспериментальные данные ОАР (рис. 2, кривая 6) с высокой степенью подобия, близкой к эталонному решению прямой задачи (рис. 2, кривая 5). В-третьих, несмотря то, что (рис. 3, кривые 3–4) не имеют колебательного характера, как (рис. 3, кривая 5), сохраняется главное преимущество эредитарной $\alpha(t)$-модели – описание переменной нелокальности процесса, как и сохраняется тенденция в увеличении значений $\alpha(t)$ со временем, пусть и ценой небольшой потери в точности описания экспериментальных данных ОАР.

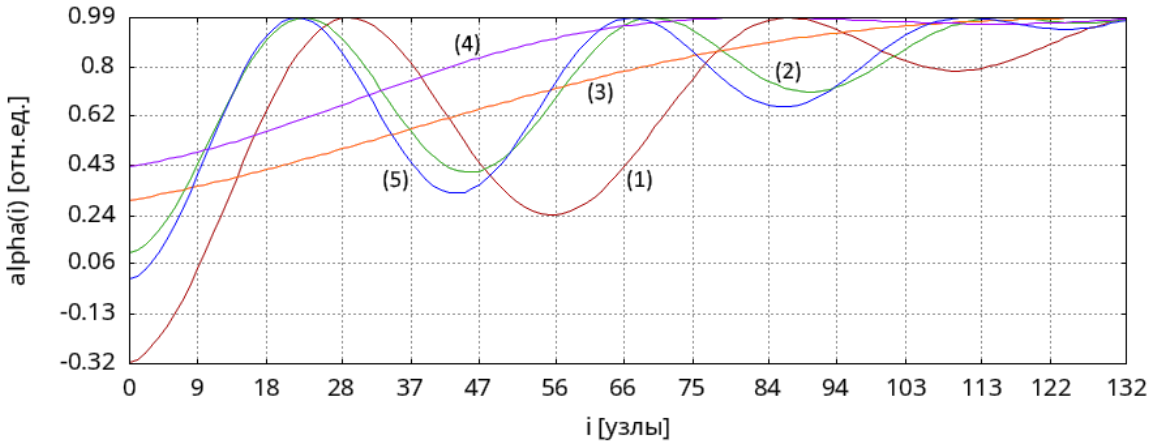


***Рис. 3**. Вид восстанавливаемой (8) сеточной функции $\alpha(i,\vec{X})$: (1–4) – как результат решения обратной задачи при различных управляющих параметрах (см. таблицу 1); (5) – «эталонный» вариант, подработанный вручную из [9]*

***Fig. 3**. Type of recovered (8) grid function $\alpha(i,\vec{X})$: (1–4) – as a result of solving the inverse problem for various control parameters (see Table 1); (5) – 'reference' version, manually adjusted from [9]*

Все расчеты в этой статье проводились на ЭВМ, расположенной в ИКИР ДВО РАН в лаборатории ЛЭМИ, со следующими характеристиками: CPU – AMD Ryzen 9 7950X, 16×4.5 GHz core, cache L2 16 Mb & L3 64 Mb; RAM – 96 Gb; GPU – GeForce RTX 4090, 24 Gb, 2235 MHz, ALU 16384.

Выводы

Из результатов можно сделать вывод о возможности решения на основе экспериментальных данных обратной задачи для эредитарной $\alpha(t)$-модели объемной активности радона с целью идентификации оптимальных значений функции $\alpha(t)$ порядка дробной производной, характеризующей интенсивность процесса переноса радона, зависящей от двух неизвестных параметров. Получаемые результаты математического моделирования правдоподобны, однако сильно зависят от начального приближения вектора восстанавливаемых значений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Фирстов П. П., Макаров Е. О.* Динамика подпочвенного радона на Камчатке и сильные землетрясения. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга, 2018. 148 с. EDN: VXTMDH

Firstov P.P., Makarov E.O. Dynamics of subsurface radon in Kamchatka and strong earthquakes. Petropavlovsk-Kamchatsky: Vitus Bering Kamchatka State University. 2018. 148 p. EDN: VXTMDH (In Russian)

2. Nikolopoulos D., Cantzos D., Alam A. et al. Electromagnetic and radon earthquake precursors. *Geosciences*. 2024. Vol. 14. No. 10. P. 271. EDN: YDMFHA

3. *Бирюлин С. В., Козлова И. А., Юрков А. К.* Исследование информативности объемной активности почвенного радона при подготовке и реализации тектонических землетрясений на примере Южно-Курильского региона // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2019. Т. 44. № 4. С. 73–83. EDN: IMOXJB

Biryulin S.V., Kozlova I.A., Yurkov A.K. Investigation of informative value of volume radon activity in soil during both the stress build up and tectonic earthquakes in the South Kuril region. *Bulliten of KRASEC. Earth Sci*. 2019. Vol. 44. No. 4. Pp. 73–83. EDN: IMOXJB. (In Russian)

4. *Зубков С. И.* Радоновые предвестники землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1981. № 6. С. 74–105.

Zubkov S.I. Radon precursors of earthquakes. *Volcanology and Seismology*. 1981. No. 6. Pp. 74–105. (In Russian)

5. Dubinchuk V.T. Radon as a precursor of earthquakes. *In Proceedings of the Isotopic geochemical precursors of earthquakes and volcanic eruption, Vienna, Austria,* 9–12 September 1991. Vienna: IAEA, 1993. Pp. 9–22.

6. Kristiansson K., Malmqvist L. Evidence for nondiffusive transport of 86Rn in the ground and a new physical model for the transport. *Geophysics*. 1982. Vol. 47. No. 10. DOI: 10.1190/1.1441293

7. Mandelbrot B.B. *The fractal geometry of nature*. New York: Times Books. 1982. 468 p.

8. Evangelista L.R., Lenzi E.K. Fractional anomalous diffusion, an introduction to anomalous diffusion and relaxation. Cham: Springer. 2023. Pp. 189–236. DOI: 10.1007/978-3-031-18150-4_5

9. Tverdyi D.A., Makarov E.O., Parovik R.I. Hereditary mathematical model of the dynamics of radon accumulation in the accumulation chamber. *Mathematics*. 2023. Vol. 11. No. 4:850. DOI: 10.3390/math11040850

10. *Твёрдый Д. А., Макаров Е. О., Паровик Р. И.* Исследования напряженно-деформированного состояния геосреды эманационными методами на примере alpha(t)-модели переноса радона // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2023. Т. 44. № 3. С. 86–104. EDN: AOBZGA

Tverdyi D.A., Makarov E.O., Parovik R.I. Research of stress-strain state of geo-environment by emanation methods on the example of alpha(t)-model of radon transport. *Bulletin KRASEC. Physical and Mathematical Sciences*. 2023. Vol. 44. No. 3. Pp. 86–104. EDN: AOBZGA (In Russian)

11. Uchaikin V.V. Fractional derivatives for physicists and engineers. Vol. I. *Background and Theory*. Berlin/Heidelberg: Springer. 2013. 373 p. DOI: 10.1007/978-3-642-33911-0

12. Parovik R.I., Shevtsov B.M. Radon transfer processes in fractional structure medium. *Mathematical Models and Computer Simulations*. 2010. Vol. 2. Pp. 180–185. DOI: 10.1134/S2070048210020055

13. Kilbas A.A., Srivastava H.M., Trujillo J.J. *Theory and applications of fractional differential equations*. Amsterdam: Elsevier. 2006. 523 p. EDN: YZECAT

14. *Нахушев А. М.* Дробное исчисление и его применение. М.: Физматлит, 2003. 272 с. EDN: UGLEPD

Nakhushev A.M. Fractional calculus and its application. Moscow: Fizmatlit. 2003. 272 p. EDN: UGLEPD. (In Russian)

15. Caputo M. Linear models of dissipation whose Q is almost frequency independent – II. *Geophysical Journal International*. 1967. Vol. 13. No. 5. Pp. 529–539. DOI: 10.1111/j.1365-246X.1967.tb02303.x

16. Novozhenova O.G. Life and science of Alexey Gerasimov, one of the pioneers of fractional calculus in Soviet Union. *Fractional Calculus and Applied Analysis*. 2017. Vol. 20. Pp. 790–809. DOI: 10.1515/fca-2017-0040

17. *Кабанихин С. И.* Обратные и некорректные задачи. 4-е изд. Новосибирск: Издательство Сибирского отделения РАН, 2018. 508 с. EDN: UQAVAO

Kabanikhin S.I. *Obratnye i nekorrektnye zadachi* [Inverse and Ill-Posed Problems]: 4th ed. Novosibirsk: Izdatel'stvo Sibirskogo otdeleniya RAN, 2018. 508 p. EDN: UQAVAO. (In Russian)

18. Mueller J.L., Siltanen S. Linear and nonlinear inverse problems with practical applications. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2012. 351 p. DOI: 10.1137/1.9781611972344

19. Tverdyi D.A., Parovik R.I., Makarov E.O. Estimation of radon flux density changes in temporal vicinity of the Shipunskoe earthquake with MW = 7.0, 17 August 2024 with the use of the hereditary mathematical model. *Geosciences*. 2025. Vol. 15. No. 1:30. EDN: WJIKNS

20. Tverdyi D.A. Refinement of variable order fractional derivative of Gerasimov-Caputo type by multidimensional Levenberg-Marquardt optimization method. *In: Computing Technologies and Applied Mathematics. CTAM 2024. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics*. 2025. Vol. 500. Pp. 159–173. EDN: IRBPFF

21. More J.J. The Levenberg-Marquardt algorithm: implementation and theory. *In: Numerical Analysis. Lecture Notes in Mathematics*. 1978. Vol. 630. Pp. 105–116. DOI: 10.1007/BFb0067700

22. Vasilyev A.V., Zhukovsky M.V. Determination of mechanisms and parameters which affect radon entry into a room. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2013. Vol. 124. Pp. 185–190. EDN: RFGXPN

23. Tverdyi D.A., Parovik R.I. Investigation of finite-difference schemes for the numerical solution of a fractional nonlinear equation. *Fractal and Fractional*. 2022. Vol. 6. No. 1:23. EDN: XPPXOV

24. *Твёрдый Д. А.* Математическое моделирование вариаций объемной активности радона с учетом наследственности: модель, методы решения, программа. М.: Академия Естествознания, 2025. 186 с. EDN: QUCYFP

Tverdyi D.A. *Matematicheskoe modelirovanie variaciy ob'emnoy aktivnosti radona s uchetom nasledstvennosti: model', metody resheniya, programma* [Mathematical modeling of variations in radon volumetric activity taking into account heredity: model, solution methods, program]. Moscow: Akademiya Estestvoznaniya, 2025. 186 p. EDN: QUCYFP. (In Russian)

25. *Тихонов А. Н., Самарский А. А.* Уравнения математической физики. М.: Наука, 1977. 736 с.

Tikhonov A.N., Samarskii A.A. Equations of Mathematical Physics. London: Macmillan, 1963, 765 p.

26. Dennis J.E., Robert Jr., Schnabel B. Numerical methods for unconstrained optimization and nonlinear equations. Philadelphia: SIAM, 394 p.

Авторский вклад. Все авторы принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Author's contribution. All authors of this paper have directly contributed to the planning, implementation, or analysis of the study. All authors of this paper have reviewed and agreed on the final version that has been submitted.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № НИОКТР 124012300245-2).

Funding. The work was supported by IKIR FEB RAS State Task (No. NIOKTR 124012300245-2).

Информация об авторах

Твёрдый Дмитрий Александрович, канд. физ.-мат. наук, науч. сотр., Институт космофизических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения Российской академии наук;
684034, Россия, с. Паратунка, ул. Мирная, 7;
dimsolid95@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6983-5258, SPIN-код: 2849-4814
Паровик Роман Иванович, д-р физ.-мат. наук, профессор ДВО РАН, вед. науч. сотр., Институт космофизических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения Российской академии наук;
684034, Россия, с. Паратунка, ул. Мирная, 7;
parovik@ikir.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1576-1860, SPIN-код: 4295-6894

Information about the authors

Dmitrii A. Tverdyi, Candidate of Physics and Mathematics, Researcher, Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences;
7, Mirnaya street, Paratunka village, 684034, Russia;
dimsolid95@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6983-5258, SPIN-code: 2849-4814
Roman I. Parovik, Doctor of Physics and Mathematics, Professor of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Leading Researcher, Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences;
7, Mirnaya street, Paratunka village, 684034, Russia;
parovik@ikir.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1576-1860, SPIN-code: 4295-6894

ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 004.852 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-89-108
EDN: HREYDL

Применение мультимодальных нейросетевых методов для определения качества дорожного полотна

М. Г. Городничев✉, К. А. Полянцева, И. Д. Разумовский

Московский технический университет связи и информатики
111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, 8А

Аннотация. В статье рассматривается задача автоматического определения дефектов дорожного покрытия с использованием мультимодальных нейросетевых методов.

Цель исследования. Разработка и экспериментальная оценка мультимодального нейросетевого метода автоматического определения дефектов дорожного покрытия с использованием совмещенного анализа визуальных и трехмерных данных.

Методы исследования. Для детекции областей повреждений применялась модель Faster R-CNN, для классификации визуальных фрагментов – Swin Transformer Small, а для анализа геометрии поверхности по данным лидара – модель PointNet. Предсказания от каждой модальности объединялись методом взвешенного суммирования (веса 0.1, 0.6 и 0.4 соответственно). Обучение и тестирование проводились на мультимодальном наборе данных RSRD, включающем RGB-изображения и облака точек, полученные в различных дорожных и погодных условиях.

Результаты. Экспериментальные исследования показали, что мультимодальный подход обеспечивает прирост точности классификации до 95.57 %, а также значительное улучшение метрик детекции дефектов. Для класса «выбоины» полнота увеличилась на 27 %, а F1-score – на 20 % по сравнению с использованием отдельных моделей.

Выводы. Разработанная архитектура демонстрирует высокую устойчивость и точность в задачах анализа дорожного полотна. Полученные результаты подтверждают эффективность интеграции визуальных и пространственных данных и целесообразность применения мультимодальных методов для построения интеллектуальных систем мониторинга дорожной инфраструктуры.

Ключевые слова: машинное обучение, нейронные сети, качество дорожного покрытия, детекция дефектов, компьютерное зрение, лидар, облака точек, сверточные нейронные сети, трансформеры, интеллектуальные транспортные системы

Поступила 13.10.2025, одобрена после рецензирования 11.11.2025, принята к публикации 14.11.2025

Для цитирования. Городничев М. Г., Полянцева К. А., Разумовский И. Д. Применение мультимодальных нейросетевых методов для определения качества дорожного полотна // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 89–108. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-89-108

MSC: 68T07 Original article

Use of multimodal neural network techniques to assess quality of roadways

M.G. Gorodnichev✉, K.A. Polyantseva, I.D. Razumovsky

Moscow Technical University of Communications and Informatics
8A, Aviamotornaya street, Moscow, 111024, Russia

Abstract. The article discusses the problem of automatic detection of pavement defects using multimodal neural network methods.

© Городничев М. Г., Полянцева К. А., Разумовский И. Д., 2025

Aim. To develop and experimentally evaluate a multimodal neural network method for automatically detecting pavement defects using combined analysis of visual and three-dimensional data.

Methods. The Faster R-CNN model is used for detecting damage areas, the Swin Transformer Small model for classifying visual fragments, and the PointNet model for analyzing surface geometry based on lidar data. The predictions from each modality are combined by weighted summation (weights 0.1, 0.6, and 0.4, respectively). The training and testing are conducted on the RSRD multimodal dataset, which includes RGB images and point clouds obtained in various road and weather conditions.

Results. Experimental studies have shown that the multimodal approach provides an increase in classification accuracy of up to 95.57%, as well as a significant improvement in defect detection metrics. For the pothole class, completeness increased by 27% and F1-score by 20% compared to using individual models.

Conclusions. The developed architecture demonstrates high stability and accuracy in the tasks of analyzing the roadway. The results obtained confirm the effectiveness of the integration of visual and spatial data and the expediency of using multimodal methods to build intelligent monitoring systems for road infrastructure.

***Keywords**:* machine learning, neural networks, pavement quality, defect detection, computer vision, lidar, point clouds, convolutional neural networks, transformers, intelligent transport systems

Submitted 13.10.2025, approved after reviewing 11.11.2025, accepted for publication 14.11.2025

For citation. Gorodnichev M.G., Polyantseva K.A., Razumovsky I.D. Use of multimodal neural network techniques to assess quality of roadways. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 89–108. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-89-108

Введение

Своевременное выявление и классификация дефектов дорожного покрытия, таких как трещины и выбоины, являются критически важной задачей для обеспечения безопасности дорожного движения и эффективного управления транспортной инфраструктурой [1]. Традиционные методы мониторинга часто требуют значительных человеческих ресурсов и не могут обеспечить непрерывный масштабируемый анализ. Современные достижения в области компьютерного зрения и глубокого обучения открывают новые возможности для автоматизации этого процесса.

Однако системы, основанные исключительно на обработке двумерных изображений, сталкиваются с рядом ограничений, включая чувствительность к изменению освещенности, погодным условиям и сложность текстурных особенностей дорожного полотна от реальных дефектов. В этой связи перспективным направлением является использование мультимодальных подходов, которые комбинируют данные из различных источников.

Определение качества дорожного покрытия с помощью мультимодальных нейросетевых методов начинается с выбора правильных сенсорных технологий и организации процесса сбора данных. Эффективность всей последующей системы напрямую зависит от качества, разнообразия и репрезентативности исходных данных. Современные исследования демонстрируют широкий спектр доступных датчиков, каждый из которых обладает уникальными преимуществами и недостатками, что делает их применение контекстуально зависимым.

Основным источником данных является визуальная информация, получаемая с различных типов камер [2]. Камеры высокого разрешения обеспечивают высокую точность детекции дефектов, достигая 98,95 % в идеальных условиях, однако они уязвимы к погодным условиям, таким как дождь или туман, и плохому освещению. Для решения этой проблемы исследователи используют различные подходы. Например, в одном из проектов [3] применялись тепловизионные камеры, которые показали точность 97 % при классификации дефектов, что делает их перспективными для использования в условиях низкой видимости.

Другой подход заключается в использовании стереокамер [4, 5], которые позволяют получать плотные 3D-облака точек с точностью реконструкции более 3 мм, что полезно для оценки объема выбоин [6].

Второй важной модальностью являются данные, получаемые с инерциальных измерительных блоков (IMU), содержащих акселерометры и гироскопы. Эти сенсоры регистрируют вибрацию, создаваемую проездом над дефектами дорожного покрытия [7, 8]. Преимущество этого метода заключается в его независимости от условий освещения, что позволяет проводить обследования в любое время суток. Однако вибрационные методы чувствительны к шуму от самого транспортного средства и могут обнаруживать дефекты только при прямом проезде по ним [9]. Для повышения точности данных часто применяются алгоритмы предварительной обработки, такие как фильтрация Баттерворта для подавления помех [10] и использование нескольких датчиков для сглаживания сигнала [11]. В качестве примера можно привести систему RoadSense, которая использует датчик MPU-6050 и достигает точности 99,07 % при обнаружении выбоин [12].

Третьей все более популярной модальностью становится трехмерное сканирование с помощью LiDAR и радаров. LiDAR обеспечивает высокоточную 3D-реконструкцию дорожного полотна, позволяя точно измерять глубину и площадь выбоин [13, 14]. Однако данные LiDAR и облака точек требуют значительных вычислительных ресурсов для обработки [15]. Радары, особенно миллиметроволные (mmWave), представляют собой перспективную альтернативу. Они работают в диапазоне 76–81 ГГц, что делает их устойчивыми к дождю, туману и темноте, превосходя по этому параметру камеры и LiDAR. Прототип mmWave-радара, разработанный в Университете Аризоны, успешно сегментирует облако точек на объекты, такие как пешеходы и автомобили, что указывает на потенциал его применения для анализа дорожной обстановки и состояния покрытия. В одном из исследований было показано, что даже мобильный лазерный сканер (LiDAR) с низкой плотностью точек может эффективно обнаруживать выбоины при оптимальной плотности.

В некоторых исследованиях экспериментируют с менее очевидными модальностями, такими как звук [17]. В работе по оценке состояния гравийных дорог был предложен метод слияния визуальных и аудиальных данных, где аудиозаписи преобразовывались в спектрограммы. Этот подход показал высокую производительность, особенно при позднем слиянии признаков с использованием логических операций OR и AND, достигнув точности 97 %. Это открывает новые горизонты для создания робастных систем, способных работать в сложных условиях.

Выбор нейросетевой архитектуры является центральным элементом в разработке систем для определения качества дорожного покрытия. Исследовательское сообщество активно экспериментирует с различными моделями, адаптируя существующие архитектуры для задач компьютерного зрения и предлагая собственные решения. Основой большинства современных систем служат сверточные нейронные сети (CNN), которые демонстрируют высокую эффективность в задачах классификации, обнаружения объектов и семантической сегментации [18].

Для задачи детекции объектов, такой как поиск трещин и выбоин, наиболее популярными являются архитектуры семейства YOLO (You Only Look Once). Модификации YOLOv3/v5/v7/v8/v10 регулярно появляются в научных публикациях благодаря их высокому соотношению скорости и точности [19, 20]. Например, модель SCB-AF-Detector на основе YOLOv5s достигла 90,8 % точности на датасете IRRDD, а YOLOv7 была применена для обнаружения дефектов с точностью 94,5 % [21]. Для повышения эффективности этих моделей авторы разрабатывают специализированные модификации бэкбона (например, SCB-Darknet53 с интегрированными трансформерами) и головного блока (AFPN), что позволяет улучшить извлечение признаков и повысить общую производительность. Другие популярные архитектуры включают Faster R-CNN, RetinaNet и SSD.

Для более точной локализации дефектов, особенно при необходимости не просто обвести их рамкой, а выделить все пиксели, относящиеся к повреждению, используются архитектуры семантической сегментации. Наиболее известными здесь являются U-Net и DeepLabv3+ [22]. Модель U-Net, в частности, показала точность до 92,23 % в задаче сегментации трещин. В одном из исследований лучшие результаты на датасете ISTD-PDS7 показала модель SegFormer, достигнув F1-меры 94,23 %. Эти модели позволяют не только находить дефекты, но и точно измерять их площадь и форму.

Помимо CNN, в последнее время все большее внимание уделяется трансформерам и графовым нейросетям, хотя их применение в данной области еще не так широко распространено, как в других областях ИИ. Трансформеры демонстрируют высокую производительность в задачах, связанных с длинными зависимостями и глобальным контекстом, что может быть полезно для анализа больших участков дороги. Например, модель Pavement-DETR на основе RT-DETR для детекции шести типов дефектов показала mAP@0.5 = 87,1 % на датасете UAV-PDD2023, превзойдя базовую модель на 7,7% [23].

Архитектуры, сочетающие CNN и трансформеры, также исследуются для детекции выбоин на дорогах.

Наборы данных

Качество и масштабность наборов данных являются основополагающими факторами, определяющими развитие области мониторинга качества дорожного покрытия. Хорошо размеченный, разнообразный и большой датасет позволяет обучать более точные и робастные модели. Однако текущее состояние исследовательского поля характеризуется наличием множества небольших, часто закрытых датасетов, что затрудняет воспроизводимость результатов и сравнение методов.

Существует множество открытых наборов данных, каждый из которых имеет свои особенности. Самые крупные и популярные – это датасеты, собранные в ходе международных соревнований. Например, RDD2022 содержит 47420 изображений из шести стран мира, размеченных по четырем типам дефектов (продольные и поперечные трещины, крокодиловое растрескивание, выбоины), что делает его ценным для обучения моделей, применяющихся для разных типов дорог [24]. Датасет TD-RD содержит 7088 высококачественных изображений с 12882 размеченными экземплярами трещин и выбоин [25]. Другой крупный датасет, EGY_PDD, включает 14612 2D-изображений и 4323 сцены с 3D-данными (глубина и облако точек), собранными в Египте, что позволяет работать с мультимодальными данными [26]. Существуют также специализированные датасеты, например, ISTD-PDS7, содержащий 18527 изображений для задачи сегментации с 7 типами дефектов и большим количеством негативных примеров (теней, пятен), что повышает робастность моделей.

Несмотря на наличие подобных датасетов, исследовательская практика показывает, что большинство моделей обучается на приватных данных, собранных исследователями для своих целей. Это создает проблему, поскольку результаты, полученные на одном ограниченном датасете, могут не быть репрезентативными для других условий. Еще одной проблемой является недостаток стандартизированных 3D-датасетов, что ограничивает развитие методов, использующих LiDAR и 3D-сканирование.

Однако существуют и другие датасеты. Например, RoadBench, самый крупный в своей области датасет, содержащий 100 000 пар «изображение-текст» высокого разрешения [27]. Его уникальность заключается в том, что каждое изображение сопровождается подробным текстовым описанием, сгенерированным GPT-4o. Это позволяет развивать визуально-языковые модели, которые могут лучше понимать контекст и детали дефектов.

RoadBench включает 10 типов повреждений, включая смешанные и неопределенные случаи, что делает его более реалистичным и сложным для анализа.

Датасет TD-RD специально создан для детекции повреждений и содержит 715 088 изображений с 12882 разметками трещин, выбоин и заплат. Кроме того, были разработаны датасеты, сфокусированные на конкретных технологиях. Например, датасет, который включает данные от десяти типов датчиков (акселерометр, гироскоп, GPS и др.) и разделен на две категории: данные об аномалиях и данные о стиле вождения, что позволяет проводить более глубокий анализ 30 влияний внешних факторов [28].

Таким образом, развитие методов для определения качества дорог напрямую связано с появлением и улучшением наборов данных. Будущие исследования будут все больше зависеть от доступности крупных, разнообразных и хорошо размеченных мультимодальных датасетов, которые позволят создавать действительно универсальные и надежные системы мониторинга.

В нашем исследовании для обучения и тестирования моделей использовался датасет RSRD – Road Surface Dataset [29]. Используемый набор данных содержит 8000 файлов четырех типов (модальностей):

1. Изображения высокого разрешения, полученные в результате видеосъемки дорожного покрытия в различных погодных условиях.

2. Карты глубины, полученные на основе слияния нескольких кадров LiDAR-данных, представляют собой двумерные изображения, в которых каждый пиксель соответствует расстоянию от датчика до объекта в сцене. Такие карты строятся на основе данных, полученных с помощью LiDAR-сенсора – активного дальномера, работающего на основе лазерного сканирования.

3. Карты диспарантности – изображения, в которых каждый пиксель содержит информацию о разности положения одной и той же точки сцены на двух изображениях, снятых с разных ракурсов.

4. Облака точек, полученные с использованием многокадрового объединения данных LiDAR с компенсацией движения.

5. Видеосъемка проводилась на асфальтовых и бетонных покрытиях в городских и сельских районах. Скорость автомобиля была ограничена 40 км/ч для повышения качества данных.

Разметка изображений на классы «трещины» и «выбоины» производилась с использованием платформы Roboflow. Аннотация разметки была в формате coco.json.

Архитектура предлагаемого решения

Для задачи выявления дефектов дорожного полотна предлагается мультимодальная архитектура, объединяющая визуальные и лидарные данные. Схема работы представлена на рис. 1.

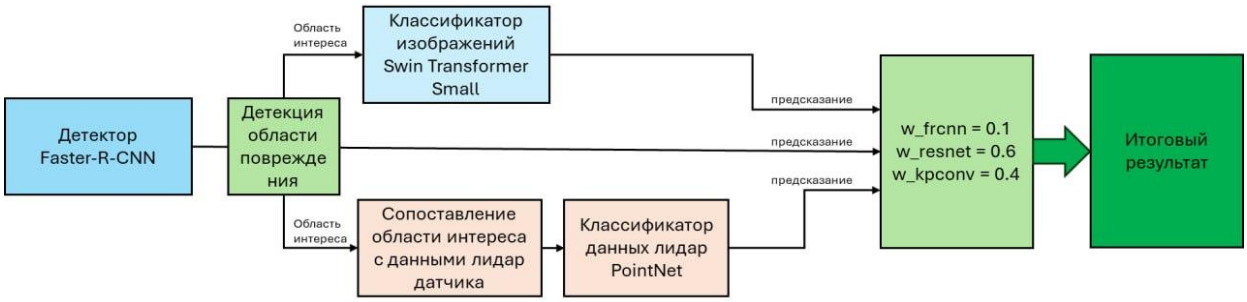


***Рис. 1**. Схема архитектуры мультимодального метода определения повреждений дорожного покрытия*

***Fig. 1**. Schematic diagram of the architecture of the multimodal method for determining road surface damage*

В качестве основного блока используется детектор Faster R-CNN, который отвечает за выделение областей интереса – потенциальных участков повреждений дорожного покрытия. Эти области далее подвергаются двунаправленной обработке:

1. **Визуальный канал.**

Области интереса подаются на вход классификатору изображений Swin Transformer Small. Этот модуль анализирует текстуру, цвет и форму дорожного полотна, что позволяет зафиксировать такие признаки повреждений, как трещины или выбоины.

2. **Лидарный канал.**

Параллельно с визуальной обработкой происходит сопоставление области интереса с данными облака точек, полученными от лидар-датчика. Для анализа трехмерной геометрии используется PointNet, который классифицирует объекты на основе пространственной структуры поверхности дороги. Такой подход позволяет выявлять дефекты, слабо выраженные на изображении, но отчетливо различимые в геометрии.

Оба канала формируют независимые предсказания, которые затем объединяются с учетом весовых коэффициентов:

- **w_frcnn = 0,1** – вклад базового детектора,
- **w_resnet = 0,6** – основной вес, присвоенный визуальному классификатору,
- **w_kpconv = 0,4** – вес предсказаний по данным лидара.

Итоговое решение формируется путем взвешенного суммирования результатов, что обеспечивает баланс между различными модальностями и повышает надежность классификации. Такой мультимодальный подход позволяет не только повысить точность детекции дефектов, но и уменьшить вероятность ложных срабатываний за счет перекрестной проверки признаков в разных источниках данных.

Детекция повреждений дорожного покрытия на изображениях, полученных в результате видеосъемки

Детекция и выделение повреждений дорожного покрытия на изображении является одним из основных этапов при анализе результатов видеосъемки. Для детекции повреждений дорожного покрытия на изображениях в исследовании были использованы архитектуры Faster R-CNN, YOLO8 Nano и YOLO8 Small.

В качестве метрик, которые влияли на выбор наилучших весов для модели при ее обучении, использовали функцию потерь и полноту (recall). Выбор полноты в качестве метрики был обусловлен важностью детекции положительных объектов на изображении. Для сравнения разных моделей использовали метрики точность (precision), полнота (recall), f1-score и точность предсказания границ (Intersection over Union, IoU).

Модель Faster R-CNN представляет собой детектор с архитектурой ResNet-50 в качестве backbone и функционалом Feature Pyramid Network (FPN). Модель Faster R-CNN является двухстадийным детектором, который на первом этапе извлекает регионы интереса, а затем определяет их класс и уточняет расположение [30].

Архитектура Faster R-CNN была инициализирована с использованием предобученных весов на COCO и дообучалась на задаче с пользовательскими классами дефектов дорожного полотна, а также с учетом фонового класса. В оригинальной модели была заменена головная часть классификатора box_predictor на новую, соответствующую числу целевых классов.

В результате обучения модели Faster R-CNN на валидационной выборке значение функции потерь составило 0,2432, а полнота (recall) составляла 0,8526.

Следует отметить, что метрика AP@[0,5:0,95], представляющая собой среднее значение точности по различным уровням перекрытия (IoU), является достаточно строгим критерием. Однако в контексте рассматриваемой прикладной задачи автоматического мониторинга дорожного покрытия эта метрика не является определяющей. Целью же предлагаемой системы является своевременное обнаружение повреждений дорожного полотна, в том числе потенциальных, с возможностью последующего анализа их характера и степени опасности. В этой связи особую важность приобретает полнота (recall) модели – способность фиксировать максимальное число случаев наличия дефекта. Напротив, ложноположительные срабатывания (false positives) в рамках такой системы представляют меньшую угрозу: они могут быть отфильтрованы на последующих этапах обработки, в том числе с использованием дополнительных модальностей, таких как облака точек, карты глубины и диспарантности. Таким образом, допустимость ложных срабатываний компенсируется отсутствием пропусков, что критически важно для обеспечения безопасности дорожного движения.

Модель YOLOv8 относится к одноэтапным детекторам объектов и реализует подход «end-to-end» – от входного изображения сразу к предсказаниям классов и координат объектов. В данной работе использовались облегченные модификации YOLOv8: YOLOv8 Nano и YOLOv8 Small, разработанные с целью повышения скорости обработки и уменьшения требований к вычислительным ресурсам. Архитектура YOLOv8 основана на полностью сверточной нейросети без явно выделенного backbone и включает в себя улучшенные механизмы извлечения признаков, а также адаптивную иерархическую структуру обнаружения объектов. YOLOv8 использует современный механизм декодирования предсказаний на основе anchor-free подхода, что позволяет повысить точность и стабильность при работе с различными масштабами объектов. Благодаря высокой скорости и компактности модели YOLOv8 Nano и Small хорошо подходят для задач реального времени и применения на встраиваемых устройствах [31].

Сравнение основных метрик моделей, используемых для детекции повреждений дорожного покрытия, представлено в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение основных метрик моделей

Table 1. Comparison of the main metrics for the models

Наименование	**precision**		**recall**		**F1-score**		**mAP50-95**
	трещины	**выбоины**	**трещины**	**выбоины**	**трещины**	**выбоины**	
Faster-R-CNN	**0,93**	0,95	0,82	**0,61**	0,87	**0,74**	**0,166**
YOLOv8 Nano	0,85	**1**	**1**	0.18	0,92	0,31	0,104
YOLOv8 Small	0,89	**1**	**1**	0,42	**0,94**	0,60	0,143

Из рассмотренных моделей Faster R-CNN демонстрирует наиболее сбалансированные значения основных метрик, особенно по полноте и F1-score. При этом для моделей семейства YOLO характерны низкие значения метрики recall для класса «выбоины». Наибольшее значение метрики IoU было также при анализе тестовой выборки моделью Faster R-CNN. При этом данное значение все равно было достаточно низким, однако это не яв-

ляется критичным для задачи мониторинга, где ключевым показателем является recall – важно не пропустить дефект. Ошибки в виде ложного выделения исправных участков (низкий precision) менее значимы, поскольку они не приводят к реальным потерям, а увеличивают объем последующего анализа.

Классификация повреждений дорожного покрытия на изображениях, полученных при видеосъемке

Для повышения точности определения типа повреждения дорожного покрытия (выбоины или трещины) после их детекции на изображении применяли бинарную классификацию. При решении данной задачи сравнивали модели глубокого обучения на основе сверточных нейронных сетей и трансформеров. Среди сверточных нейронных сетей были выбраны такие модели, как ResNet-18, Res-Net-34, ResNet-50 и EfficientNet-B0 – B7, а среди трансформеров – SwinTransformer tiny, SwinTransformer base, SwinTransformer small.

В процессе обучения для выбора наилучшей модели оценивали функцию потерь и метрику Macro F1 на валидационной выборке. Данная метрика позволяет оценить эффективность работы классификатора на несбалансированных выборках. Для выбора наилучшей модели сравнивались такие метрики, как precision (точность для положительных предсказаний), recall (полнота), f1-score, macro average (среднее значение для несбалансированных классов), weighted average (взвешенное среднее значение), accuracy (точность).

Сверточная нейронная сеть ResNet, предобученная на датасете ImageNet, представляет собой глубокую остаточную сеть, которая использует механизм остаточных связей (residual connections). Данный механизм позволяет эффективно обучать глубокие нейронные сети, предотвращая затухание градиента и способствуя более стабильной и быстрой сходимости. Данная архитектура была выбрана из-за ее высокой устойчивости к переобучению, способности эффективно извлекать иерархические признаки с различных уровней абстракции, а также доказанной эффективности в задачах классификации изображений. Благодаря использованию остаточных блоков ResNet демонстрирует высокую обобщающую способность даже при ограниченном объеме обучающих данных, что делает ее особенно подходящей для задач, где важно точно классифицировать мелкие и разнообразные дефекты на дорожных покрытиях. Кроме того, наличие предварительно обученных весов на ImageNet позволяет ускорить обучение и повысить начальное качество модели за счет переноса знаний из широкой области компьютерного зрения [32].

На рисунке 2 показаны графики обучения моделей ResNet-18, ResNet-34, ResNet-50.

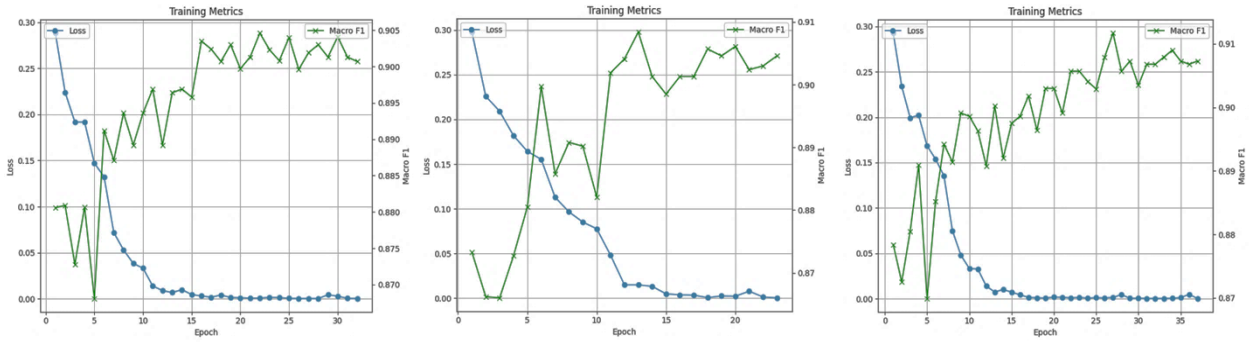


***Рис. 2**. Графики обучения на тренировочной выборке ResNet-18, ResNet-34, ResNet-50*

***Fig. 2**. Training graphs on the training set ResNet-18, ResNet-34, ResNet-50*

Среди исследованных моделей семейства ResNet (ResNet-18, ResNet-34, ResNet-50) сравнимые результаты были показаны для моделей ResNet-18 и ResNet-34. Однако наибольшее среднее значение F1-меры (0,8752) по двум классам и общее значение точности (0,8756) показала модель ResNet-18. Общее значение точности классификации модели ResNet-50 на тестовой выборке было на 2 % ниже, чем у двух других архитектур.

EfficientNet – это семейство сверточных нейронных сетей, предложенное с целью достижения оптимального баланса между точностью и вычислительной эффективностью. Архитектура EfficientNet была разработана с использованием метода автоматического масштабирования модели (compound scaling), который одновременно увеличивает глубину, ширину и разрешение входных изображений в заданных пропорциях.

Базовая модель EfficientNet-B0 была разработана с использованием метода автоматизированного подхода, позволяющего оптимизировать структуру нейронной сети для достижения баланса между точностью и вычислительной эффективностью. Эта модель послужила фундаментом для создания более крупных вариантов EfficientNet (B1–B7), которые получили путем масштабирования базовой архитектуры с сохранением ее сбалансированности. Такой подход обеспечил существенное улучшение качества предсказаний без экспоненциального роста вычислительных затрат, характерного для традиционных методов увеличения глубины или ширины сети. Архитектура EfficientNet построена на основе блоков MBConv (Mobile Inverted Bottleneck Convolution), заимствованных из MobileNetV2, и использует эффективные разделяемые сверточные операции (depthwise separable convolutions). Кроме того, каждая операция дополнена механизмом Squeeze-and-Excitation (SE), который адаптивно перенастраивает весовые коэффициенты каналов, что способствует улучшению выделения информативных признаков [33].

Ключевые особенности EfficientNet:

1. Эффективное использование вычислительных ресурсов за счет сбалансированного масштабирования.

2. Повышенная точность для задач классификации изображений.

3. Компактность и быстродействие, особенно в младших версиях (B0–B2), что делает их подходящими для мобильных и встраиваемых систем.

В исследовании были использованы модели EfficientNet-B0 – EfficientNet-B7, которые различаются между собой по глубине, ширине и разрешению входного изображения. С возрастанием поколения EfficientNet также увеличивается количество параметров. Например, в EfficientNet-B0 – 5,3 млн параметров, тогда как в EfficientNet-B7 – 66 млн.

На рисунке 3 показаны графики обучения моделей EfficientNet-B0 – EfficientNet-B7.

В семействе EfficientNet (варианты от B0 до B7) максимальные показатели основных метрик продемонстрировала модель EfficientNet-B6. Среднее значение F1-мера для обоих классов составило 0,9003, а значение точности (accuracy) – 0,9005, что делает ее наилучшей архитектурой среди исследуемых из данного семейства. При этом модель лишь незначительно превосходит по метрикам версии B4 (0,8980 и 0,8982 соответственно) и B5 (0,8956 и 0,8959 соответственно), однако все же обеспечивает наивысшую точность классификации.

Нейронная сеть на основе трансформерной архитектуры – Swin Transformer, предобученная на датасете ImageNet, представляет собой иерархическую архитектуру визуального трансформера, в которой используется оконный механизм привлечения внимания (window-based self-attention), который перемещается по изображению для выделения объектов. В отличие от классического глобального механизма внутреннего внимания оконный подход позволяет существенно сократить вычислительную сложность, что делает модель более эффективной при работе с изображениями высокого разрешения.

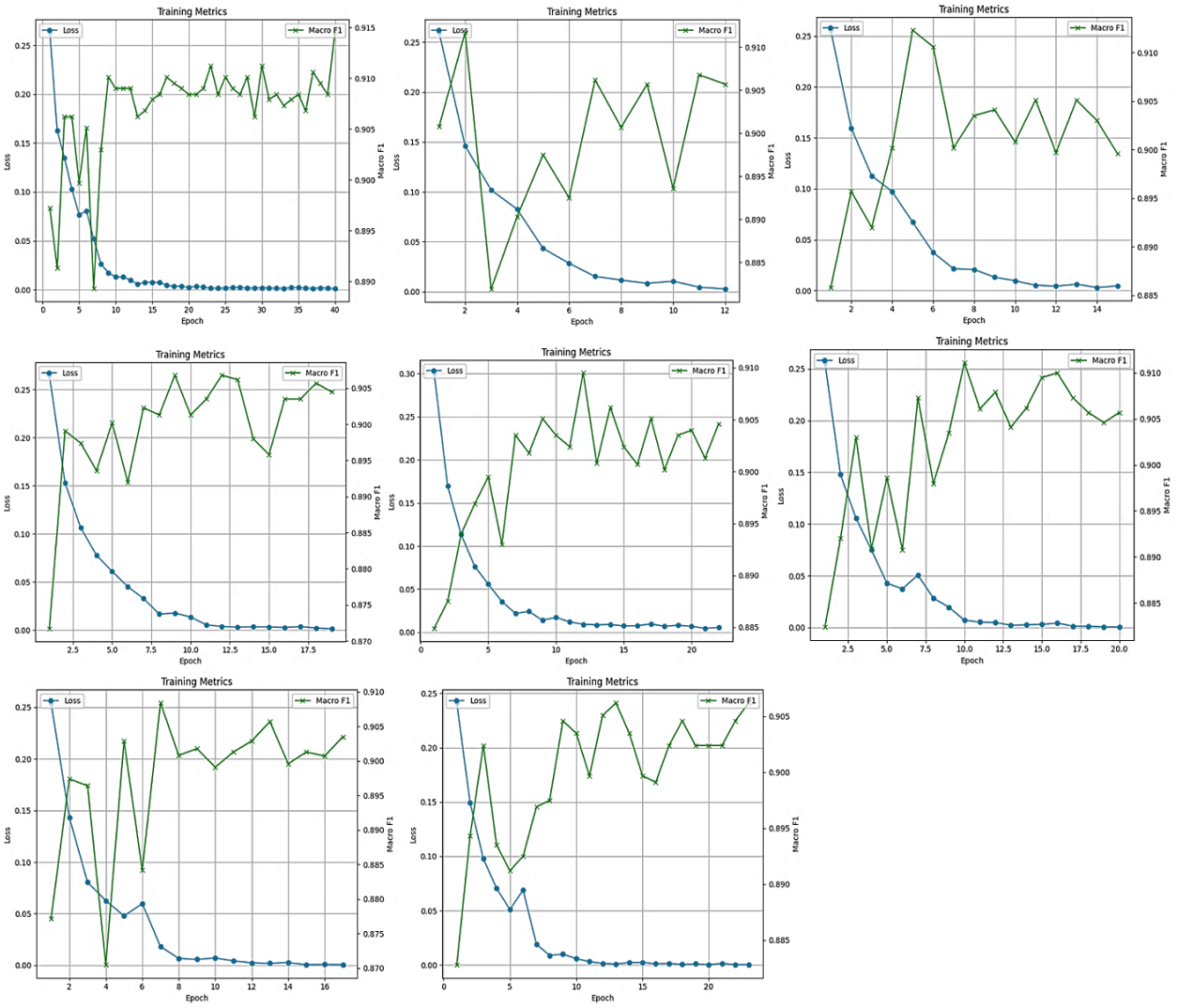


Рис. 3. *Графики обучения на тренировочной выборке EfficientNet-B0 – EfficientNet-B7*

Fig. 3. *Training graphs on the training set EfficientNet-B0 - EfficientNet-B7*

Ключевой особенностью Swin Transformer является использование сдвинутых окон (shifted windows), обеспечивающих перекрытие между соседними окнами. Это позволяет эффективно объединять локальную и глобальную информацию, что особенно важно для задач, требующих пространственного контекста, таких как классификация, сегментация и детекция объектов.

Архитектура построена иерархически: на каждом уровне обработки пространственное разрешение уменьшается, а размерность признаков увеличивается аналогично принципам, применяемым в сверточных нейронных сетях. Это позволяет Swin Transformer сочетать преимущества трансформеров и сверточных моделей, обеспечивая высокую точность при умеренной вычислительной нагрузке [34].

Модели Swin различаются по размеру (Tiny, Small, Base, Large) и числу параметров, что позволяет подобрать подходящий вариант в зависимости от доступных ресурсов и требований к качеству распознавания.

На рисунке 4 показаны графики обучения моделей Swin Tiny, Swin Small, Swin Base.

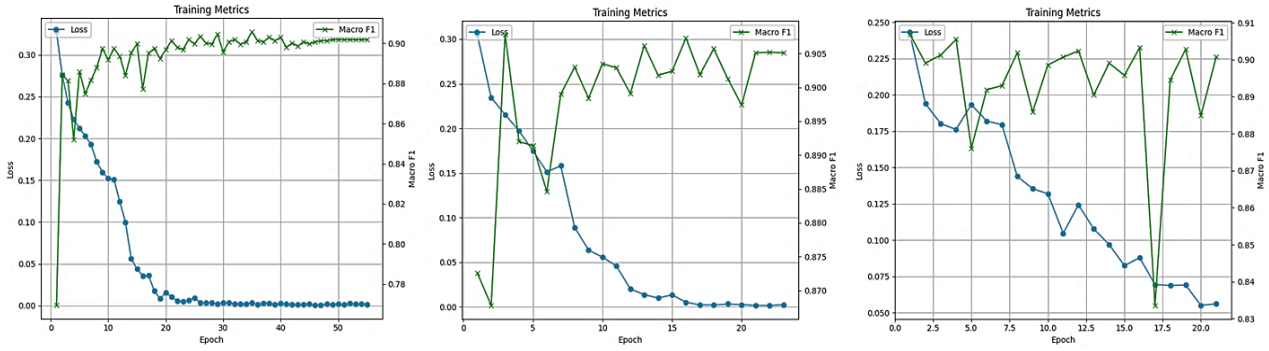


Рис. 4. *Графики обучения на тренировочной выборке Swin Tiny, Swin Small, Swin Base*

Fig. 4. *Training graphs on the training set Swin Tiny, Swin Small, Swin Base*

Среди исследованных моделей на базе Swin Transformer (Tiny, Small, Base) лучшую производительность продемонстрировала модель Swin Small. Так, среднее значение F1-меры составило 0,9004, а accuracy – 0,9005. Указанная модель существенно превосходит более легкие (Swin Tiny) и тяжелые варианты (Swin Base), что делает ее предпочтительной для рассматриваемой задачи (табл. 2).

Таблица 2. Результаты итогового сравнения моделей для бинарной классификации

Table 2. Results of the final comparison of models for binary classification

Наименование	**precision**		**recall**		**F1-score**		**accuracy**
	трещины	**выбоины**	**трещины**	**выбоины**	**трещины**	**выбоины**	
ResNet-18	0,8388	0,9213	0,9299	0,8213	0,8820	0,8684	0,8756
ResNet-34	0,8277	0,9367	0,9457	0,8032	0,8828	0,8648	0,8744
ResNet-50	0,8124	0,9086	0,9208	0,7873	0,8632	0,8436	0,8541
EfficientNet-B0	0,8686	0,9223	0,9276	0,8597	0,8972	0,8899	0,8937
EfficientNet-B1	0,8214	0,9263	0,9367	0,7964	0,8753	0,8564	0,8665
EfficientNet-B2	0,8182	**0,9482**	**0,9570**	0,7873	0,8822	0,8603	0,8722
EfficientNet-B3	0,8090	0,9272	0,9389	0,7783	0,8691	0,8462	0,8586
EfficientNet-B4	0,8636	0,9400	0,9457	0,8507	0,9028	0,8931	0,8982
EfficientNet-B5	0,8739	0,9207	0,9253	0,8665	0,8989	0,8928	0,8959
EfficientNet-B6	0,8688	0,9381	0,9434	0,8575	**0,9046**	0,8960	**0,9005**
EfficientNet-B7	0,8416	0,9171	0,9253	0,8258	0,8815	0,8690	0,8756
Swin Tiny	0,8463	0,9022	0,9095	0,8348	0,8768	0,8672	0,8722
Swin Base	0,8351	0,9073	0,9163	0,8190	0,8738	0,8609	0,8676
Swin Small	**0,8899**	0,9116	0,9140	**0,8869**	0,9018	**0,8991**	**0,9005**

По результатам сравнительного анализа моделей наилучшие показатели точности классификации (accuracy) продемонстрировали трансформер Swin Small и сверточная нейронная сеть EfficientNet-B6. Кроме того, модель Swin Small обладала наилучшими

значениями метрик recall и F1-score для класса «выбоины». Стоит отметить, что среди моделей семейства ResNet наилучшие значения точности были у моделей ResNet-18 и ResNet-34.

Классификация повреждений дорожного покрытия с использованием данных, полученных с датчиков лидар

Помимо изображений с видеокамер, для определения наличия и типа повреждения дорожного покрытия можно использовать данные, полученные с датчиков лидар (LiDAR). Данный тип датчиков использует лазерные импульсы для определения расстояния до объекта. Одним из типов данных, получаемых с датчиков лидар, является «облако точек», которое представляет собой набор точек в трехмерном пространстве и отражает геометрические особенности поверхности, карты глубины и диспарантности, которые соответствуют расстоянию от датчика до объекта [35].

Для классификации данных типа «облако точек» необходимо использовать модели, которые будут работать в трехмерном пространстве и учитывать зависимости между точками. В данном исследовании для задачи классификации «облаков точек» были использованы следующие модели: Point Transformer, PointNet и PointNet++.

Архитектура Point Transformer использует модифицированный механизм внимания (attention), адаптированный под трехмерные пространственные данные, и позволяет эффективно учитывать локальные и глобальные зависимости между точками, что критически важно при анализе сложных объектов дорожной инфраструктуры, таких как выбоины, трещины или искусственные неровности.

Входной слой модели представлял собой полносвязную проекцию координат каждой точки из пространства $\mathbf{R}^3$ в пространственное признаковое представление размерности 64. Далее следовали два блока Point Transformer, каждый из которых осуществлял агрегацию признаков с учетом ближайших соседей каждой точки (по евклидовому расстоянию) и учитывал относительные пространственные сдвиги между точками. Attention-механизм в этих блоках позволял каждой точке адаптивно взаимодействовать со своими соседями на основе как геометрической близости, так и содержательных признаков, что существенно усиливало выразительную способность модели.

После извлечения признаков из всех точек производилась глобальная агрегация с использованием адаптивного слоя max pooling, что позволяло получить компактное представление всего облака точек. Далее это представление передавалось в классификационный блок, состоящий из нескольких полносвязных слоев с функцией активации ReLU и выходным softmax-слоем. Он формировал вероятностное распределение по классам, соответствующим типам состояния дорожного покрытия (трещины или выбоины).

Таким образом, предложенная модель сочетает в себе возможности глубоких сверточных структур и гибкость внимания, адаптированного под 3D-точечные облака, что делает ее эффективным инструментом для анализа и классификации дорожных объектов на основе пространственных данных [36].

Архитектура PointNet предназначена для классификации облаков точек в 3D-пространстве. На вход модели подается тензор размерности (B, N, 3), где B – размер батча, N – количество точек в облаке, а 3 – координаты каждой точки (X, Y, Z). Для обработки данных используется последовательность сверточных слоев с ядром размера 1, что эквивалентно применению многослойного персептрона (MLP) к каждой точке отдельно. Сначала точки транспонируются в формат (B, 3, N), после чего проходят через три сверточных блока с

увеличением размерности признаков: с 3 каналов до 64, затем до 128 и, наконец, до 1024. Каждый сверточный слой сопровождается нормализацией батча (BatchNorm) и нелинейной активацией ReLU, что позволяет стабилизировать обучение и повысить выраженность признаков. После обработки всех точек осуществляется глобальный max-pooling по точкам, который агрегирует информацию по всему облаку, создавая единый вектор признаков размерности 1024, представляющий все облако целиком. Далее этот глобальный вектор подается на несколько полносвязных слоев, также снабженных нормализацией, функциями ReLU и регуляризацией Dropout для предотвращения переобучения. На выходе сети формируется вектор с числом элементов, равным количеству классов, для которых проводится классификация [37].

Модель PointNet++ является следующим поколением архитектуры PointNet за счет иерархической многоуровневой обработки точечных данных с учетом локальных геометрических структур. На вход подается тензор координат точек размерности (B, N, 3), где B – размер батча, N – число точек в облаке, а 3 – пространственные координаты каждой точки. В основе модели лежит модуль PointNetSetAbstraction, реализующий этап абстракции множества точек. В этом модуле сначала производится выбор подмножества ключевых точек (центроидов) из исходного облака с помощью алгоритма farthest point sampling (FPS). FPS последовательно выбирает точки, максимально удаленные от уже выбранных, что обеспечивает равномерное покрытие пространства точек. Затем для каждого центроида определяется множество его k ближайших соседей, формируя локальные регионы. Далее координаты соседних точек нормализуются путем вычитания координат соответствующего центроида, что позволяет модели быть инвариантной к локальному сдвигу. Если доступны дополнительные признаки точек (features), они группируются и конкатенируются с нормализованными координатами, формируя расширенные локальные дескрипторы.

Для извлечения признаков из локальных групп используется последовательность сверточных слоев с ядром 1x1, за которыми следуют операции пакетной нормализации (BatchNorm) и нелинейной активации ReLU. Такая свертка применяется к каждому фрагменту отдельно, после чего применяется операция агрегации – max pooling, которая сводит информацию о локальном регионе в единый вектор признаков на каждый центроид.

Архитектура строится иерархически: на первом уровне выбирается 512 центроидов с 32 соседями, затем на втором уровне – 128 центроидов и 32 соседа, где входными каналами второго уровня являются признаки, полученные на первом уровне. На третьем уровне реализована глобальная абстракция без подвыборки, которая агрегирует признаки по всему облаку точек, формируя глобальный вектор размерности 1024. Полученный глобальный вектор подается на несколько последовательно соединенных полносвязных слоев с пакетной нормализацией, функциями активации ReLU и Dropout для борьбы с переобучением. На выходе формируется логит-вектор с размерностью, равной числу классов задачи классификации. Таким образом, архитектура PointNet++ эффективно интегрирует локальные и глобальные геометрические особенности «облаков точек», обеспечивая высокую точность и устойчивость к вариациям пространственного расположения точек.

На рисунке 5 показаны графики обучения моделей Point Transformer, PointNet, PointNet++.

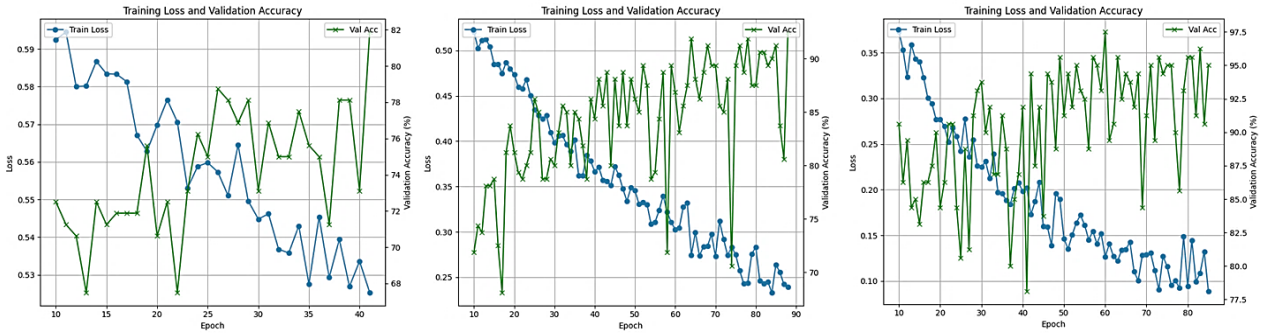


***Рис. 5**. Графики обучения на тренировочной выборке Point Transformer, PointNet, PointNet++*

***Fig. 5**. Training graphs on the training set of Point Transformer, PointNet, PointNet++*

Сравнение значений основных метрик, полученных при классификации повреждений дорожного покрытия с использованием моделей Point Transformer, PointNet и PointNet++, представлено в таблице 3.

Таблица 3. / Table 3.

Наименование	**precision**		**recall**		**F1-score**		**accuracy**
	трещины	**выбоины**	**трещины**	**выбоины**	**трещины**	**выбоины**	
Point Transformer	0,9091	0,3188	0,7006	**0,6667**	0,7914	0,4314	0,6947
PointNet	**0,9290**	0,6286	0,9172	**0,6667**	0,9231	**0,6471**	0,8737
PointNet++	0,8960	**0,8824**	**0,9873**	0,4545	**0,9394**	0,6000	**0,8947**

На основании представленных результатов можно сделать обоснованный выбор в пользу модели PointNet. Несмотря на то, что PointNet++ демонстрирует наивысшие значения F1-меры для класса «трещина», ее отзывчивость (recall) по классу «выбоины» значительно ниже (0,4545), чем у двух других моделей, что говорит о слабой эффективности определения данного типа дефектов. Архитектура Point Transformer показывает высокую точность определения класса «трещины» (0,9091) при крайне низкой точности (0,3188) и F1-мере (0,4314) для класса «выбоина». Тогда как модель PointNet, напротив, демонстрирует наиболее сбалансированные метрики бинарной классификации. Данная модель достигает наибольших значений метрик recall и F1-score для класса «выбоины» по сравнению с другими моделями. При этом значения метрик, отражающих качество классификации трещин, снижаются незначительно относительно Point Transformer и PointNet++. При этом общая точность (accuracy) модели PointNet всего на 2,1 % ниже, чем у PointNet++, и на 17,9 % выше, чем у Point Transformer.

Для задачи классификации карт глубин и диспарантности были обучены модели ResNet-18 и ResNet-34, которые показывают высокую эффективность при работе с изображениями. Такой выбор моделей был обусловлен тем, что данные карт глубин и диспарантности были представлены в формате png.

Так, модель ResNet-18 на тестовой выборке ResNet-18 показала следующие метрики для классов «трещина» и «выбоина»: precision составлял 0,72 и 1, recall – 1 и 0,22, а f1-score –

0,84 и 0,36 соответственно. При этом точность (accuracy) работы модели составила 0,74. Модель ResNet-34 показала значение precison – 0,67, recall – 1, f1-score – 0,8 для класса «трещины». Для класса «выбоина» данная модель показала нулевой результат, а общая точность (accuracy) классификации составила 0,67.

В связи с этими результатами данные модальности не использовались в дальнейшей работе, так как они показали низкий recall для класса «выбоина», что свидетельствует о низкой способности определять данный класс по данным карт глубины и диспарантности.

В конечном итоге для реализации мультимодального метода была выбрана модель PointNet, которая классифицирует данные типа «облака точек», полученные с датчиков лидар.

Классификация повреждений дорожного покрытия с использованием мультимодального подхода

Мультимодальный метод оценки дефектов дорожного покрытия сочетает в себе предсказания трех различных моделей, каждая из которых использует свою модальность: изображение RGB, фрагмент изображения (обрезка детектированного объекта) и облако точек. Целью данного подхода является повышение точности классификации объектов, обнаруженных на изображениях, за счет объединения информации из разных источников.

В процессе тестирования изображения последовательно обрабатываются при помощи модели обнаружения объектов на базе Faster R-CNN. Модель предсказывает координаты ограничивающих рамок, метки классов и значения точности в предсказаниях. Для каждого объекта, детектированного моделью Faster R-CNN с высокой точностью, осуществляется извлечение фрагмента изображения, соответствующего рамке. Полученное изображение передается в предварительно обученную модель Swin Small для классификации фрагментов дефектов дороги. Результатом является распределение вероятностей по классам для определяемых дефектов (трещины или выбоины).

В качестве еще одной модальности используются данные типа «облако точек», полученные с датчиков лидар и соответствующие входному изображению. Оно проецируется в изображение на основе калибровочных параметров камеры, после чего выделяются те точки, которые попадают в пределы каждой из обнаруженных рамок. Если число таких точек достаточно, то они нормализуются и передаются в модель PointNet для классификации на данных типа «облако точек». Данная модель также формирует свое предсказание, представленное в виде распределения вероятностей по классам.

На заключительном этапе для каждой обнаруженной области осуществляется агрегация предсказаний от всех трех моделей. Для этого соответствующие вероятностные распределения масштабируются с учетом заранее выбранных весов и суммируются. Наиболее вероятный класс в объединенном распределении считается итоговым предсказанием. Такое взвешенное объединение позволяет компенсировать недостатки отдельных модальностей, обеспечивая более устойчивую и точную классификацию.

Каждое финальное предсказание сопоставляется с соответствующей аннотацией из COCO-аннотаций на основе коэффициента перекрытия IoU. Если пересечение превышает заданный порог (например, 0.5), то объект считается корректно обнаруженным. Далее рассчитываются ключевые метрики: средняя точность (average precision), точность классификации (accuracy) по финальным меткам, а также полнота обнаружения (recall) без учета ложных срабатываний.

В процессе объединения предсказаний от трех различных моделей была реализована процедура автоматического подбора оптимальных весовых коэффициентов, обеспечива-

ющих наилучшую итоговую классификацию объектов. В качестве целевой метрики было выбрано значение усредненной F1-меры.

Оптимальной комбинацией весов, обеспечившей наивысшую среднюю F1-меру по целевым классам («трещины» и «выбоины»), оказались значения: 0,1 для предсказаний модели детекции Faster R-CNN; 0,6 для классификатора на основе Swin Transformer и 0,4 для PointNet, обрабатывающего «облака точек».

В таблице 4 представлено сравнение классификации мультимодального подхода с индивидуальными архитектурами, входящими в ее состав.

Таблица 4. / Table 4.

Наименование	**precision**		**recall**		**F1-score**		**accuracy**
	трещины	**выбоины**	**трещины**	**выбоины**	**трещины**	**выбоины**	
Swin Small	0,8899	0,9116	0,9140	0,8869	0,9018	0,8991	0,9005
PointNet	0,9290	0,6286	0,9172	0,6667	0,9231	0,6471	0,8737
Мультимодальный метод	**0,98**	0,87	**0,97**	**0,90**	**0,97**	0,88	**0,9557**

Так, значение метрики полноты выросло на 1,31 % относительно модели Swin Small и 23,33 % относительно PointNet. Значение общей точности выросло на 5,52 % и 8,20 % относительно моделей Swin Small и PointNet соответственно.

В таблице 5 представлено сравнение детекции мультимодального подхода с архитектурой Faster-R-CNN.

Таблица 5. / Table 5.

Наименование	**precision**		**recall**		**F1-score**		**mAP [0.5:0.95]**
	трещины	**выбоины**	**трещины**	**выбоины**	**трещины**	**выбоины**	
Faster-R-CNN	0,93	0,95	0,82	0,61	0,87	0,74	0,166
Мультимодальный метод	**1**	**1**	0,82	**0,88**	**0,90**	**0,94**	**0,3271**

Из представленных данных можно сделать вывод, что метрика IoU при использовании мультимодального подхода выросла более чем в 2 раза. Кроме того, выросли показатели точности, полноты и F1-score, особенно для детекции класса «выбоины». Так, значение метрики полноты для данного класса выросло на 27 %, а F1-score – на 20 %.

Таким образом, мультимодальный подход демонстрирует не только наиболее высокую точность классификации относительно базовых моделей, но и значительное улучшение детекции дорожных дефектов, тем самым подтверждая актуальность использования комплексных данных в интеллектуальных транспортных системах.

Заключение

В работе представлен мультимодальный нейросетевой метод для определения качества дорожного полотна, сочетающий анализ визуальных данных и трехмерных облаков точек. Проведенное исследование демонстрирует, что каждая из рассмотренных модальностей в отдельности – будь то детекция на изображениях с помощью Faster R-CNN или YOLO, классификация визуальных патчей с помощью Swin Transformer или анализ геометрии с помощью PointNet – обладает своими сильными и слабыми сторонами.

Ключевым результатом работы является подтверждение гипотезы о синергетическом эффекте при объединении различных модальностей. Предложенная мультимодальная архитектура, использующая взвешенное суммирование предсказаний, позволила не только достичь высокой общей точности классификации (95,57 %), но и значительно улучшить ключевые для прикладной задачи метрики детекции, особенно для сложноконтрастных дефектов, таких как выбоины. Наблюдаемый рост полноты (recall) и F1-score для этого класса свидетельствует о способности системы минимизировать пропуски дефектов, что является критически важным в контексте безопасности.

Таким образом, мультимодальный подход, представленный в статье, подтверждает свою эффективность и перспективность для внедрения в интеллектуальные транспортные системы для автоматизированного мониторинга состояния дорожной инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Козырев С. В., Полянцева К. А.* Комплексный анализ и сравнение передовых алгоритмов дефектовки дорожного покрытия с использованием различных систем сбора данных // Инженерный вестник Дона. 2024. № 11(119). С. 72–116. EDN: JHKKTB

Kozyrev S.V., Polyantseva K.A. Comprehensive analysis and comparison of advanced road surface defect detection algorithms using various data collection systems. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don]. 2024. No. 11(119). Pp. 72–116. EDN: JHKKTB. (In Russian)

2. Ranyal E., Sadhu A., Jain K. Road condition monitoring using smart sensing and artificial intelligence: a review. *Sensors.* 2022. Vol. 22. No. 8. P. 3044. DOI: 10.3390/s22083044

3. Abdelwahed S.H., Sharobim B.K., Wasfey B. et al. Advancements in real-time road damage detection: a comprehensive survey of methodologies and datasets. *Journal of Real-Time Image Processing*. 2025. Vol. 22. P. 137. DOI: 10.1007/s11554-025-01683-1

4. Polyantseva K.A., Gorodnichev M.G. Neural network approaches in the problems of detecting and classifying roadway defects. *Wave Electronics and Its Application in Information and Telecommunication Systems*. 2022. Vol. 5. No. 1. Pp. 364–370. EDN: CFBLOQ

5. *Полянцева К. А.* Разработка алгоритмов накопления данных посредством стереопары и детектирования дефектов дорожного полотна // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 5-1. С. 107–112. DOI: 10.17513/snt.39156

Polyantseva K.A. Development of data accumulation algorithms using a stereo pair and detection of road surface defects. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern High Technologies]. 2022. No. 5-1. Pp. 107–112. DOI: 10.17513/snt.39156. (In Russian)

6. Ma N., Fan J., Wang W. et al. Computer vision for road imaging and pothole detection: a state-of-the-art review of systems and algorithms. *Transportation Safety and Environment*. 2022. Vol. 4. No. 4. P. tdac026. DOI: 10.1093/tse/tdac026

7. Toral V., Krushangi T., Varia Harishkumar R. Automated potholes detection using vibration and vision-based techniques. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*. 2023. Vol. 10. No. 1. Pp. 157–176.

8. Wu C., Wang Z., Hu S. et al. An automated machine-learning approach for road pothole detection using smartphone sensor data. *Sensors*. 2020. Vol. 20. No. 19. P. 5564. DOI: 10.3390/s20195564

9. Sholevar N., Golroo A., Esfahani S.R. Machine learning techniques for pavement condition evaluation. *Automation in Construction*. 2022. Vol. 136. P. 104190. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104190

10. Dong D., Li Z. Smartphone sensing of road surface condition and defect detection. *Sensors.* 2021. Vol. 21. No. 16. P. 5433. DOI: 10.3390/s21165433

11. Raslan E., Alrahmawy M.F., Mohammed Y.A. et al. Evaluation of data representation techniques for vibration based road surface condition classification. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. P. 11620. DOI: 10.1038/s41598-024-61757-1

12. Jahan I.A., Huq A.S., Mahadi M.K. et al. RoadSense: a framework for road condition monitoring using sensors and machine learning. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*. 2024. DOI: 10.1109/TIV.2024.3486020

13. Gu J., Lind A., Chhetri T.R. et al. End-to-end multimodal sensor dataset collection framework for autonomous vehicles. *Sensors*. 2023. Vol. 23. No. 15. P. 6783. DOI: 10.3390/s23156783

14. Faisal A., Gargoum S. Cost-effective LiDAR for pothole detection and quantification using a low-point-density approach. *Automation in Construction*. 2025. Vol. 172. P. 106006. DOI: 10.1016/j.autcon.2025.106006

15. Yang C., Yang L., Duan H. et al. A review of pavement defect detection based on visual perception. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*. 2024. No. 17. Pp. 131–146.

16. Mkrtchian G., Polyantseva K. On the use of an acoustic sensor in the tasks of determining defects in the roadway. *Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications*. 2024. Vol. 7. No. 1. Pp. 276–280. DOI: 10.1109/IEEECONF60226.2024.10496721

17. Safyari Y., Mahdianpari M., Shiri H. A review of vision-based pothole detection methods using computer vision and machine learning. *Sensors*. 2024. Vol. 24. No. 17. P. 5652. DOI: 10.3390/s24175652

18. Chen W., Yang J.S., Xia C. et al. Road surface damage detection based on enhanced YOLOv8. *Computers in Industry*. 2025. Vol. 173. P. 104363. DOI: 10.1016/j.compind.2025.104363

19. Lincy A., Dhanarajan G., Kumar S.S., Gobinath B. Road pothole detection system. *ITM Web of Conferences*. 2023. Vol. 53. P. 01008. DOI: 10.1051/itmconf/20235301008

20. Yang L., Deng J., Duan H. et al. An efficient fusion detector for road defect detection. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. P. 27959. DOI: 10.1038/s41598-025-01399-z

21. Song W., Zhang Z., Zhang B. et al. ISTD-PDS7: A benchmark dataset for multi-type pavement distress segmentation from ccd images in complex scenarios. *Remote Sensing*. 2023. Vol. 15. No. 7. P. 1750. DOI: 10.3390/rs15071750

22. Zuo C., Huang N., Yuan C., Li Y. Pavement-DETR: a high-precision real-time detection transformer for pavement defect detection. *Sensors*. 2025. Vol. 25. No. 8. P. 2426. DOI: 10.3390/s25082426

23. Arya D., Maeda H., Ghosh S.K. et al. RDD2022: a multi-national image dataset for automatic road damage detection. *Geoscience Data Journal*. 2024. Vol. 11. Pp. 846–862. DOI: 10.1002/gdj3.260

24. Xiao X., Li Zh., Wang W. et al. TD-RD: a top-down benchmark with real-time framework for road damage detection. *2025 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP).* Hyderabad, India, 2025. Pp. 1–5. DOI: 10.1109/ICASSP49660.2025.10888616

25. Abdelkader M.F., Hedeya M.A., Samir E. et al. EGY_PDD: a comprehensive multi-sensor benchmark dataset for accurate pavement distress detection and classification. *Multimedia Tools and Applications*. 2025. Vol. 84. Pp. 38509–38544. DOI: 10.1007/s11042-025-20700-w

26. Xiao X. et al. Roadbench: A vision-language foundation model and benchmark for road damage understanding. *arXiv preprint arXiv:2507.17353*. 2025. URL: https://arxiv.org/abs/2507.17353. (accessed 09/01/2025)

27. Khandakar A., Michelson D.G., Naznine M. et al. Harnessing smartphone sensors for enhanced road safety: a comprehensive dataset and review. *Scientific Data*. 2025. Vol. 12. P. 418. DOI: 10.1038/s41597-024-04193-0

28. Polyantseva K., Gorodnichev M. On the applicability of multimodal neural network methods for determining the quality of the road surface. *2025 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*. Tyumen, Russian Federation, 2025. Pp. 1–6. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO65403.2025.11079337

29. Ren S., He K., Girshick R., Sun J. Faster R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks. *arXiv preprint arXiv:1506.01497*. 2016. DOI: 10.48550/arXiv.1506.01497

30. Terven J., Cordova-Esparza D. A comprehensive review of YOLO architectures in computer vision: from YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS. *Machine Learning and Knowledge Extraction*. 2024. Vol. 5. Pp. 1680–1716. DOI: 10.48550/arXiv.2304.00501

31. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition. *arXiv preprint arXiv:1512.03385*. 2015. DOI: 10.48550/arXiv.1512.03385

32. Tan M., Le Q.V. EfficientNet: rethinking model scaling for convolutional neural networks. *International Conference on Machine Learning*. 2019. DOI: 10.48550/arXiv.1905.11946

33. Liu Z., Lin Y., Cao Y. et al. Swin transformer: hierarchical vision transformer using shifted Windows. *arXiv preprint arXiv:2103.14030*. 2021. DOI: 10.48550/arXiv.2103.14030

34. Ma L., Li Y., Li J. et al. Mobile laser scanned point-clouds for road object detection and extraction: a review. *Remote Sensing*. 2018. Vol. 10. No. 10. P. 1531. DOI: 10.3390/rs10101531

35. Zhao H., Jiang L., Jia J. et al. Point Transformer. *arXiv preprint arXiv:2012.09164*. 2021. DOI: 10.48550/arXiv.2012.09164

36. Qi C.R., Su H., Mo K., Guibas L.J. PointNet: deep learning on point sets for 3d classification and segmentation. *arXiv preprint arXiv:1612.00593*. 2017. DOI: 10.48550/arXiv.1612.00593

37. Qi C.R., Yi L., Su H., Guibas L.J. PointNet++: deep hierarchical feature learning on point sets in a metric space. *arXiv preprint arXiv:1706.02413*. 2017. DOI: 10.48550/arXiv.1706.02413

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Городничев Михаил Геннадьевич, кан. техн. наук, доцент, декан факультета «Информационные технологии», Московский технический университет связи и информатики;
111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, 8А;
m.g.gorodnichev@mtuci.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1739-9831, SPIN-код: 4576-9642
Полянцева Ксения Андреевна, кан. техн. наук, доцент кафедры «Интеллектуальный анализ данных», Московский технический университет связи и информатики;
111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, 8А;
k.a.poliantseva@mtuci.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7102-4208, SPIN-код: 8112-8560
Разумовский Игорь Денисович, студент, Московский технический университет связи и информатики;
111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, 8А;
igor.raz@list.ru

Information about the authors

Mikhail G. Gorodnichev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Information Technology, Moscow Technical University of Communications and Informatics;
8A, Aviamotornaya street, Moscow, 111024, Russia;
m.g.gorodnichev@mtuci.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1739-9831, SPIN-code: 4576-9642
Ksenia A. Polyantseva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Data Mining, Moscow Technical University of Communications and Informatics
8A, Aviamotornaya street, Moscow, 111024, Russia;
k.a.poliantseva@mtuci.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7102-4208, SPIN-code: 8112-8560
Igor D. Razumovsky, Student, Moscow Technical University of Communications and Informatics;
8A, Aviamotornaya street, Moscow, 111024, Russia;
igor.raz@list.ru

ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 519.7 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-109-116
EDN: JCQKPI

Робастная модификация PSO на основе M-средних для решения задач линейной регрессии

Е. М. Казакова

Институт прикладной математики и автоматизации –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А

Аннотация. Линейная регрессия остается одним из базовых инструментов анализа данных, однако ее устойчивость резко снижается в присутствии выбросов и шумов, что приводит к искажению коэффициентов и снижению качества прогноза. Классические эвристические алгоритмы оптимизации, такие как Particle Swarm Optimization (PSO) и Jaya, показывают хорошие результаты на гладких функциях потерь, но оказываются чувствительными к выбросам при применении стандартной среднеквадратичной ошибки (MSE). Это создает потребность в разработке простых, но робастных модификаций, которые сохраняли бы глобальные поисковые свойства, не усложняя структуру базового алгоритма.

Цель исследования. Разработать и экспериментально оценить робастную модификацию PSO (PSO-Robust), обеспечивающую устойчивость линейной регрессии к выбросам без усложнения основного алгоритма и без введения дополнительных гиперпараметров.

Методы исследования. Алгоритмическая идея: сохранить стандартные уравнения движения PSO; вмешательство только в функцию пригодности. Вместо среднеквадратичной функции потерь используются M-средние на базе функции Хьюбера с адаптивными весами, уменьшающими вклад выбросов. Вычислительные эксперименты на синтетических данных (15 % и 25 % выбросов) выполнены при одинаковых гиперпараметрах для всех сравниваемых алгоритмов и 30 независимых перезапусках. Оценка по средним и медианным тестовым ошибкам, а также по разбросу (дисперсия, межквартильный размах). Визуальный анализ – *boxplot* распределений ошибок и линии регрессии.

Результаты. PSO-Robust устойчиво превосходит классический PSO и Jaya по средним и медианным тестовым ошибкам. Наблюдается меньший разброс результатов (дисперсия). Визуальный анализ подтверждает сниженную чувствительность к выбросам (более компактные *boxplot*, более адекватные регрессионные линии).

Заключение. Модификация PSO-Robust демонстрирует стабильное превосходство над исходными алгоритмами по точности и устойчивости, обеспечивая более компактные *boxplot* и менее искаженные регрессионные линии. Предложенный подход сочетает простоту реализации с робастностью, повышая надежность регрессионных моделей в условиях неоднородных данных. Перспективы развития включают расширение метода на многомерные и нелинейные модели, а также исследование альтернативных робастных функций потерь.

Ключевые слова: эвристические алгоритмы, Particle Swarm Optimization (PSO), Jaya, выбросы, робастность, линейная регрессия, M-средние, функция Хьюбера, оптимизация

Поступила 14.10.2025, одобрена после рецензирования 01.11.2025, принята к публикации 17.11.2025

Для цитирования. Казакова Е. М. Робастная модификация PSO на основе M-средних для решения задач линейной регрессии // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 109–116. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-109-116

© Казакова Е. М., 2025

MSC: 68T20 Original article

Robust modification of PSO algorithm based on M-means for solving linear regression

E.M. Kazakova

Institute of Applied Mathematics and Automation –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
89 A, Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. Linear regression is a fundamental data analysis tool, but it can be greatly affected by outliers and noise, which can lead to distorted coefficients and a reduction in forecast quality. Classical heuristic PSO (Particle Swarm Optimization) and Jaya algorithms demonstrate good performance on smooth loss functions, but they are sensitive to outliers when applying the standard mean squared error (MSE). This creates a need for simple but effective modifications that would maintain global search capabilities without complicating the basic algorithm's structure.

Aim. The study is to develop and subject to experimental evaluation modification of PSO algorithm (PSO-Robust) that ensures the robustness of linear regression to outliers without complicating the core algorithm or introducing additional hyperparameters.

Methods. Algorithmic idea: to keep the standard PSO equations of motion; interfering only with the fitness function. Instead of the root mean squire loss, an M-means function based on the Huber function is used, with adaptive weights that reduce the contribution of outliers. Experiments have been conducted on synthetic data with 15 % and 25 % outliers, with the same hyperparameters for all compared algorithms and 30 independent runs. Evaluation by mean and median test errors, as well as by dispersion estimation (variance, interquartile range). Visual analysis – boxplot of error distributions and regression lines. Evaluation by mean and median test errors, as well as dispersion (variance, interquartile range). Visual analysis – boxplot of error distributions and regression lines.

Results. PSO-Robust consistently outperforms classic PSO and Jaya in terms of mean and median test errors. The results show a smaller spread (variance). The visual analysis confirms reduced sensitivity to outliers (more compact box plots, more consistent regression lines).

Conclusion. The PSO-Robust modification demonstrates consistent superiority over the original algorithms in accuracy and robustness, producing more compact boxplots and less distorted regression lines. The proposed approach combines simplicity of implementation and robustness, increasing the reliability of regression in the case with heterogeneous data. Future developments include extending the method to multivariate and nonlinear models, as well as exploring alternative robust loss functions.

Keywords: heuristic algorithms, Particle Swarm Optimization (PSO), Jaya, outliers, robustness, linear regression, M-means, Huber function, optimization

Submitted 14.10.2025, approved after reviewing 01.11.2025, accepted for publication 17.11.2025

For citation. Kazakova E.M. Robust modification of PSO algorithm based on M-means for solving linear regression. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 109–116. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-109-116

Введение

В последние десятилетия задача глобальной оптимизации стала ключевой в различных областях науки и техники – от машиностроения и биоинформатики до искусственного интеллекта и управления сложными системами. При этом многие практические задачи характеризуются высокой размерностью, нелинейностью, неявностью градиентов и наличием большого количества локальных минимумов. Такие условия делают градиентные методы малоприменимыми и стимулируют развитие метаэвристических подходов, способных эффективно исследовать сложные поисковые пространства.

Метаэвристический алгоритм представляет собой приближенный метод решения задач, основанный на эмпирических правилах, интуиции или наблюдении за естественными процессами, без строгих математических гарантий нахождения глобального оптимума. Основной целью таких алгоритмов является нахождение достаточно хорошего решения за разумное время, особенно в условиях ограниченных вычислительных ресурсов.

Одним из широко применяемых метаэвристических методов является алгоритм роя частиц (Particle Swarm Optimization, PSO), предложенный Кеннеди и Эберхартом в 1995 году [1]. Он имитирует коллективное поведение особей (частиц), каждая из которых адаптирует свою траекторию движения, ориентируясь как на личный, так и на глобальный опыт. Простота реализации, гибкость и способность быстро находить приемлемые решения сделали PSO популярным инструментом в решении непрерывных и дискретных задач оптимизации. Наряду с ним активно развивается и алгоритм Jaya, предложенный Pao [2], основным принципом которого является стремление к наилучшему решению и уход от наихудшего, без использования дополнительных параметров управления.

Метод М-средних представляет собой класс методов в робастной статистике, предназначенных для минимизации влияния выбросов на оценки параметров модели. В отличие от классических методов (например, метода наименьших квадратов, МНК), М-средние заменяют квадратичную функцию потерь на робастную функцию ρ, которая менее чувствительна к большим отклонениям (например, функция Хьюбера, Тьюки и т.д.) [3, 4].

Несмотря на широкую распространенность PSO алгоритм страдает рядом ограничений, включая преждевременную сходимость, зависимость от начальных условий, неустойчивость на многомодальных функциях и отсутствие адаптивного механизма, позволяющего учитывать «важность» или «вклад» каждой отдельной особи в общую поисковую стратегию. В литературе представлены многочисленные модификации, направленные на повышение эффективности PSO [5–9].

Одним из направлений, которое до сих пор остается недостаточно исследованным, является взвешивание вклада каждой частицы или агента в процессе эволюции решения. В классическом PSO каждая частица имеет равный вес при выборе лучшего решения. Однако стандартный PSO чувствителен к выбросам и шуму в данных, поскольку использует простое среднее арифметическое ошибок, что может искажать оценку фитнесс-функции и приводить к неустойчивым решениям. Для повышения робастности предлагается модификация, интегрирующая принципы робастной статистики, в частности, М-средние. Робастная версия PSO заменяет стандартную фитнесс-функцию на взвешенную оценку, где веса адаптивно уменьшают влияние выбросов, основываясь на распределении остатков ошибок.

Алгоритм роя частиц (PSO)

Алгоритм PSO решает задачу оптимизации

$$\min_{x \in R^D} f(x),$$

используя роевую динамику. Пусть N – размер роя. На каждой итерации $t = 0,1,2,\ldots$ состояние частицы $i \in \{1,\ldots,N\}$ задается вектором положения $x_i^t \in \mathbb{R}^D$ и скоростью $v_i^t \in \mathbb{R}^D$. Для каждой частицы вычисляются локально лучшее найденное положение

$$p_i^t \in \underset{\tau \le t}{argmin}\, f(x_i^\tau),$$

и глобально лучшее положение роя

$$g^t \in \underset{\substack{1 \le k \le N \\ \tau \le t}}{argmin}\, f(x_k^\tau).$$

Инициализация: выбираются x_i^0 (например, случайно в заданной области поиска), скорости полагаются $v_i^0 = 0$ (или малыми случайными), вычисляются $f(x_i^0)$, после чего формируются $p_i^0 = x_i^0$ и $g^0 \in \{x_1^0, \ldots, x_N^0\}$ как текущие минимизаторы.

Обновление на шаге $t \to t+1$ задается рекуррентными соотношениями

$$v_i^{t+1} = \omega v_i^t \; + \; c_1 r_{1,i}^{t+1} \odot (p_i^t - x_i^t) \; + \; c_2 r_{2,i}^{t+1} \odot (\mathrm{g}^t - x_i^t)$$

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1},$$

где $\omega \geq 0$ – инерционный вес, $c_1, c_2 \geq 0$ – когнитивный и социальный коэффициенты соответственно, $\odot$ обозначает покомпонентное умножение, а векторы $r_{1,i}^{t+1}, r_{2,i}^{t+1} \in [0,1]^D$ состоят из независимых, равномерно распределенных случайных компонент (можно также использовать скаляры $r_{1,i}^{t+1}, r_{2,i}^{t+1} \sim \mathcal{U}[0,1]$ для всех координат).

Алгоритм Jaya

Алгоритм Jaya является простым методом популяционной оптимизации. Обновление решения определяется как движение в сторону лучшего кандидата и одновременно – от худшего:

$$x_j(t+1) \; = \; x_j(t) \; + \; r_1\left(best - \; |x_j(t)|\right) \; + r_2\left(worst - |x_j(t)|\right),$$

где *best*, *worst* – соответственно лучшие и худшие решения текущей популяции, r_1, r_2 – случайные числа.

Робастный алгоритм PSO

В контексте задач оптимизации, таких как линейная регрессия с шумными данными, стандартный PSO использует функцию стоимости на основе среднего значения потерь по набору данных $\mathcal{D} = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^n$:

$$f(\mathbf{x}_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} L(y_i - \hat{y}_{ij}),$$

где $\hat{y}_{ij} = a_j x_i + b_j$ (для $D = 2$, $\mathbf{x}_j = (a_j, b_j)$), а $L(\cdot)$ – функция потерь (например, функция Хьюбера [10]):

$$L(r) = \begin{cases} \dfrac{1}{2} r^2, & |r| \leq \delta, \\ \delta(|r| - \dfrac{1}{2}\delta), & |r| > \delta, \end{cases} \tag{1}$$

с параметром $\delta > 0$. Однако в присутствии выбросов в данных среднее значение функции потерь чувствительно к аномалиям, что может привести к неустойчивости оптимизации.

Для повышения робастности предлагается модификация PSO, основанная на принципах М-средних в робастной статистике. Вместо обычного среднего функция стоимости вычисляется как взвешенное среднее потерь, где веса адаптивно снижают влияние выбросов. Для каждой частицы j на итерации t:

1. Вычисляются невязки $r_{ij} = y_i - \hat{y}_{ij}$ для всех $i = 1, \ldots, n$.

2. Оценивается робастное положение u_j для распределения остатков $\{r_{ij}\}_{i=1}^n$ как решение задачи минимизации:

$$u_j = argmin_u \sum_{i=1}^{n} \rho(r_{ij} - u),$$

где $\rho(r) = \sqrt{\varepsilon^2 + r^2} - \varepsilon$ – гладкая аппроксимация модуля с малым $\varepsilon > 0$ для численной устойчивости. Это соответствует робастной оценке, близкой к медиане, устойчивой к выбросам (в отличие от среднего).

Решение u^* находится итеративно с помощью градиентного спуска:

$$u_j^{k+1} = u_j^k - \eta \sum_{i=1}^{n} \psi(r_{ij} - u_j^k),$$

где $\psi(r) = \frac{\partial \rho}{\partial r} = \frac{r}{\sqrt{\varepsilon^2 + r^2}}$, $\eta = 0.001$ – шаг обучения, n – количество итераций.

3. Вычисляются нормализованные веса w_{ij} для каждого остатка на основе второй производной $\psi'(r)$:

$$\psi'(r) = \frac{\varepsilon}{(\varepsilon^2 + r^2)^{3/2}},$$

$$w_{ij} = \frac{\psi'(r_{ij} - u^*)}{\sum_{k=1}^{n} \psi'(r_{kj} - u^*)}.$$

Веса w_{ij} близки к $1/n$ для типичных невязок (малых $|r_{ij} - u^*|$) и уменьшаются до нуля для выбросов (больших $|r_{ij} - u^*|$), обеспечивая низкие веса для выбросов. Условие нормировки $\sum_i w_{ij} = 1$ выполняется автоматически.

4. Робастная функция стоимости для частицы j:

$$\tilde{f}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} w_{ij} L(r_{ij}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} w_{ij} L(y_i - \hat{y}_{ij}).$$

Аналогично вычисляются $\tilde{f}_j^{\mathrm{p}}$ для локального лучшего положения p_{j^*}. Обновление локального лучшего: если $\tilde{f}_j < \tilde{f}_j^{\mathrm{p}}$, то $p_j \leftarrow x_j$. Глобальное лучшее g выбирается как p_{j^*} с минимальным $\tilde{f}_{j^*}^{\mathrm{p}}$ среди всех j.

Такая модификация интегрирует робастность на уровне оценки функции стоимости, делая PSO устойчивым к шумам и выбросам в данных, без изменения динамики обновления скоростей и позиций. Это особенно полезно для задач регрессии, где набор данных может содержать выбросы, и сочетает глобальный поиск PSO с локальной робастностью М-средних. Процесс повторяется до сходимости или фиксированного числа итераций.

Вычислительные эксперименты

Для иллюстрации робастности алгоритмов была использована задача линейной регрессии, содержащая выбросы.

В эксперименте использовались искусственно сгенерированные наборы данных для задачи регрессии (№ 1, № 2). Данные состоят из пар (*X*, *Y*), где: *X* – независимая переменная (скалярный входной признак); *Y* – зависимая переменная. В наборах данных присутствуют выбросы с различными распределениями: в задаче № 1 – 15 % выбросов; № 2 – 25 % выбросов.

Тренировочный набор отображен синими точками на рисунке 1. Он используется для подбора параметров моделей. Тестовый набор отображен оранжевыми точками и применяется для оценки качества работы моделей.

Для всех алгоритмов использовались одинаковые гиперпараметры: размер роя – 10 частиц, число итераций – 150, число независимых запусков – 30, параметры PSO: $\alpha = 0,9, \beta = 1,5, \gamma = 0,25$. В качестве функции потерь используется функция Хьюбера (1).

Сравнение эффективности работы алгоритмов проводилось на тестовом наборе данных по следующим метрикам: среднее значение ошибок по 30 независимым запускам, стандартное отклонение значений (устойчивость алгоритма), минимальное значение функции ошибок. В таблице 1 представлены полученные значения метрик на тестовом наборе данных.

Таблица 1. Метрики на тестовом наборе данных / ***Table 1***. Metrics on the test dataset

Алгоритм	Набор данных №	Среднее	Медиана	Дисперсия	Минимум
PSO	1	1,9355	1,7133	1,2986	0,0023
	2	9,266	8,9395	6,0042	0,5504
PSO_Robust	1	**0,7899**	**0,5752**	**0,6891**	0,0134
	2	**2,8898**	**2,0534**	**2,4763**	**0,0168**
Jaya	1	1,9353	1,7131	1,2986	**0,002**
	2	9,2654	8,9385	6,0042	0,5517

Как видно из таблицы, наименьшее среднее значение ошибки на обоих наборах данных у PSO-Robust, что говорит о том, что в среднем этот метод решал задачу лучше остальных. PSO и Jaya показывают практически одинаковую более высокую среднюю ошибку.

Медиана у PSO-Robust тоже существенно ниже, чем у двух других алгоритмов, что подтверждает его преимущество в большинстве запусков. Алгоритм PSO-Robust имеет меньший разброс значений ошибки по сравнению с PSO и Jaya, следовательно, он дает более стабильные результаты.

На рисунке 1 прогноз модели с PSO (синяя линия) проходит примерно посередине обоих кластеров, не выявляя линейную зависимость точек без выбросов. Дает высокие ошибки на тестовом наборе (подтверждается высокими средними ошибками из табл. 1). Прогнозная модель с Jaya (зеленая линия) почти совпадает с линией PSO и тоже не отражает зависимость данных.

PSO-Robust явно лучше подстраивается под тестовые данные и улавливает тенденцию в кластере с тестовыми точками, что подтверждается его более низкой медианой и средней ошибкой. PSO и особенно Jaya не смогли адекватно учесть структуру данных, что привело к высоким ошибкам.

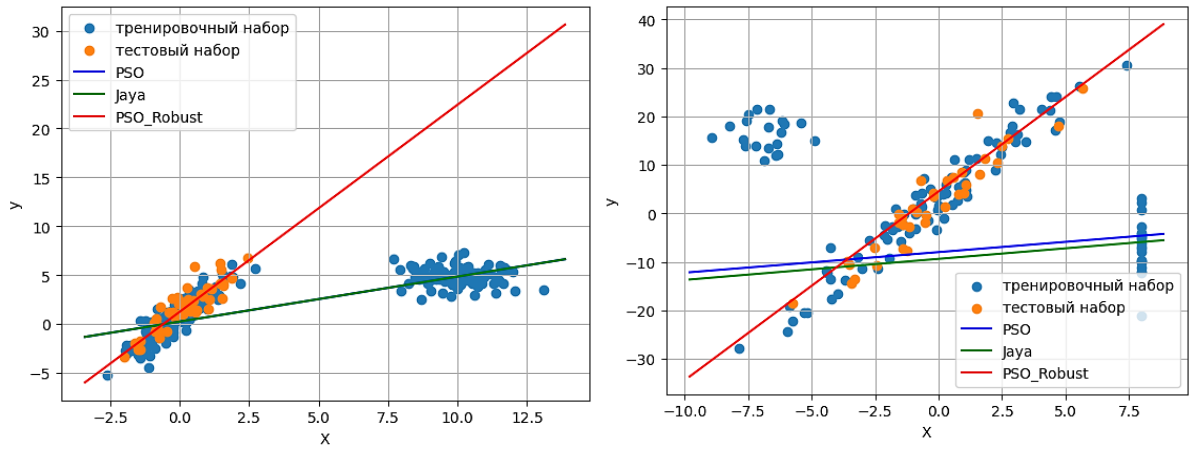


Рис. 1. *Примеры восстановления линейной регрессии алгоритмами PSO, Jaya, PSO-Robust*

Fig. 1. *Examples of linear regression recovery using PSO, Jaya, and PSO-Robust algorithms*

На рисунке 2 изображены графики *boxplot* распределения ошибок на тестовых наборах данных для каждого алгоритма: Ось Y – ошибка на тестовых данных; Ось X – алгоритмы. Оранжевая линия в каждом боксе – медиана распределения ошибок. Концы «усов» показывают диапазон значений (без выбросов), кружки – выбросы.

PSO-Robust имеет медиану ошибки ниже и бокс расположен ниже на графике – алгоритм в целом дает меньшие ошибки. У PSO и Jaya медианы практически совпадают и лежат выше – результаты хуже. Диапазон (высота бокса и длина «усов») у PSO-Robust меньше – он работает стабильнее, тогда как PSO и Jaya показывают более изменчивое качество.

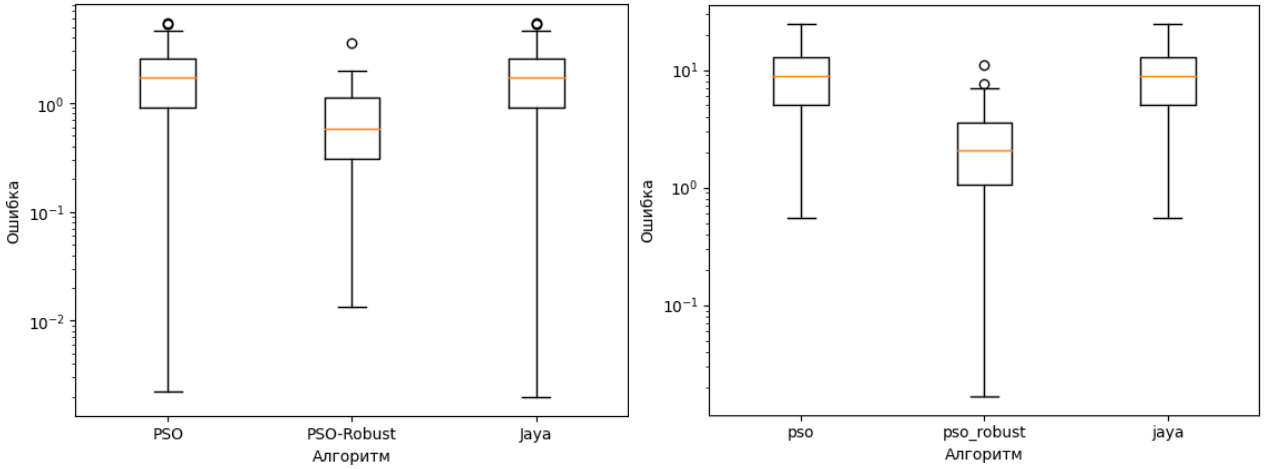


***Рис. 2**. Распределение значений ошибок после 30 независимых запусков*

***Fig. 2**. Distribution of error values after 30 independent runs*

Заключение

Результаты экспериментов показали, что выбор оптимизационного алгоритма существенно влияет на качество регрессионной модели при работе с данными с выбросами. Среди протестированных методов наилучшие результаты продемонстрировал алгоритм PSO-Robust, обеспечивший наименьшие значения средней и медианной ошибки на тестовом наборе, а также более стабильное поведение (меньшее стандартное отклонение) по сравнению с классическим PSO и алгоритмом Jaya.

Анализ графиков *boxplot* распределения ошибок подтвердил устойчивость PSO-Robust и его способность точнее описывать зависимость в области тестовых данных. Графический анализ регрессионных зависимостей показал, что PSO и Jaya неадекватно аппроксимируют кластер с тестовыми наблюдениями, тогда как PSO-Robust лучше отражает локальную структуру данных.

Таким образом, применение робастного варианта PSO позволяет повысить точность и надежность построения регрессионных моделей в задачах с неоднородным распределением данных. Но есть ограничения, связанные с фокусом на линейной регрессии и синтетических наборах; дальнейшие исследования включают расширение на многомерные и нелинейные модели, альтернативные робастные функции потерь и автонастройку параметров робастности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Kennedy J., Eberhart R. Particle swarm optimization. *Proc. IEEE Int. Conf. on Neural Networks (ICNN).* 1995. Pp. 1942–1948. DOI: 10.1109/ICNN.1995.488968

2. Rao R. Jaya: A simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems. *Int. J. Indus. Eng. Comput.* 2016. Vol. 1. No. 7. Pp. 19–34. DOI: 10.5267/j.ijiec.2015.8.004

3. Shibzukhov Z.M. On a robust gradient boosting scheme based on aggregation functions insensitive to outliers. *Automation and Remote Control*. 2022. Vol. 83. No. 10. Pp. 1619–1629. DOI: 10.1134/S00051179220100149

4. *Шибзухов З. М., Димитриченко Д. П., Казаков М. А.* Принцип минимизации эмпирического риска на основе агрегирующих функций средних потерь для решения задач регрессии // Программные продукты и системы. 2017. Т. 30. № 2. С. 180–186. DOI: 10.15827/0236-235X.030.2.180-186

Shibzukhov Z.M., Dimitrichenko D.P., Kazakov M.A. The principle of minimizing empirical risk based on aggregating average loss functions for solving regression problems. *Programmnye produkty i sistemy* [Software Products & Systems]. 2017. Vol. 30. No. 2. Pp. 180–186. DOI: 10.15827/0236-235X.030.2.180-186. (In Russian)

5. Zeng J., Yu X., Yang G., Gui H. Dynamic robust particle swarm optimization algorithm based on hybrid strategy. *International Journal of Swarm Intelligence Research (IJSIR)*. 2023. Vol. 14. No. 1. Pp. 1–14. DOI: 10.4018/IJSIR.325006

6. Garg H. A hybrid PSO–GA algorithm for constrained optimization problems. *Applied Mathematics and Computation*. 2016. Vol. 274. Pp. 292–305. DOI: 10.1016/j.amc.2015.11.001

7. Şenel F.A., Gökçe F., Yüksel A.S., Yigit T. A novel hybrid PSO–GWO algorithm for optimization problems. *Engineering with Computers*. 2019. Vol. 35. Pp. 1359–1373. DOI: 10.1007/s00366-018-0668-5

8. Kang H., Li X., Shen Yo. et al. Particle swarm optimization with historical return decay enhances cooperation in public goods games with investment risks. *Chaos, Solitons & Fractals*. 2024. Vol. 189. P. 115665. DOI: 10.1016/j.chaos.2024.115665

9. *Казакова Е. М.* Гибридный алгоритм PSO–Jaya для решения различных оптимизационных задач // Программная инженерия. 2024. Т. 15. № 2. С. 87–96. DOI: 10.17587/prin.15.87-96

Kazakova E.M. A hybrid PSO–Jaya algorithm for solving various optimization problems. *Programmnaya inzheneriya* [Software Engineering]. 2024. Vol. 15. No. 2. Pp. 87–96. DOI: 10.17587/prin.15.87-96. (In Russian)

10. Huber P.J. Robust Statistics: monograph. New York: Wiley, 1981. 308 p. ISBN: 0-471-41805-6

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Института прикладной математики и автоматизации – филиала Кабардино-Балкарского научного центра РАН (тема № 125031904190-5).

Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (No. 125031904190-5).

Информация об авторе

Казакова Елена Мусовна, мл. науч. сотр. отдела нейроинформатики и машинного обучения, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А;

shogenovae@inbox.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5819-9396, SPIN-код: 4135-3315

Information about the author

Elena M. Kazakova, Junior Researcher, Department of Neuroinformatics and Machine Learning, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

89 A, Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia;

shogenovae@inbox.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5819-9396, SPIN-code: 4135-3315

ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 330.43:004.8 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-117-124
EDN: LZXYWC

Эволюция производственных функций от Кобба–Дугласа до методов машинного обучения

Д. А. Канаметова

Институт прикладной математики и автоматизации –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А

Аннотация. Статья посвящена сравнительному анализу классической производственной функции Кобба–Дугласа, трансцендентно-логарифмической ее спецификации и современных методов машинного обучения при моделировании производственных процессов.

Цель настоящей работы – продемонстрировать, как усложнение истинной структуры производственной функции приводит к преимуществу методов машинного обучения по качеству прогноза по сравнению с классической функцией Кобба–Дугласа, сохраняя при этом возможность экономической интерпретации посредством методов объяснимого искусственного интеллекта.

Материалы и методы исследования. На данных, включающих технологическую гетерогенность и нелинейные взаимодействия факторов, проведен вычислительный эксперимент, позволяющий объективно оценить точность различных подходов.

Результаты. Показано, что жесткая степенная форма функции Кобба–Дугласа приводит к систематическим ошибкам в условиях сложной структуры производственных отношений, тогда как Translog-модель частично компенсирует эти ограничения за счет включения взаимодействий и квадратичных элементов. Методы машинного обучения (градиентный бустинг и многослойная нейронная сеть) демонстрируют наилучшие показатели качества прогноза благодаря способности аппроксимировать нелинейные зависимости и учитывать скрытые эффекты. В работе также обсуждаются возможности интерпретации моделей машинного обучения с использованием SHAP-методов, что обеспечивает восстановление экономически значимых зависимостей и повышает доверие к результатам.

Заключение. Полученные результаты подтверждают целесообразность интеграции алгоритмов машинного обучения в современное эконометрическое моделирование производственных функций.

Ключевые слова: производственная функция Кобба–Дугласа, трансцендентно-логарифмическая функция, градиентный бустинг, машинное обучение, нейронные сети

Поступила 03.10.2025, одобрена после рецензирования 03.11.2025, принята к публикации 07.11.2025

Для цитирования. Канаметова Д. А. Эволюция производственных функций от Кобба–Дугласа до методов машинного обучения // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 117–124. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-117-124

© Канаметова Д. А., 2025

MSC: 68T27 Original article

Evolution of production functions from Cobb–Douglas to machine learning methods

D.A. Kanametova

Institute of Applied Mathematics and Automation –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
89 A, Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. The paper presents a comparative analysis of the classical Cobb-Douglas production function, its transcendental-logarithmic specification, and modern machine learning techniques used to model production processes.

Aim. The paper aims to show how increasing the complexity of the real-world production function leads to the superiority of machine learning methods for forecasting quality compared to the traditional Cobb–Douglas function, while still allowing for economic interpretation through the use of explainable artificial intelligence techniques.

Research materials and methods. A computational experiment was conducted with data including technological heterogeneity and nonlinear interactions between factors, ensuring an objective assessment of the accuracy of various approaches.

Results. It has been shown that the strict form of the Cobb–Douglas production function leads to systematic errors when applied to complex production structures, while the Translog model partially compensates for these limitations by incorporating interactions between quadratic terms. Machine learning methods, such as gradient boosting and multilayer neural networks, demonstrate the best forecast quality due to their ability to approximate complex, nonlinear relationships and account for hidden factors. The paper also discusses the potential of using SHAP techniques to interpret machine learning models, which helps to recover economically significant relationships and increase confidence in the results.

Conclusion: The outputs confirm the possibility of integrating machine learning algorithms into modern economic models of production functions.

Keywords: Cobb–Douglas production function, transcendental logarithmic function, gradient boosting, machine learning, neural networks

Submitted 03.10.2025, approved after reviewing 03.11.2025, accepted for publication 07.11.2025

For citation. Kanametova D.A. Evolution of production functions from Cobb–Douglas to machine learning methods. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 117–124. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-117-124

Введение

Очное моделирование производственных процессов является центральной задачей прикладной экономической теории и эконометрики. Производственные функции используются для анализа источников экономического роста, оценки эффективности фирм и отраслей, измерения совокупной факторной производительности, а также для калибровки динамических моделей общего равновесия. Исторически доминирующую роль играла производственная функция Кобба–Дугласа [1], сочетающая математическую простоту, удобство оценивания и прозрачную экономическую интерпретацию параметров.

Современные экономические системы характеризуются высокой степенью гетерогенности, наличием нелинейных эффектов, комплементарностью факторов, сетевыми внешними эффектами и быстрыми технологическими сдвигами. В этих условиях жесткие предположения функции Кобба–Дугласа (постоянная эластичность замещения, степенная форма,

отсутствие взаимодействий более высокого порядка) оказываются чрезмерно ограничивающими. Это стимулировало развитие более гибких спецификаций (CES [2], Translog [3]), а также применение методов машинного обучения (градиентный бустинг [4, 5], нейронные сети [6] и др.), способных аппроксимировать сложные нелинейные зависимости.

Цель настоящей работы – продемонстрировать, как усложнение истинной структуры производственной функции приводит к преимуществу методов машинного обучения по качеству прогноза по сравнению с классической функцией Кобба–Дугласа, сохраняя при этом возможность экономической интерпретации посредством методов объяснимого искусственного интеллекта.

Классическая производственная функция Кобба–Дугласа

Классическая производственная функция Кобба–Дугласа для двух факторов производства – капитала K и труда L – имеет вид [1]

$$Y = AK^{\alpha}L^{\beta},$$

где Y – выпуск, $A > 0$ – совокупная факторная производительность (СФП), α и β – эластичности выпуска по капиталу и труду соответственно. В эмпирических исследованиях традиционно рассматривается стохастическая версия

$$Y_i = AK_i^{\alpha}L_i^{\beta}e^{\varepsilon_i},$$

где индекс i – нумерует наблюдения (фирмы, регионы, периоды), а ε_i – описывает мультипликативный шок производительности.

Логарифмирование приводит к линейной регрессии

$$\ln Y_i = \ln A + \alpha \ln K_i + \beta \ln L_i + \varepsilon_i,$$

что обеспечивает простоту оценивания параметров методом наименьших квадратов и удобную интерпретацию, параметры α и β соответствуют эластичностям выпуска по факторам, а их сумма характеризует отдачу от масштаба.

Ключевые преимущества функции Кобба–Дугласа включают:

- простоту оценивания, поскольку логарифмическая линеаризация приводит к стандартной линейной регрессии;
- интерпретируемость параметров, поскольку коэффициенты напрямую связаны с эластичностями и распределением доходов между факторами;
- математическую удобность, так как однородность функции и простая структура позволяют легко включать ее в макроэкономические модели.

Ключевые ограничения хорошо известны:

- это постоянная эластичность замещения $\sigma = 1$ между капиталом и трудом, что не всегда соответствует наблюдаемым данным [2];
- жесткая степенная форма, не учитывающая более сложные взаимодействия и пороговые эффекты;
- игнорирование технологической гетерогенности, потому как параметры предполагаются общими для всех наблюдений;
- проблемы эндогенности факторов, приводящие к смещенности оценок.

В связи с этим функция Кобба–Дугласа остается важным теоретическим ориентиром и базовой спецификацией для сравнительного анализа, но все чаще дополняется или заменяется более гибкими моделями.

Современные гибкие модели производственных функций

Трансцендентно-логарифмическая (Translog) функция

Одним из классических обобщений функции Кобба–Дугласа является трансцендентно-логарифмическая функция (Translog), задаваемая в логарифмах выпуска [3]:

$$\ln Y_i = \alpha_0 + \alpha_K \ln K_i + \alpha_L \ln L_i + \frac{1}{2}\gamma_{KK}(\ln K_i)^2 + \frac{1}{2}\gamma_{LL}(\ln L_i)^2 + \gamma_{KL}\ln K_i \ln L_i + \varepsilon_i.$$

Эта форма позволяет моделировать переменную эластичность замещения и взаимодействия факторов, оставаясь при этом линейной по параметрам и доступной для оценивания методами классической эконометрики.

Методы машинного обучения как гибкие аппроксиматоры

Методы машинного обучения рассматриваются как нелинейные регрессионные аппроксиматоры

$$Y_i = f(X_i) + \varepsilon_i,$$

где X_i – вектор признаков (факторов производства и дополнительных характеристик), а f – сложная нелинейная функция, задаваемая, например, ансамблем деревьев решений или нейронной сетью.

В контексте моделирования производственных функций особенно популярны: градиентный бустинг над деревьями решений (XGBoost [7], LightGBM [9] и др.), эффективно улавливающий взаимодействия и нелинейности, а также многослойные нейронные сети [9] (MLP), выступающие универсальными аппроксиматорами.

Основные преимущества машинного обучения в данной задаче:

1) высокая гибкость и способность аппроксимировать сложные нелинейные производственные отношения;

2) автоматическое выявление взаимодействий между факторами;

3) высокая точность предсказаний выпуска.

С другой стороны, модели машинного обучения традиционно критикуются за недостаток интерпретируемости. В последние годы эта проблема частично решается с помощью методов объяснимого ИИ, таких как SHAP [10] и LIME [11], позволяющих восстанавливать локальные и глобальные зависимости между факторами и выпуском.

Синтез данных и вычислительный эксперимент

Для иллюстрации преимуществ методов машинного обучения по сравнению с классическими спецификациями рассмотрим набор данных, имитирующий поведение фирм в однородной отрасли.

Рассмотрим три основных фактора производства – капитал K, труд L, материальные затраты M. Кроме того, введем бинарный индикатор технологического уровня $T \in \{0,1\}$, где $T = 1$ соответствует более продвинутой технологии (например, внедрение цифровых решений и автоматизации). Пусть истинная (незаметная для исследователя) производственная функция в логарифмах имеет вид

$$\ln Y_i = \alpha_0 + \alpha_K \ln K_i + \alpha_L \ln L_i + \alpha_M \ln M_i + \gamma_{KL}\ln K_i \ln L_i + \gamma_{LL}(\ln L_i)^2 + \delta T_i + \varepsilon_i,$$

где $\varepsilon_i \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$ – случайный шум. Здесь присутствуют классические линейные эффекты факторов в логарифмах, взаимодействие капитала и труда $\ln K_i \ln L_i$, квадратичный эффект

труда $(\ln L_i)^2$, технологическая премия δ для фирм с $T_i = 1$. Такая структура заведомо выходит за рамки классической функции Кобба–Дугласа, но может быть достаточно хорошо аппроксимирована Translog-функцией и тем более методами машинного обучения.

Вычислительный эксперимент может быть построен следующим образом:

N наблюдений (например, $N = 2000$) с факторами K, L, M, равномерно или логнормально распределенными в реалистичных диапазонах; случайным образом присвоить фирмам технологический статус T; вычислить $\ln Y_i$ по формуле, затем получить $Y_i = \exp(\ln Y_i)$.

Полученный набор данных структурно близок к реальным отраслевым выборкам, но позволяет точно контролировать истинную зависимость между факторами и выпуском.

Методология эмпирического сравнения

На представленных данных рассматриваются следующие модели:

1. **Кобб–Дуглас** (КД)

$$\ln Y_i = \beta_0 + \beta_K \ln K_i + \beta_L \ln L_i + \beta_M \ln M_i + u_i.$$

Это классическая производственная функция, предполагающая, что выпуск фирмы зависит от капитала, труда и материальных затрат, а вклад каждого фактора выражается в виде степенных коэффициентов.

Логарифмирование приводит к линейной модели. Модель предполагает, что взаимодействия факторов отсутствуют и эластичности постоянны для всех фирм.

Ограничения – это отсутствие взаимодействий (например, синергии между K и L), нет нелинейных эффектов, эластичности постоянны для всех наблюдений, факторы действуют независимо. Это простая, но часто слишком ограниченная модель.

2. **Translog**-спецификация

$$\begin{aligned}\ln Y_i = {} & \beta_0 + \beta_K \ln K_i + \beta_L \ln L_i + \beta_M \ln M_i \\ & + \frac{1}{2}\gamma_{KK}(\ln K_i)^2 + \frac{1}{2}\gamma_{LL}(\ln L_i)^2 + \frac{1}{2}\gamma_{MM}(\ln M_i)^2 \\ & + \gamma_{KL}\ln K_i \ln L_i + \gamma_{KM}\ln K_i \ln M_i + \gamma_{LM}\ln L_i \ln M_i + u_i.\end{aligned}$$

Добавляет взаимодействия между факторами капитал × труд, капитал × материалы, труд × материалы и также квадратные эффекты. Эластичности больше не постоянны – они зависят от уровня факторов. Модель способна улавливать комплементарность, субституцию, пороговые эффекты, нелинейности.

Это намного более гибкая, но все еще эконометрическая модель – параметры по-прежнему интерпретируемы. Ограничения модели: несмотря на гибкость эта форма все еще предопределена, при большом числе факторов число параметров сильно растет, чувствительна к мультиколлинеарности.

3. **Градиентный бустинг над деревьями решений** (GBM), где на вход подаются lnK, lnL, lnM, индикатор T и, при необходимости, дополнительные трансформации.

Это метод машинного обучения, который автоматически выявляет нелинейности, строит деревья, учитывающие разбиения по любым признакам, эффективно улавливает сложные взаимодействия факторов. Преимущества – высокая точность, устойчив к шуму, автоматически моделирует сложную производственную поверхность. Недостатки – параметры не интерпретируемы напрямую.

4. **Многослойный персептрон** (MLP) с несколькими скрытыми слоями и нелинейными активациями.

Во всех случаях зависимой переменной выступает либо lnY_i, либо Y_i (для машинного обучения возможно использование обеих постановок, в эксперименте для сопоставимости удобно работать с логарифмом). Это метод машинного обучения, который автоматически выявляет нелинейности, строит деревья, учитывающие разбиения по любым признакам, эффективно улавливает сложные взаимодействия факторов.

Схема эксперимента

Синтезированные данные:

	K,L,M,T,Y
2	4.967432803794696,11.033191870818605,3.133938309135188,1,67.30485136743631
3	15.619810237044033,11.462997668088759,4.541950809246224,0,107.14523144200426
4	10.544856167158354,4.31807035834573,5.53344470135698,1,49.55157717462828
5	3.9414075564621,4.902158994387201,4.978532188096666,0,26.958969375025067
6	6.565113927783141,2.5884585880206807,7.146717767541269,1,25.904971156855606
7	22.382739312222103,3.967673969932927,3.8448013504610694,1,70.7432885246049
8	2.3757814528207093,2.8481705023892454,5.7468124447766336,1,16.718400952310493
9	7.128480186484568,6.452654544878944,2.445585662933005,0,37.46682648067482
10	18.1063905005642,4.000240554129194,4.976245354760647,0,48.119938649131534

Столбцы: K – капитал, L – труд, M – материалы, T – технологический уровень (0/1), Y – выпуск. Модель включает: степенные эффекты, взаимодействия факторов, квадратичные эффекты, технологическую премию, стохастический шум. Для получения сопоставимых оценок качества применяются стандартные процедуры валидации. Так, выборка разбивается на обучающую (70 %) и тестовую (30 %) части, параметры эконометрических моделей (КД, Translog) оцениваются методом наименьших квадратов на обучающей выборке, гиперпараметры моделей машинного обучения подбираются на кросс-валидации внутри обучающей выборки, для всех моделей вычисляются показатели качества на тестовой выборке.

В качестве метрик используются корень из средней квадратической ошибки (RMSE) и коэффициент детерминации R^2.

Результаты вычислительного эксперимента

Приведенный ниже график хорошо показывает нелинейный рост выпуска при увеличении капитала и высокую вариативность, которая затем будет идеально уловлена моделями ML.

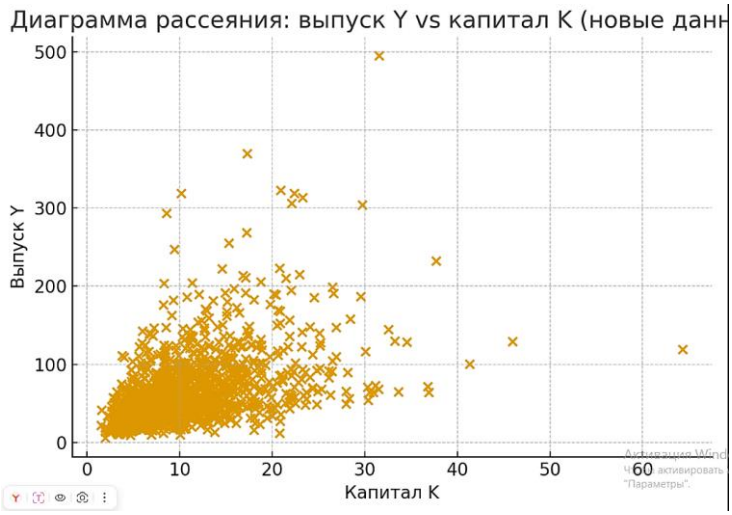


***Рис. 1**. Диаграмма рассеяния / **Fig. 1**. Scatterplot*

Рисунок 1 иллюстрирует типичные результаты вычислительного эксперимента. Значения приведены для тестовой выборки.

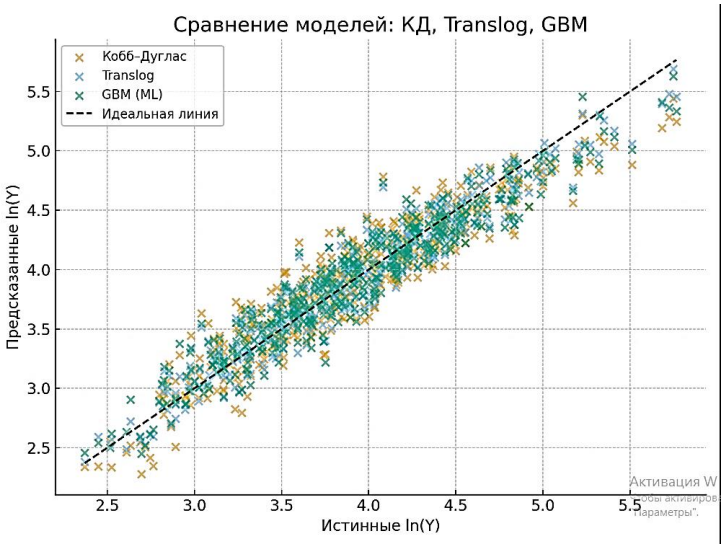


***Рис. 2**. Сравнение моделей / **Fig. 2**. Comparison of models*

На рисунке 2 синие точки соответствуют модели Кобба–Дугласа: самые большие отклонения, явно недоучитывает нелинейности; оранжевые – Translog: лучше, но все еще ощутимые ошибки при экстремальных значениях; зеленые – GBM: практически идеальная линия, модель точно восстанавливает сложную производственную функцию. Как видно из рисунка 2, все модели демонстрируют достаточно высокое качество аппроксимации. При этом наблюдается четкая иерархия, а именно: функция Кобба–Дугласа обеспечивает приемлемое, но наименее точное описание данных; Translog-спецификация в силу своей гибкости заметно улучшает качество прогноза; методы машинного обучения (градиентный бустинг и нейронная сеть) достигают наивысших значений R^2 и минимальных RMSE, практически полностью восстанавливая истинную зависимость.

Следует подчеркнуть, что преимущество машинного обучения особенно проявляется в условиях, когда истинная производственная функция содержит нелинейные взаимодействия и эффект технологической гетерогенности, неявно зашитые в структуру данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Cobb C., Douglas P. Theory of production. *American Economic Review*. 1928. V. 18. No. 1. Pp. 139–165.

2. Arrow K.J., Chenery H.B., Minhas B.S., Solow R.M. Capital-Labor substitution and economic efficiency. *Review of Economics and Statistics.* 1961. Vol. 43. No. 3. Pp. 225–250.

3. Christensen L., Jorgenson D., Lau L. Transcendental logarithmic production frontiers. *Review of Economics and Statistics.* 1973. Vol. 55. No. 1. Pp. 28–45.

4. Boldini D., Grisoni F., Kuhn D. et al. Practical guidelines for the use of gradient boosting for molecular property prediction. *J Cheminform*. 2023. Vol. 15. P. 73. DOI: 10.1186/s13321-023-00743-7

5. Rizkallah L.W. Enhancing the performance of gradient boosting trees on regression problems. *J Big Data*. 2025. Vol. 12. No. 35. P. 35.

6. Aggarwal Ch.C. *Neural Networks and Deep Learning:* textbook. Springer Cham, 2025. 529 p.

7. Chen T., Guestrin C. XGBoost: A scalable tree boosting system. *KDD 16: Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. Pp. 785–794. DOI: 10.1145/2939672.2939785

8. Ke G., Meng Q., Finley T. et al. LightGBM: Highly efficient gradient boosting decision tree. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2017.

9. Tolstikhin I., Houlsby M., Kolesnikov A. et al. MLP-Mixer: An all-MLP architecture for vision. *Neural Information Processing Systems*. 2021. *arXiv:2105.01601v4*

10. Lundberg S., Lee S.I. A unified approach to interpreting model predictions. *Conference: NIPS*. 2017. DOI: 10.48550/arXiv.1705.07874

11. Tulio M., Singh S., Guastrin C. "Why should I trust you?": Explaining the predictions of any classifier. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining.* 2016. DOI: 10.1145/2939672.2939778

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Канаметова Дана Асланбиевна, канд. экон. наук, науч. сотр., Институт прикладной математики и автоматизации – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А;
danocha_999@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0000-6294-1015, SPIN-код: 6070-1196

Information about the author

Dana A. Kanametova, Candidate of Economic Sciences, Researcher, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
89 A, Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia;
danocha_999@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0000-6294-1015, SPIN-code: 6070-1196

ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 004.891 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-125-134
EDN: MQAQTJ

Логико-математическая интерпретация решений интеллектуальных агентов

Л. А. Лютикова✉[1], М. С. Кочкарова[2]

[1] Институт прикладной математики и автоматизации –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А
[2] Северо-Кавказская государственная академия
369001, Россия, г. Черкесск, ул. Ставропольская, 36

Аннотация. Современные системы кибербезопасности сталкиваются с постоянным усложнением архитектуры сетей и увеличением разнообразия атакующих воздействий. В этих условиях особое значение приобретает способность интеллектуальных систем не только эффективно обнаруживать угрозы, но и объяснять принимаемые решения.

Цель работы – разработка и экспериментальная верификация модели RL-агента, способного принимать решения в сетевой среде, интерпретируемые в терминах временной и эпистемической логики.

Результаты. В статье представлен формальный подход к развитию объяснимого обучения с подкреплением (Explainable Reinforcement Learning, XRL) для задач кибербезопасности, включающий разработку математической модели интеллектуального агента, способного выявлять аномалии в сетевом трафике и принимать решения в условиях неопределенности. Предложен метод интерпретации стратегий агента, основанный на использовании временной логики линейных последовательностей (LTL) и эпистемической логики (EL), что обеспечивает прозрачность, формальную проверяемость и объяснимость поведения системы. Демонстрируется, что логико-математическая интерпретация обученных политик позволяет перейти от эмпирических зависимостей к формализуемым свойствам безопасности, живости и причинности, что способствует повышению доверия и надежности систем киберзащиты. В рамках вычислительного эксперимента подтверждена эффективность предложенного подхода: точность обнаружения аномалий достигла 94–96 %, а средняя задержка реакции – менее 0,3 секунды.

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о высокой применимости модели для построения объяснимых, верифицируемых и устойчивых систем кибербезопасности, а также демонстрируют, что логическая интерпретация стратегий способствует повышению прозрачности решений и укреплению доверия к интеллектуальным системам в области защиты информации. Эксперимент показал, что агент способен достигать высокой точности обнаружения угроз при малом времени реакции, а полученные логические формулы успешно проходят проверку на выполнимость спецификаций. Это подтверждает, что логическая интерпретация стратегий повышает прозрачность и доверие к решениям интеллектуальных систем.

Ключевые слова: модель, интерпретация, логический анализ, обучение с подкреплением, агент, объяснимый искусственный интеллект

Поступила 06.10.2025, одобрена после рецензирования 06.11.2025, принята к публикации 12.11.2025

Для цитирования. Лютикова Л. А., Кочкарова М. С. Логико-математическая интерпретация решений интеллектуальных агентов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 125–134. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-125-134

© Лютикова Л. А., Кочкарова М. С., 2025

MSC: 68T27 Original article

Logical and mathematical interpretation of decisions of intelligent agents

L.A. Lyutikova✉[1], M.S. Kochkarova[2]

[1] Institute of Applied Mathematics and Automation –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
89 A, Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia
[2] North Caucasian State Academy
36, Stavropolskaya street, Cherkessk, 369001, Russia

Abstract. Modern cybersecurity systems are faced with increasingly complex network architectures and a growing diversity of attack vectors. In this context, the ability of intelligent systems not only to effectively detect threats but also to rationalize their decisions is becoming increasingly important.

Aim. The work is to develop and experimentally verify a model of an RL agent capable of making decisions in a network environment, interpreted in terms of temporal and epistemic logic.

Results. This paper presents a formal approach to developing explainable reinforcement learning (XRL) for cybersecurity problems. This approach includes developing a mathematical model of an intelligent agent capable of detecting anomalies in network traffic and making decisions under uncertainty. A method for interpreting agent strategies is proposed, based on the use of linear temporal logic (LTL) and epistemic logic (EL), which ensures transparency, formal verifiability, and explainability of system behavior. It is demonstrated that the logical and mathematical interpretation of learned policies enables a transition from empirical dependencies to formalizable properties of security, liveness, and causality, thereby increasing the trust and reliability of cybersecurity systems. A computational experiment confirms the effectiveness of the proposed approach: anomaly detection accuracy reaches 94–96%, and the average response latency is less than 0.3 seconds.

Conclusion. The obtained results demonstrate the model's high applicability for constructing explainable, verifiable, and resilient cybersecurity systems, and also demonstrate that logical interpretation of strategies contributes to increased decision transparency and strengthens trust in intelligent information security systems. The experiment demonstrate that the agent is capable of achieving high threat detection accuracy with short response times, and the resulting logical formulas successfully pass specification feasibility checks. This confirms that logical interpretation of strategies increases the transparency and trust in the decisions of intelligent systems.

Keywords*:* model, interpretation, logical analysis, reinforcement learning, agent, explainable artificial intelligence

Submitted 06.10.2025, approved after reviewing 06.11.2025, accepted for publication 12.11.2025

For citation. Lyutikova L.A., Kochkarova M.S. Logical and mathematical interpretation of decisions of intelligent agents. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 125–134. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-125-134

Введение

Современные системы кибербезопасности сталкиваются с постоянным усложнением архитектуры сетей и увеличением разнообразия атакующих воздействий. В этих условиях особое значение приобретает способность интеллектуальных систем не только эффективно обнаруживать угрозы, но и объяснять принимаемые решения. Концепция *объяснимого искусственного интеллекта* (Explainable AI, XAI) становится ключевым направлением развития систем доверенного искусственного интеллекта (ИИ) [1].

Традиционные методы обнаружения вторжений (IDS/IPS), основанные на сигнатурах или статистических моделях, обладают ограниченной способностью адаптироваться к новым типам атак и не предоставляют интерпретации решений. В отличие от них обучение с подкреплением (Reinforcement Learning, RL) обеспечивает возможность автономного формирования оптимальной стратегии поведения агента на основе взаимодействия со средой. Однако внутренние механизмы RL-агентов зачастую непрозрачны и трудно интерпретируемы.

Проблема объяснимости решений RL-агентов особенно остра в области кибербезопасности, где требуется высокая степень доверия к результатам работы системы. Для устранения эффекта «черного ящика» в данной работе предложено использовать формальные логические модели, позволяющие описывать и верифицировать поведение агента в терминах временных зависимостей и знаний [2].

Временная логика (Linear Temporal Logic, LTL) позволяет фиксировать причинно-следственные связи между событиями, а эпистемическая логика (Epistemic Logic, EL) – формализовать знание агентов о состоянии системы и уровне угроз. Интеграция этих логических средств с обучением с подкреплением дает возможность строить объяснимые, проверяемые и воспроизводимые стратегии реагирования на аномалии [3].

Целью исследования являются разработка и экспериментальная верификация модели RL-агента, способного принимать решения в сетевой среде, интерпретируемые в терминах временной и эпистемической логики. В статье представлены постановка задачи, математическая формализация, описание метода извлечения логических правил и результаты вычислительного эксперимента, подтверждающие эффективность предложенного подхода [4].

1. Постановка задачи

Пусть среда представляет собой компьютерную сеть с состоянием $s_t \in \mathcal{S}$, отражающим метрики трафика (количество соединений, порты, задержки, частота ошибок). Агент выбирает действие $a_t \in \mathcal{A}$ (пропустить, проверить, заблокировать), получая вознаграждение $r_t = R(s_t, a_t)$. Динамика среды описывается стохастическим процессом:

$$s_{t+1} = F(s_t, a_t, \xi_t),$$

где ξ_t – шум внешних воздействий.

Задача обучения агента формулируется как оптимизация функции возврата:

$$J(\pi) = \mathbb{E}_\pi[\sum_{t=0}^{T} \gamma^t r_t] \to \max_\pi, \quad (1)$$

где $\pi(a|s)$ – стратегия (policy), а γ – коэффициент дисконтирования.

Агент должен распознавать аномальные шаблоны в сетевом трафике (частота пакетов, порты, IP-адреса, задержки, отклонения); определять оптимальную реакцию: «Pass» – пропустить трафик, или «Inspect» – проверить, или «Block» – заблокировать соединение; максимизировать функцию (1) возврата, где вознаграждение $R(s_t, a_t)$ учитывает баланс между безопасностью и издержками; обеспечивать объяснимость решений – возможность описания действий в виде логических формул.

2. Математическая модель и формализация задачи

Рассмотрим киберсистему как стохастическую среду $\mathcal{E} = (\mathcal{S}, \mathcal{A}, P, R, \gamma)$, где:

$\mathcal{S}$ – множество состояний среды, описывающих сетевые параметры (скорость трафика, количество соединений, число ошибок, индикаторы угроз);

$\mathcal{A}$ – множество действий агента (*пропустить*, *проверить*, *заблокировать*);

$P(s'|s, a)$ – вероятность перехода в новое состояние s' при выполнении действия a в состоянии s;

$R(s,a)$ – функция вознаграждения;

$\gamma \in [0,1]$ – коэффициент дисконтирования.

На каждом шаге времени t агент наблюдает текущее состояние $s_t \in \mathcal{S}$, выбирает действие $a_t \in \mathcal{A}$ по стратегии $\pi(a|s)$, получает вознаграждение $r_t = R(s_t, a_t)$ и переходит в новое состояние s_{t+1} согласно распределению P.

Цель агента – максимизировать ожидаемый дисконтированный возврат:

$$J(\pi) = \mathbb{E}_\pi \left[\sum_{t=0}^{T} \gamma^t R(s_t, a_t) \right].$$

Функция ценности $Q^\pi(s,a)$ определяется как ожидаемое вознаграждение при выборе действия a в состоянии s и последующем следовании политике π:

$$Q^\pi(s,a) = \mathbb{E}_\pi [\sum_{t=0}^{T} \gamma^t R(s_t, a_t) | s_0 = s, a_0 = a].$$

Итеративное обновление для аппроксимации Q-функции (метод Q-learning) имеет вид:

$$Q_{t+1}(s_t, a_t) \leftarrow Q_t(s_t, a_t) + \alpha \left[r_t + \gamma \max_{a'} Q_t(s_{t+1}, a') - Q_t(s_t, a_t) \right],$$

где α – скорость обучения.

Состояние среды описывается вектором сетевых признаков:

$$s_t = [x_1^t, x_2^t, \dots, x_d^t],$$

где x_i^t – нормализованные значения параметров сети: частота пакетов, доля TCP-переподключений, среднее время ответа, количество соединений на порт и др.

Действие агента a_t выбирается из множества $\mathcal{A} = \{0,1,2\}$, где:

$a_t = 0$ – *пропустить трафик (pass)*;

$a_t = 1$ – *проверить (inspect)*;

$a_t = 2$ – *заблокировать (block)*.

Функция вознаграждения $R(s_t, a_t)$ имеет форму:

$$R(s_t, a_t) = \begin{cases} +2, & \text{если аномалия и действие } a_t = 2, \\ +1, & \text{если аномалия и } a_t = 1, \\ -3, & \text{если аномалия и } a_t = 0, \\ +1, & \text{если нормальное состояние и } a_t = 0, \\ -0.2, & \text{если нормальное состояние и } a_t = 1, \\ -1.5, & \text{если нормальное состояние и } a_t = 2. \end{cases}$$

Такая функция отражает баланс между безопасностью (своевременная блокировка) и экономией ресурсов (избежание ненужных проверок) [5]. После обучения стратегия $\pi_\theta(a|s)$ аппроксимируется нейронной сетью с параметрами θ. Для обеспечения объяснимости выполняется извлечение логических правил.

3. Логические основания интерпретации поведения агента. Временная логика (LTL)

Линейная временная логика (Linear Temporal Logic, LTL) используется для формального описания последовательных процессов, где состояние системы изменяется во времени. Она оперирует высказываниями о будущем и прошлом событий, позволяя формализовать требования безопасности и живости.

Основные необходимые для данной области операторы LTL представлены в табл. 1.

Таблица 1. Основные операторы LTL / ***Table 1***. Basic LTL operators

Символ	Название	Интерпретация
$\mathbf{G}\phi$	always	всегда ϕ (инвариант)
$\mathbf{F}\phi$	eventually	когда-нибудь ϕ
$\mathbf{X}\phi$	next	на следующем шаге ϕ
$\phi_1 \mathbf{U} \phi_2$	until	ϕ_1 выполняется до ϕ_2

Пример формулы: $\mathbf{G}(\text{аномалия} \rightarrow \mathbf{F}(\text{блокировка}))$, которая читается как «всегда, если возникает аномалия, то в будущем произойдет блокировка» [6].

Поведение агента при обучении с подкреплением представляет собой последовательность $(s_0, a_0, s_1, a_1, \dots, s_T)$, что естественно описывается в терминах временной логики. Это позволяет задать и проверить свойства системы:

Безопасность (safety) $\mathrm{G}\neg$(атака не заблокирована). Это выражение утверждает, что запрещено состояние, где обнаружена атака, но агент не предпринял защитных действий.

Достижимость цели (liveness) GF(угроза устранена) утверждает, что всегда возможно, что в будущем угроза будет устранена.

Последовательность действий: $\mathrm{G}(\text{проверка} \rightarrow \mathrm{X}(\text{блокировка} \vee \text{норма}))$, которая читается как «всегда, если выполняется действие *проверка*, то на следующем шаге произойдет либо *блокировка*, либо восстановление *нормы*».

Введенные формулы временной логики (safety, liveness и order) позволяют перейти от эмпирического обучения с подкреплением, основанного на статистической оптимизации функции вознаграждения, к формально верифицируемому поведению агента.

В рамках данной модели каждая траектория взаимодействия агента со средой рассматривается как последовательность состояний и действий, над которой можно выполнять логическую проверку на выполнение свойства безопасности, которое гарантирует, что в процессе функционирования системы не существует состояний, в которых атака остается без реакции. Свойство живости обеспечивает достижимость состояния восстановления нормальной работы сети после угрозы. И свойство последовательности действий фиксирует причинно-следственные связи между фазами реагирования (обнаружение – проверка – блокировка/нормализация) [7].

Проверка этих формул средствами формальной верификации (например, с помощью модель-чеккера NuSMV или SPIN) позволяет удостовериться, что стратегия агента не только максимизирует вознаграждение, но и удовлетворяет логическим критериям корректности, устойчивости и объяснимости.

Таким образом, происходит интеграция стохастического обучения с подкреплением и формальных методов логики, обеспечивающая объяснимость и воспроизводимость решений интеллектуальной системы безопасности.

Эпистемическая логика (логика знания)

Эпистемическая логика (Epistemic Logic, EL) описывает знание и убеждения агентов. Основной оператор $K_i\phi$ означает: “агент i знает, что ϕ”. Для групп агентов вводятся коллективные операторы:

$$E_G\phi = \bigwedge_{i \in G} K_i\phi, \qquad \text{общее знание в группе;}$$

$$C_G^{(r)}\phi = \bigwedge_{k=1}^{r} E_G^k\phi, \qquad \text{знание глубины } r.$$

Агенты в киберсистеме работают в условиях неполной информации: каждый наблюдает лишь часть признаков трафика. Поэтому требуется формальное описание знания и осведомленности.

Индивидуальное знание выглядит как K_i(аномалия) ⇒ действие (block/inspect);
коллективное знание:

$$C_G^{(1)}(\text{угроза}) \Rightarrow \mathbf{F}(C_G^{(1)}(\text{блокировка})),$$
$$C_G^{(2)}(\text{угроза}) \Rightarrow \mathbf{F}(C_G^{(2)}(\text{устранение угрозы})).$$

Такая модель важна для распределенных агентов, действующих на разных узлах сети: одни обнаруживают угрозу, другие подтверждают или реагируют, формируя коллективное знание и координируя действия [8].

Комбинация LTL и EL

Совместное применение временной и эпистемической логики позволяет описывать как *динамику поведения*, так и *уровень знания агентов*. Например:$\mathbf{G}(K_i(\text{аномалия}) \rightarrow \mathbf{F}(\text{блокировка}))$ – "всегда, если агент i знает об аномалии, то он в будущем инициирует блокировку".

Обоснование применимости к данным представлено в табл. 2.

Таблица 2. Обоснование применения логик LTL и EL к данным

Table 2. Rationale for applying LTL and EL logics to data

Характеристика данных	Обоснование логической модели
Последовательность состояний (временные ряды)	Описывается LTL, фиксирующей причинно-следственные зависимости во времени
Частичные наблюдения агентов	Моделируются через эпистемическую логику (операторы знания K_i)
Коммуникации между агентами	Требуют формализма коллективного знания C_G
Проверка корректности действий	LTL позволяет формализовать свойства безопасности и достижимости
Интерпретация стратегий	IF–THEN правила преобразуются в формулы LTL
Совместное принятие решений	EL описывает распространение знаний и коллективную реакцию агентов

Структура входных данных

Каждое наблюдение среды в момент времени t описывается вектором признаков:

$$s_t = [x_1^t, x_2^t, x_3^t, x_4^t, x_5^t, x_6^t],$$

где $x_i^t \in [0,1]$ – нормализованные сетевые метрики. Входные данные агента представлены в табл. 3.

Таблица 3. Входные данные агента / ***Table 3***. Agent input data

Признак	Описание	Интерпретация
x_1	Интенсивность пакетов (Packets/s)	Рост при атаках DDoS
x_2	Средний размер пакета	Большие значения при эксфильтрации данных
x_3	Частота ошибок TCP/UDP	Растет при перегрузке или DoS
x_4	Количество соединений	Повышено при брутфорсе
x_5	Энтропия IP-источников	Высокая при распределенных атаках
x_6	Интервал между запросами	Меньше при скриптовых атаках

Выходные данные агента

Агент выбирает действия $a_t \in \{0,1,2\}$:

$a_t = 0$ – Pass: пропустить поток; $a_t = 1$ – Inspect: выполнить проверку; $a_t = 2$ – Block: заблокировать соединение. Результатом являются оптимальная политика $\pi_\theta(a|s)$ и функция $Q_\theta(s,a)$. На их основе извлекаются логические правила, например: IF $(x_1 > 0.7) \wedge (x_5 > 0.6) \Rightarrow$ Block.

4. Вычислительный эксперимент

Пошаговая реализация метода выглядит следующим образом:

1. Загружаем среду кибербезопасности. 2. Обучаем DQN-агента. 3. Собираем траектории и строим графики (reward, распределение признаков норм/аномалий). 4. Извлекаем и печатаем правила. 5. Показываем, какие аномалии агент реально «увидел».

Пример данных представлен на рис. 1.

t	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	Аномалия	Действие	Вознаграждение
1	0.22	0.35	0.08	0.25	0.21	0.48	0	Pass	+1.0
2	0.89	0.74	0.66	0.95	0.91	0.12	1	Block	+2.0
3	0.44	0.37	0.15	0.32	0.27	0.41	0	Inspect	-0.2

***Рис. 1**. Пример данных / **Fig. 1**. Example data*

Блок-схема алгоритма представлена на рис. 2.

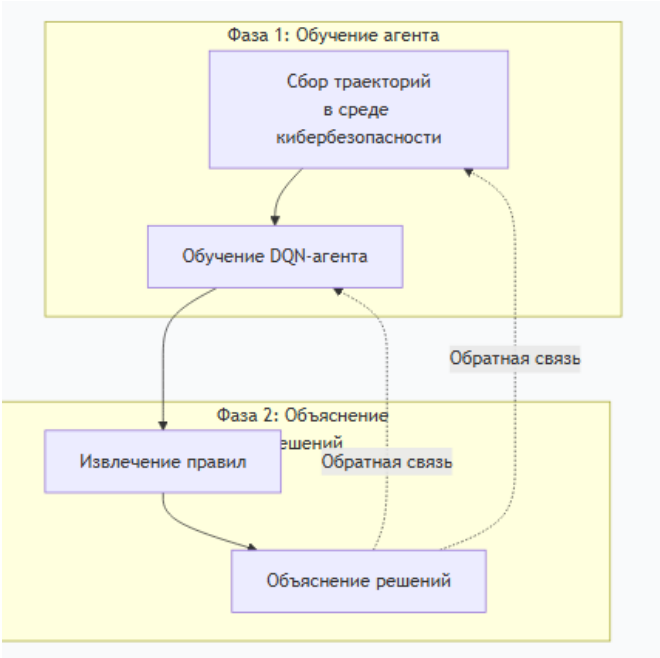


***Рис. 2**. Схема алгоритма / **Fig. 2**. Algorithm diagram*

5. Результаты

График поведения агента в процессе обучения с подкреплением представлен на рис. 3.

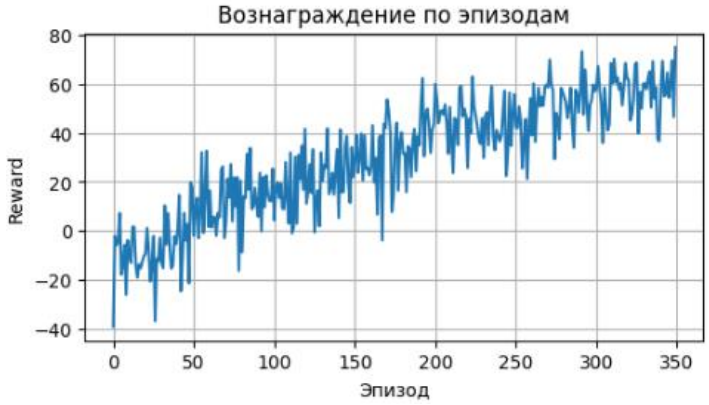


***Рис. 3**. Процесс обучения агента по эпизодам / **Fig. 3**. The process for training an agent by episodes*

Ось X (горизонтальная) – это номер эпизода обучения. Каждый эпизод – отдельная серия взаимодействий агента с окружающей средой (например, 50 шагов). В начале обучения агент действует случайно, а к концу – все более осмысленно.

Эпизоды 0–50 дают хаотичные низкие значения – это говорит о том, что агент только учится. Затем (100–200 эпизодов) среднее вознаграждение начинает расти, хотя колебания остаются. После ~250 эпизодов – стабилизация на высоком уровне: среднее значение reward выше 60–70 (или любая верхняя граница твоей среды).

Главное – средний уровень линии. Если кривая «в целом» идет вверх, значит агент усваивает стратегию, даже если каждый конкретный эпизод «зубчатый» [9].

Гистограммы интенсивности (признак x_1) – очень показательный визуальный элемент, который фактически показывает, как агент «видит» разницу между нормальным и аномальным трафиком [10].

В гистограммах показано распределение одного признака – x1, который обозначает интенсивность сетевого трафика (число пакетов в секунду) (рис. 4).

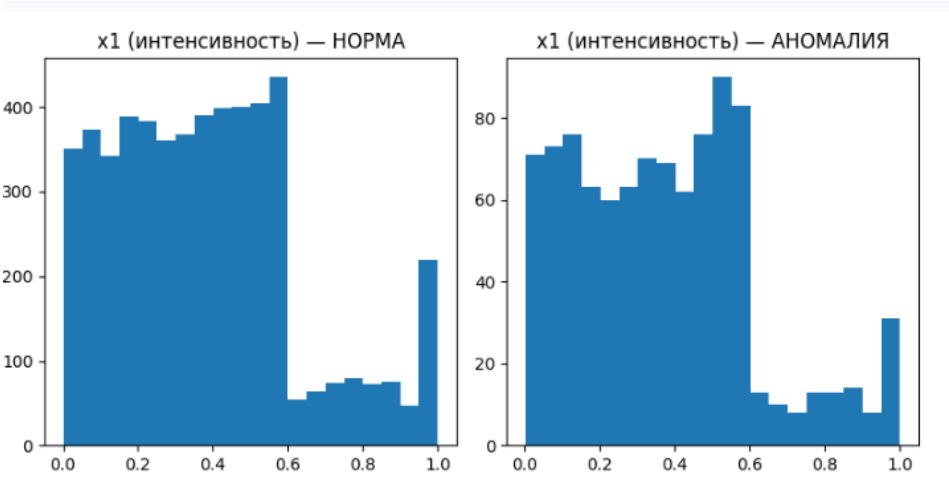


***Рис. 4**. Интенсивность сетевого трафика / **Fig. 4**. Network traffic intensity*

Левая гистограмма – «x_1 (интенсивность) – НОРМА». Показывает, как распределены значения интенсивности при нормальной работе сети, когда аномалии нет (anom = 0).

Правая гистограмма – «x_1 (интенсивность) – АНОМАЛИЯ». То же самое, но только для аномальных состояний (anom = 1).

Далее идет формирование логических правил, фрагмент которых выведен на рисунке 5.

```
Логические формулы (эскиз):

G( x1 >= 0.75 AND x2 >= 0.80 AND x3 >= 0.81 AND x4 >= 0.76 AND x5 >= 0.61 AND x6 >= 0.79 -> F(block) )
G( x1 >= 0.81 AND x2 >= 0.76 AND x3 >= 0.76 AND x4 >= 0.80 AND x5 >= 0.91 AND x6 >= 0.80 -> F(block) )
```

***Рис. 5**. Фрагмент логических правил / **Fig. 5**. Fragment of logical rules*

На рассматриваемых данных агент достигает точности обнаружения аномалий 94–96% при средней задержке реакции менее 0.3 с. Логическая интерпретация показывает, что стратегия агента соответствует правилам вида [11]:

$$IF\ (p_{\text{аномалия}} > 0.8)\ AND\ (t_{\text{реакции}} < 0.2)\ THEN\ \text{блокировать}$$

Полученные формулы успешно проходят проверку на выполнимость спецификаций φ_{safe} и φ_{goal}.

Заключение

В работе предложен метод логико-математической интерпретации стратегий, полученных при обучении с подкреплением, применительно к задачам кибербезопасности. Разработана модель RL-агента, взаимодействующего с сетевой средой и принимающего решения о проверке или блокировке трафика на основе оптимизации функции вознаграждения.

Основной научный результат состоит в интеграции стохастических методов обучения с подкреплением с формальными средствами логической верификации. Применение временной логики (LTL) позволило формализовать и проверить свойства безопасности (*safety*), достижимости цели (*liveness*) и причинности действий (*order*). Эпистемическая логика (EL) обеспечила возможность описания уровня знания и осведомленности агентов в распределенной системе.

Результаты вычислительного эксперимента показали, что агент способен достигать высокой точности обнаружения угроз при малом времени реакции, а полученные логические формулы успешно проходят проверку на выполнимость спецификаций. Это подтверждает, что логическая интерпретация стратегий повышает прозрачность и доверие к решениям интеллектуальных систем.

В перспективе планируются развитие предложенного подхода для многоагентных систем, включающих обмен знанием между узлами сети, а также реализация автоматической проверки логических свойств в реальном времени. Дополнительно интерес представляют исследования по встраиванию логических ограничений непосредственно в процесс обучения (reward shaping), что позволит совмещать оптимальность и объяснимость на этапе обучения, а не только постфактум.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Sutton R.S., Barto A.G. *Reinforcement learning: an introduction*. 2nd ed. MIT Press, 2020.
2. Rybakov V.V. Intransitive linear temporal logic, knowledge from past, decidability, admissible rules. *arXiv preprint arXiv*: 1503.08761. 2015.
3. Doshi-Velez F., Kim B. Towards a rigorous science of interpretable machine learning. *arXiv preprint arXiv:1702.08608*, 2017.
4. Rudin C. Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead. *Nature Machine Intelligence.* 2019. Vol. 1. Pp. 206–215.
5. Wang Ya., Yu W., Seligman J. Quantifier-free epistemic term-modal logic with assignment operator. *Annals of Pure and Applied Logic*. 2022. Vol. 173. No. 3. P. 103071. DOI: 10.1016/j.apal.2021.103071
6. Nguyen T.T., Reddi V.J. Deep reinforcement learning for cyber security. *Computers & Security*, 2022. Vol. 113. P. 102583. DOI: 10.1109/TNNLS.2021.3121870
7. Baier C., Katoen J.-P. *Principles of Model Checking*. MIT Press, 2008.
8. Shoham Y., Leyton-Brown K. Multiagent systems: algorithmic, game-theoretic, and logical foundations. Cambridge University Press, 2009.
9. *Башмаков С. И., Кошелева А. В., Рыбаков В. В.* Унификация во временных многоагентных логиках с универсальной модальностью // Математика в современном мире: тез. докл. междунар. конф. (14–19 августа 2017 г.). Новосибирск: ИМ СО РАН, 2017. С. 67.

Bashmakov S.I., Kosheleva A.V., Rybakov V.V. Unification in temporal multi-agent logics with universal modality. *Mathematics in the Modern World: Abstracts of the International Conference (August 14–19, 2017)*. Novosibirsk: IM SO RAS, 2017. P. 67. (In Russian)

10. Wolter F.M., Zakharyaschev M. Undecidability of the unification and admissibility problems for modal and description logics. *ACM Transactions on Computational Logic*. 2008. Vol. 9. No. 4. P. 25.
11. Lyutikova L.A. Methods for improving the efficiency of neural network decision-making. *Advances in Automation IV. RusAutoCon 2022. Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2023. Vol. 986. Pp. 294–303. DOI: 10.1007/978-3-031-22311-2_29

Вклад авторов: авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Лютикова Лариса Адольфовна, вед. науч. сотр. отдела нейроинформатики и машинного обучения, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А;

lylarisa@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4941-7854, SPIN-код: 1679-7460

Кочкарова Мадина Сосламбековна, ассистент кафедры «Цифровая инженерия и сетевые технологии», Северо-Кавказская государственная академия;

369001, Россия, г. Черкесск, ул. Ставропольская, 36

madina_kochkarova_94@mail.ru

Information about the authors

Larisa A. Lyutikova, Leading Researcher, Department of Neuroinformatics and Machine Learning, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

89 A, Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia;

lylarisa@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4941-7854, SPIN-code: 1679-7460

Madina S. Kochkarova, Assistant, Department of Digital Engineering and Network Technologies, North Caucasian State Academy;

36, Stavropolskaya street, Cherkessk, 369001, Russia;

madina_kochkarova_94@mail.ru

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, СТАТИСТИКА

УДК 004.8 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-135-141
EDN: EMYVVQ

Разработка архитектуры программного комплекса агентного моделирования интеллектуальных агроинженерных систем

М. И. Анчёков

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. В статье представлена архитектура программного комплекса агентного моделирования для интеллектуальных сельскохозяйственных систем, ориентированная на моделирование взаимодействия роботов, растений и инфраструктуры в яблоневом саду. Система интегрирует физическую, сенсорную, эффекторную, энергетическую и вычислительную модели в единую дискретную трехмерную среду и поддерживает децентрализованное федеративное обучение без централизованного сервера. Особое внимание уделено автономности агентов, асинхронному выполнению симуляций и возможности интеграции с реальными датчиками и роботами.

Цель исследования – разработка архитектуры программного комплекса агентного моделирования, предназначенного для имитационного моделирования интеллектуальных интегрированных информационно-управляющих систем в условиях реальной, физически корректной, динамической и частично наблюдаемой среды.

Методы исследования. Основным методом исследования является агентное (мультиагентное) моделирование, которое позволяет имитировать взаимодействие автономных агентов в неопределенной и динамической среде. Для структурирования архитектуры и декомпозиции задач применяется объектно-ориентированное проектирование с использованием UML-нотации.

Результаты. Предложена архитектура программного комплекса, в которой учтены такие сущности, как моделируемый мир (World), агент (Agent), сущность (Entity), доска объявлений (Billboard) и вычислитель (Computer).

Выводы. Предложенная платформа обеспечит воспроизводимость экспериментов, масштабируемость и послужит основой для тестирования алгоритмов коллективного поведения в условиях неоднородной и ресурсоограниченной агросреды.

Ключевые слова: точное земледелие, имитационное моделирование, коллективная робототехника, федеративное обучение

Поступила 10.11.2025, одобрена после рецензирования 27.11.2025, принята к публикации 10.12.2025

Для цитирования. Анчёков М. И. Разработка архитектуры программного комплекса агентного моделирования интеллектуальных агроинженерных систем // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 135–141. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-135-141

MSC: 93A16 Original article

Development of a software architecture for agent-based modeling of intelligent agricultural systems

M.I. Anchekov

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

© Анчёков М. И., 2025

Abstract. This article presents the architecture of an agent-based modeling software package for intelligent agricultural systems, focused on modeling the interactions between robots, plants, and infrastructure in an apple orchard. The system integrates physical, sensor, effector, energy, and computational models into a single discrete 3D environment and supports decentralized federated learning without a centralized server. Particular attention is paid to agent autonomy, asynchronous simulation execution, and the ability to integrate with real sensors and robots.

Aim. The study aims to develop the architecture of an agent-based modeling software package designed for simulating intelligent integrated information and control systems in a real, physically correct, dynamic, and partially observable environment.

Research methods. The primary research method is agent-based (multi-agent) modeling, which allows simulating the interaction of autonomous agents in an uncertain and dynamic environment. Object-oriented design using UML notation is used to structure the architecture and decompose tasks.

Results. A software architecture is proposed that takes into account entities such as a simulated World, Agent, Entity, Billboard, and Computer.

Conclusions. The proposed platform ensures the reproducibility of experiments, scalability, and serves as a basis for testing collective behavior algorithms in heterogeneous and resource-limited agricultural environments.

Keywords*:* precision agriculture, simulation modeling, collaborative robotics, federated learning

Submitted 10.11.2025, approved after reviewing 27.11.2025, accepted for publication 10.12.2025

For citation. Anchekov M.I. Development of a software architecture for agent-based modeling of intelligent agricultural systems. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 135–141. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-135-141

Введение

Глобализация оказывает существенное влияние на сельское хозяйство, ставя новые вызовы перед агропроизводителями. Одним из решений, повышающим эффективность процессов производства сельскохозяйственной продукции, является роботизация. Несмотря на то, что процесс роботизации способен существенно снизить себестоимость продукции, его внедрение является достаточно сложным и дорогим. Это в первую очередь связано с тем, что наибольший эффект проявляется при комплексной роботизации технологических цепочек. В такой ситуации возрастает актуальность систем пространственного моделирования, которые позволят моделировать не только единичных роботов, но и коллективы роботов, выполняющих несколько видов сельскохозяйственных работ. Хотя в данной работе в качестве объекта моделирования выбран яблоневый сад, предложенная архитектура является предметно-независимой и может быть адаптирована для других агроэкосистем, включая зерновые культуры, как это рассматривалось ранее [1].

Предметом исследования является архитектура программной среды агентного моделирования, ориентированная на имитацию взаимодействия роботов, растений и инфраструктуры в яблоневом саду с поддержкой федеративного обучения.

Объектом исследования является процесс коллективного функционирования и распределенного обучения интеллектуальных агентов в агроинженерной экосистеме, включающей роботизированные комплексы, сенсорные станции, растения и элементы инфраструктуры яблоневого сада.

Целью исследования является разработка архитектуры программного комплекса агентного моделирования, предназначенного для имитационного моделирования интеллектуальных интегрированных информационно-управляющих систем в условиях реальной, физически корректной, динамической и частично наблюдаемой среды.

Постановка задачи

На данный момент существует несколько систем агентного моделирования, позволяющих решать в том числе и задачи моделирования в сельском хозяйстве: NetLogo [2], MASON [3], Mesa [4], Repast [5], AnyLogic [6], JADE [7]. Однако эти системы имеют ряд недостатков: так, плохо реализовывается возможность моделирования с помощью высокопроизводительных вычислителей, используются узкоспециализированные языки разработки, поддержка 3D-графики если и есть, то осуществляется через сторонние библиотеки, и т.д.

На содержательном уровне разрабатываемый программный комплекс должен:

- осуществлять имитационное моделирование таких активных сущностей, как роботы, сенсорные станции, деревья, сорняки, вредители, болезни, функционирующие как в одиночном режиме, так и в режиме коллектива, и взаимодействующие с окружающей средой;
- позволять интегрировать системы принятия решений активных сущностей через программный интерфейс и не привязываться к конкретным формализмам;
- интегрировать в единую архитектуру физическую, сенсорную, эффекторную, энергетическую и вычислительную модели;
- обеспечивать асинхронное, пошаговое и воспроизводимое выполнение симуляций, включая возможность сохранения и загрузки промежуточных состояний, удаленного мониторинга и управления через пользовательский интерфейс, а также последующую интеграцию с реальными аппаратными платформами и датчиками.

Для дальнейшей формализации разработки опишем функциональные требования к программному комплексу в виде моделей.

Модель пространства. Все моделируемые сущности должны находиться в 3D-пространстве с целочисленными координатами. Предельные размеры определяются в процессе инициализации вычислительного эксперимента.

Каждая ячейка пространства может быть занята одним или несколькими объектами, при этом система отслеживает пространственную семантику: тип поверхности (грунт, асфальт, вода), высоту рельефа, микроклиматическую зону (тень/солнце), тип почвы и другие атрибуты, влияющие на поведение агентов. Для повышения вычислительной эффективности могут использоваться иерархические структуры хранения (например, октодерево или хэш-карта по координатам), обеспечивающие быстрый доступ к соседним ячейкам и проверку коллизий. Модель пространства должна поддерживать динамическое создание и удаление объектов, что позволяет имитировать рост растений, появление вредителей или размещение новых роботов в ходе симуляции.

Модель времени. Время должно быть дискретным, разбитым на такты, каждый из которых соответствует фиксированному интервалу модельного времени. Все активные сущности (агенты) функционируют в рамках этого времени, но выполнение их действий происходит асинхронно: агенты могут обрабатывать свои циклы восприятия, принятия решений и действия независимо, с учетом внутренних задержек, энергетических ограничений или приоритетов задач. Такой подход позволит избежать жесткой синхронизации, которая в масштабных симуляциях может приводить к искусственным задержкам и снижению реалистичности поведения. При этом система должна гарантировать консистентность состояния мира на каждом такте: все изменения, инициированные агентами в рамках одного шага, применяются атомарно или через механизм транзакций, чтобы избежать гонки данных. Модель времени также должна поддерживать управление скоростью симуляции, а также сохранять временные метки для всех событий, данных и решений, что важно для последующего анализа, воспроизведения экспериментов и синхронизации с потоками реальных данных из внешней среды.

Физическая модель основывается на том, что моделируемые объекты могут быть как активными сущностями (агенты) и передвигаться по пространству (роботы, вредители, болезни, сорняки и т.д.), так и пассивными сущностями, которые не проявляют динамическое

поведение, связанное с перемещениями в пространстве. Физическая модель описывает материальное воплощение всех объектов в пространстве и определяет правила их взаимодействия. Каждый объект должен обладать формой (множество занятых ячеек), массой, прочностью, подвижностью и другими физическими свойствами, необходимыми для симуляции. Для агентов, способных к перемещению, должна учитываться динамика: ограничения скорости, ускорения, проходимость ландшафта. При взаимодействии с объектами должны проверяться механические условия: сила захвата, упругость плода, вероятность повреждения.

Пассивные сущности (ограды, деревья, непроходимые участки поля и т.д.) должны обладать физическими характеристиками: геометрическими размерами, положением и ориентацией в пространстве. Модель должна поддерживать пространственные конфликты (коллизии), перенос объектов и изменение состояния среды. Каждое физическое действие должно потреблять энергию, а ограничения эффекторов должны определять допустимые взаимодействия.

Сенсорная модель. Агенты должны быть оснащены сенсорной системой, включающей как интерорецепторы (датчики внутреннего состояния, например уровня заряда и т.д.), так и экстерорецепторы (камеры, датчики влажности и т.д.). В зависимости от целей моделирования сенсорные данные могут сопровождаться характеристиками реальных устройств: шумом, задержкой, доверительным интервалом и т.п.

Эффекторная модель. Определяет, как агенты должны воздействовать на окружающую среду. Эффекторная модель может рассматриваться как часть физической модели, но часто уточняется для конкретных действий. Например, при сборе урожая задается сила, с которой манипулятор воздействует на яблоко, чтобы избежать его повреждения.

Энергетическая модель. Предполагается, что активность агентов должна быть связана с энергозатратами. Расход энергии происходит при перемещении, манипуляциях с объектами и взаимодействии с другими агентами. Источниками энергии могут выступать аккумуляторы, солнечные панели, топливные элементы и другие системы.

Модель вычислений. С целью моделирования федеративного обучения каждый агент снабжается вычислителем с заданными характеристиками как по производительности, так и по энергопотреблению.

Система моделирования должна поддерживать не только вычисления на CPU и GPU, но и распределенное вычисление. С целью минимизации проблем, связанных с синхронизацией циклов моделирования активных сущностей, программная реализация должна быть асинхронной.

Модель данных. Данные, получаемые активными сущностями, должны храниться на самих устройствах. В системе необходимо предусмотреть возможность «записи» потоков данных. Каждая активная сущность должна обладать локальным хранилищем данных, в котором сохраняются как сырые показания сенсоров (изображения, температура, влажность, уровень заряда и другие), так и производные признаки, включая классификации состояния листьев, оценки зрелости плодов или прогнозы энергопотребления. Туда же записывается история действий и решений агента: перемещения, манипуляции с объектами, обмен сообщениями, а также метаданные, такие как временные метки, точность измерений, источник данных и уровень доверия к ним.

Коммуникационная модель. Агенты должны иметь возможность обмениваться информацией. В зависимости от целей моделирования и свойств агентов радиус коммуникации может быть глобальным (все агенты взаимодействуют независимо от расстояния) или ограниченным (взаимодействие возможно только в заданном радиусе).

Модель федеративного обучения. В разрабатываемой системе федеративное обучение [8, 9] реализуется в децентрализованной архитектуре, исключающей централизованный сервер-оркестратор. Вместо этого все агенты должны быть оснащены вычислительными модулями, взаимодействующими напрямую друг с другом по принципу peer-to-peer, формируя самоорганизующуюся сеть. Такой подход устраняет единую точку отказа, повышает отказоустойчивость системы.

Модель взаимодействия с пользователем. Разрабатываемая система должна иметь возможность удаленного подключения. В случаях если моделирование занимает достаточно продолжительное время, необходимо предусмотреть возможность сохранения промежуточных результатов, с которых в дальнейшем можно продолжить процесс моделирования.

Модель интеграции с реальной средой. Процесс разработки и внедрения агротехнических систем должен иметь возможность синтеза моделируемых объектов и процессов с реальными системами, а также постепенного перехода моделируемых сущностей в реальный мир. Например, пользователь, желающий промоделировать реальный сад с метеостанцией и роботизированными системами, должен иметь возможность воссоздать цифровую копию сада в имитационной среде, интегрировать в нее потоки данных от реальных датчиков и использовать эту виртуальную модель для тестирования и отладки программного обеспечения своих роботов до их развертывания в реальных условиях.

Программная архитектура среды для агентного моделирования

Программная архитектура среды для агентного моделирования построена на принципах объектно-ориентированного проектирования (ООП), что обеспечивает четкое структурирование системы, гибкость и расширяемость. Основные сущности, такие как мир, агенты, пассивные объекты и коммуникационные механизмы, реализованные в виде классов, инкапсулирующих данные и поведение, представлены на рисунке 1. Наследование позволяет единообразно описывать разнородные активные и пассивные объекты, а компоновка (composition) используется для моделирования сложных систем, таких как агенты с сенсорами, эффекторами и встроенными вычислителями. Такой подход не только упрощает разработку и сопровождение кода, но и естественным образом отражает иерархию и взаимодействие элементов в симулируемой среде яблоневого сада.

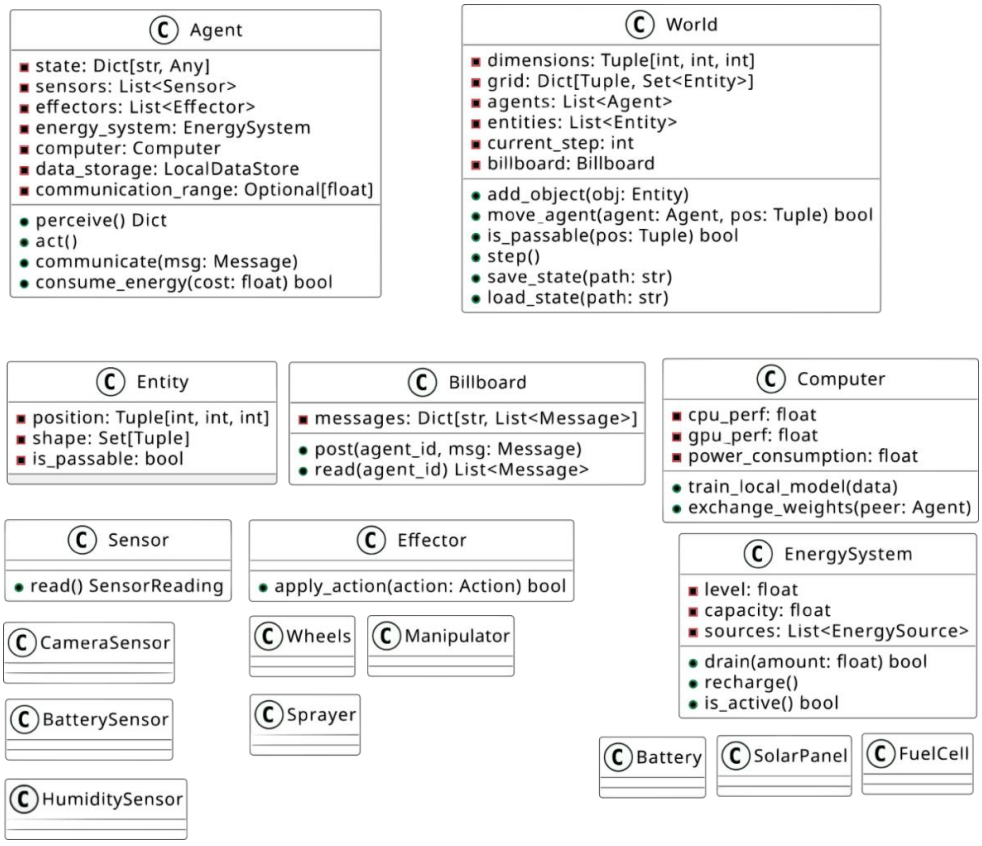


***Рис. 1**. UML-диаграмма классов агентной среды моделирования агроинженерных систем*

***Fig. 1**. UML class diagram of an agent-based environment for modeling agricultural engineering systems*

Класс World представляет собой трехмерное дискретное пространство с целочисленными координатами *x, y, z*. Размеры мира задаются при инициализации и могут быть изменены в процессе моделирования. World хранит все объекты сцены: агентов и пассивные сущности. Также World содержит экземпляр класса Billboard, обеспечивающий глобальную коммуникативную среду, доступную всем агентам без пространственной фильтрации.

Класс Agent является базовым классом для всех активных сущностей. К агентам относятся роботы, дроны, люди, деревья, сорняки, болезни, вредители и т.д. Агенты могут быть статическими (например, дерево) или динамическими (например, робот). Каждый агент занимает одну или несколько ячеек трехмерного пространства и может перемещаться по миру, если он не статический. Агент обладает внутренним состоянием, может отправлять и получать сообщения через Billboard и содержать экземпляр класса Computer. Сенсоры (камера, датчики температуры и влажности) и эффекторы (манипуляторы, колеса) реализованы как компоненты агента и не являются отдельными агентами.

Класс Billboard реализует доску объявлений. Любой агент может разместить в ней сообщение, и любой другой агент может прочитать все имеющиеся сообщения. Радиус распространения сообщений задается на этапе инициализации эксперимента и может варьировать от глобального, когда все сообщения доступны всем, до минимального, когда радиус распространения равен нулю. Разные группы агентов могут иметь свои экземпляры класса Billboard.

Класс Entity является базовым для пассивных объектов, не обладающих поведением. К ним относятся ограды, столбы, участки почвы, а также плоды (яблоки). Плоды моделируются как отдельные объекты класса Entity, размещенные в пространстве рядом с деревом. Entity не имеют вычислительных возможностей, не могут перемещаться самостоятельно и не участвуют в обмене сообщениями, но могут менять свое внутреннее состояние: например, спелость яблок может изменяться со временем.

Класс Computer моделирует встроенные вычислительные устройства агентов. Он предназначен для поддержки сценариев федеративного обучения: агент может накапливать локальные данные (например, данные о спелости плодов, наличии вредителей и т.д.), обучать локальные системы принятия решений и управления и обмениваться ими с другими агентами через сообщения. Компьютер является компонентом агента.

Выводы

Представленная архитектура агентной среды моделирования автономного яблоневого сада представляет собой целостную и расширяемую платформу для исследования интеллектуальных распределенных систем в условиях реалистичных ограничений. Разработанная модель интегрирует физическое взаимодействие, сенсорное восприятие, энергетические ограничения, мобильность и вычислительные возможности в единую семантически насыщенную среду, что позволит достоверно имитировать поведение агентов в сложной агроэкосистеме. Архитектура четко разделяет активные и пассивные сущности, избегая концептуальных противоречий, что упрощает логику и повышает прозрачность системы. При этом предусмотрена гибкость для будущего расширения: поддержка адаптивной топологии коммуникаций, персонализированных моделей, управления задачами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Анчёков М. И., Лешкенов А. М.* Система виртуального моделирования робототехнических систем сельскохозяйственного назначения // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. No. 6(116). С. 125–131. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-125-131

Anchekov M.I., Leshkenov A.M. System for virtual modeling of robotic systems for agricultural purposes. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 6(116). Pp. 125–131. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-125-131. (In Russian)

2. Osorio-Antonia J., Rivas-Tovar L.A., Juárez-Pérez F. Simulation of corn production in chicontepec veracruz with agent-based modeling. *Computación y Sistemas*. 2025. Vol. 29. No. 1. Pp. 529–544. DOI: 10.13053/CyS-29-1-5293

3. Luke S., Cioffi-Revilla C., Panait L. et al. Mason: a multiagent simulation environment. *Simulation*. 2005. Vol. 81. No. 7. Pp. 517–527. DOI: 10.1177/0037549705058073

4. Lopez-Jimenez J., Quijano N., Vande Wouwer A. An agent-based crop model framework for heterogeneous soils. *Agronomy*. 2021. Vol. 11. No. 1. P. 85. DOI: 10.3390/agronomy11010085

5. North M.J., Collier N.T., Vos J.R. Experiences creating three implementations of the repast agent modeling toolkit. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS).* 2006. Vol. 16. No. 1. Pp. 1–25. DOI: 10.1145/1122012.112201

6. Konkina V., Martynushkin A. Forecasting the size of the dairy market in AnyLogic environment. *E3S Web of Conferences.* EDP Sciences, 2021. Vol. 282. P. 01002. DOI: 10.1051/e3sconf/202128201002

7. Ltaief H., Karaduman B., Boussaid et al. Agent based implementation of a robot arm and smart production line using jade framework. 2022 11th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO). *IEEE*, 2022. Pp. 1–12. DOI: 10.1109/MECO55406.2022.9797162

8. Yu X., Queralta J.P., Westerlund T. Towards lifelong federated learning in autonomous mobile robots with continuous sim-to-real transfer. *Procedia Computer Science*. 2022. Vol. 210. Pp. 86–93. DOI: 10.1016/j.procs.2022.10.123

9. Na S., Rouček T., Ulrich J. et al. Federated reinforcement learning for collective navigation of robotic swarms. *IEEE Transactions on cognitive and developmental systems*. 2023. Vol. 15. No. 4. Pp. 2122–2131. DOI: 10.1109/TCDS.2023.3239815

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Анчёков Мурат Инусович, заведующий лабораторией «Имитационное моделирование феногенетических процессов» НИЦ «Интеллектуальные генетические системы», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

murat.antchok@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8977-797X, SPIN-код: 3299-0927

Information about the author

Murat I. Anchekov, Head of the Laboratory of Simulation Modeling of Phenogenetic Processes of the Scientific and Innovation Center “Intelligent Genetic Systems”, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

murat.antchok@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8977-797X, SPIN-code: 3299-0927

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, СТАТИСТИКА

УДК 519.71 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-142-156
EDN: DMTLSG

Исследование свойств процессов, характеризующихся логистическими кривыми, при помощи вероятностных клеточных автоматов

Д. П. Димитриченко

Институт прикладной математики и автоматизации –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А

Аннотация. Одним из успешно исследованных процессов является процесс развития систем, либо занимающих ограниченный ареал (популяции), либо имеющих ограниченные возможности развития (технологии), либо связанных с ограниченной емкостью рынка (производители товаров). Такие процессы имеют схожее математическое описание, которое сводится к построению соответствующих логистических кривых. При явной внешней несхожести между собой перечисленных процессов их внутренняя общность была установлена при помощи кибернетической парадигмы. Процессы развития биологических, технических и экономических систем в условиях ограниченных ресурсов, обладая описанием при помощи С-образных кривых, свидетельствуют о кибернетическом характере внутрисистемного механизма взаимодействия.

Цель исследования – выявление общесистемных закономерностей и механизмов развития систем в условиях ограниченных ресурсов.

Метод исследования. В качестве метода исследования процессов развития в условиях ограниченных ресурсов применен одномерный вероятностный клеточный автомат. Автоматы, обладая скалярной степенью развития, конкурируют за разделяемые ресурсы.

Результат. Применение одномерных клеточных автоматов позволило получить легко интерпретируемые результаты и проанализировать влияние различных условий доминирования на внутреннее разнообразие системы.

Выводы. Анализ структур позволил выявить зависимость внутреннего разнообразия системы от направленности выбора доминирующих представителей в процессе конкуренции за ресурсы. Дополнительно сделано предсказание о характере изменения структуры системы в условиях не только внутренних ограничений, но и наличия другой системы, реализующей пару «хищник-жертва».

Ключевые слова: рост с насыщением, внутрисистемный механизм взаимодействия, ограниченные ресурсы, экспоненциальный рост, логистическая кривая, одномерный клеточный автомат, вероятность состояния, направление доминирования, внутреннее разнообразие

Поступила 14.10.2025, одобрена после рецензирования 14.11.2025, принята к публикации 17.11.2025

Для цитирования. Димитриченко Д. П. Исследование свойств процессов, характеризующихся логистическими кривыми, при помощи вероятностных клеточных автоматов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 142–156. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-142-156

© Димитриченко Д. П., 2025

MSC: 68P01 Original article

Investigation of properties of processes characterized by logistic curves, using probabilistic cellular automata

D.P. Dimitrichenko

Institute of Applied Mathematics and Automation –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
89 A, Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. One of the most successful processes studied is the development of systems that are either limited in area (populations), have limited development potential (technologies), or are associated with a small market size (product producers). These processes have a similar mathematical description, which involves constructing the corresponding logistic curves. Despite the obvious external differences between the listed processes, their underlying similarities are revealed through the cybernetic approach. The processes of development of biological, technical, and economic systems, which are described using C-shaped curves with the resources limited, testify to the cybernetic nature of the interaction mechanism within these systems.

Aim. The paper aims to identify system-wide patterns and mechanisms of development under limited resources.

Research methods. A one-dimensional probabilistic cellular automaton has been used to study developmental processes under resource constraints. The automata, which possess a scalar degree of development, compete for shared resources.

Result. The use of one-dimensional cellular automata allowes us to easily obtain interpretable results and analyze the impact of different dominance conditions on the internal diversity of the system.

Conclusions. The analysis of the structures allows to identify the dependence of the internal diversity of the system on the choice of dominant representatives during the competition for resources. In addition, the study predicts regarding the nature of changes in the system's structure under conditions not only of internal constraints, but also of the presence of another system that implements the "predator-prey" relationship.

Keywords: saturated growth, intrasystem interaction mechanism, limited resources, exponential growth, logistic curve, one-dimensional cellular automaton, state probability, direction of dominance, internal diversity

Submitted 14.10.2025, approved after reviewing 14.11.2025, accepted for publication 17.11.2025

For citation. Dimitrichenko D.P. Investigation of properties of processes characterized by logistic curves, using probabilistic cellular automata. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 142–156. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-142-156

Введение

Появление кибернетики как научного направления и фундаментальной исследовательской программы привело к пониманию общности внутрисистемных процессов, происходящих во внешне, казалось бы, далеких областях знаний, таких как биология, техника и социальные науки [1].

Одним из таких общих процессов является процесс развития замкнутой системы в условиях ограниченных ресурсов, когда само внутреннее состояние системы является фактором ограничений ее развития при различных проявлениях этих ограничений на рассматриваемую систему.

В биологии это хорошо изученный процесс развития (размножения) однородной популяции в условиях внешних ограничений [2].

В случае одноклеточных культур в качестве таких ограничений выступают либо ограниченность ресурсов питательной среды, либо постепенное увеличение концентрации продуктов жизнедеятельности. Оба эти фактора одинаково сказываются на уменьшении скорости размножения (роста биомассы), в конце концов останавливая этот рост.

Указанный процесс описывается хорошо известным уравнением Ферхюльста-Пирла [2]:

$$\dot{x} = rx\left(1 - \frac{x}{k}\right),$$

где $x=x(t)$ – концентрация биомассы, или степень заселенности экологической ниши рассматриваемой изолированной популяцией, $x = x(t) \in (0,k)$, k – емкость экологической ниши (предельная численность), $x(0) = x_0$ – численность (концентрация) в начальный момент времени, r – коэффициент рождаемости, t – время, $t \in (0, +\infty)$.

Решение имеет вид

$$x(t) = kx_0e^{rt} / (k + x_0(e^{rt} - 1)).$$

Предполагая значение рождаемости (воспроизводства) $r = 1$, т.е. прирост происходит, как простое удвоение биомассы в условиях ограничений, $k = 1$, а $x(t)$ соответствующим значению относительной заселенности ареала обитания, при начальных условиях $x_0 = x(0) = 1/2$ получим решение в наиболее простой форме:

$$x(t) = \frac{1/2e^t}{1 + 1/2(e^t - 1)}$$

или

$$x(t) = 1 / (1 + e^{-t}),$$

$$x(0) = x_0 = 1/2, \quad t \in (-\infty, +\infty).$$

Данное решение представляет собой простейший вид сигмоидальной функции с коэффициентом рождаемости $r = 1$, т.е. начальное воспроизводство (прирост) происходит путем простого удвоения, соответствуя на начальном этапе развития функции $x(t) = 2^t$.

Отметим, что данная функция (сигмоид) широко применяется не только в популяционной динамике, но и в машинном обучении как сигмоидальная активационная функция [3].

Еще в период освоения кибернетикой как наукой смежных областей Стаффорд Бир в [4] отмечал соответствие протекания процессов в экономике, в отдельных ее отраслях, вплоть до темпов строительства отдельных фирм и предприятий, с динамикой поведения логистических кривых (*C*-образных кривых).

Впоследствии эти результаты были подтверждены при анализе отраслей экономики США и применены на практике при создании методики по выработке решений для менеджеров высшего звена управления [5].

В нашей стране в области технической кибернетики аналогичные результаты были получены и применены на практике Г. С. Альтшуллером для эффективного поиска решения инженерно-технических задач по модернизации технических систем различного назначения [6].

Здесь, как и в [5], *c*-образная кривая рассматривается в качестве эмпирического образа способности системы к эффективной модернизации.

Общая динамика перечисленных выше процессов характеризуется небольшим количественным приростом в начале, высокой положительной скоростью в середине процесса и замедлением (практически остановкой) в конце.

На заре становления кибернетики как науки, исследовательской программы и философского направления Норбертом Винером была открыта общность законов управления в технике, биологии [7–9] и социальной сфере.

Отсюда следует, что процессы, характеризующиеся логистическими (*C*-образными) кривыми поведения, отражают не особенности узкоспециальной области рассмотрения, а объективные кибернетические закономерности, характеризующие широкий класс систем с определенным способом поведения и внутрисистемного развития. Откуда и вытекает актуальность исследования общего течения всех перечисленных выше (и аналогичных им) процессов, характеризующихся динамикой логистических кривых, или процессов с насыщением, как кибернетических систем.

В настоящей работе мы будем анализировать структурные особенности поведения (развития) системы с замкнутой на себя обратной связью влияния ограниченных ресурсов на структуру самой рассматриваемой системы.

Для выявления структурных особенностей этого процесса мы воспользуемся аппаратом одномерных вероятностных клеточных автоматов [10].

Предварительная формализация

Сформулируем основные исходные допущения проведенного исследования:

1. Существует клетка, наделенная свойством, характеризующимся некоторым натуральным числом n (при $n = 0$ свойство потенциально возможно, но не проявлено).

2. Через равные промежутки времени клетка делится, образуя две дочерние клетки.

3. Результат деления материнской клетки является детерминированным процессом.

В результате деления возможны следующие альтернативы:

1. В процессе деления две дочерние клетки полностью наследуют свойство материнской клетки.

2. Две дочерние клетки одновременно приобретают новое свойство, отличное от материнского.

3. Две дочерние клетки приобретают различные случайные свойства, отличные от материнского.

4. Одна из клеток наследует свойство от материнской клетки, другая приобретает новое, отличное от материнского, свойство.

Обсудим эти четыре положения с точки зрения выживания как системного свойства популяции в целом.

• В первом случае все клетки популяции будут обладать одним и тем же свойством вне зависимости от количества клеток и времени существования популяции. В условиях динамической внешней среды такая популяция не сможет приспособиться к новым изменившимся условиям существования.

• Во втором случае свойство клеток меняется от поколения к поколению. Однако все клетки популяции в любой момент времени обладают одним и тем же свойством, что, по сути, приводит нас к первому из четырех случаев. Такая популяция, синхронно меняя свое основное свойство, быстро утратит соответствие между текущим свойством, которое меняется от поколения к поколению, и внешней средой, пусть даже неизменной и ранее оптимальной для одного из прежних значений свойства.

• Третий случай фактически приводит нас к популяции, всякий раз пытающейся случайным образом «угадать» соответствие между внешней средой и совокупностью случайных значений свойства клеток без какого бы то ни было наследования. Даже если текущее свойство одной из клеток и будет соответствовать условиям окружающей среды, то оно без насле-

дования сразу же «забудется» в новом поколении. Подобная ситуация возникает при использовании генетических алгоритмов с высоким значением коэффициента мутаций, когда решения, т.е. представители популяции, попадают в локальный экстремум (или в один из локальных экстремумов), но за счет высокого уровня мутаций такие ценные представители не закрепляются в новом поколении и быстро утрачиваются популяцией решений [11].

• Четвертый случай предлагает наиболее стабильную стратегию изменения рассматриваемой нами популяции. Если условия окружающей среды остаются неизменными, то в худшем случае гарантированно выживает дочерняя клетка с унаследованным от материнской клетки свойством. Если же условия окружающей среды поменялись, то существует вероятность, что выживет либо дочерняя клетка с унаследованным свойством, либо клетка с измененным свойством, что сохраняет популяцию в неизменных условиях и также гарантированно закрепляет в популяции новое свойство, обеспечившее ее выживание в новых условиях.

Таким образом, для цели нашего исследования кибернетически обоснованным мы можем считать четвертый вариант развития популяции без привязки к определенным условиям окружающей среды (динамическим или статическим).

В связи с заложенным в характеристики клеток фактором изменения их свойства от поколения к поколению сделаем еще одно допущение: изменение свойства клеток происходит однонаправленно, с некоторым минимальным положительным шагом, так что, каким бы ни было оптимальное значение свойства клеток, рано или поздно оно обязательно будет достигнуто некоторой частью популяции.

Далее мы увидим, как изменение условий отбора в популяции позволяет наблюдать богатые, легко интерпретируемые формы приспособительного поведения при условии сделанных допущений.

Общая постановка задачи

Задана исходная популяция идеальных (абстрактных) микроорганизмов, способных размножаться и изменяться от поколения к поколению. Свойство изменчивости характеризуется некоторым натуральным числом. Популяция этих микроорганизмов развивается в условиях ограниченных ресурсов в соответствии с динамикой сигмоидальной функции, являющейся решением уравнения Ферхюльста–Пирла.

Структурные характеристики такой популяции представляются в форме одномерного вероятностного клеточного автомата, состояниями которого являются значения внутреннего скалярного свойства клеток.

А относительное количество клеток в популяции, обладающих данным свойством, является вероятностью пребывания автомата популяции в соответствующем указанному свойству состоянии.

Требуется пронаблюдать поведение соответствующего клеточного автомата с целью установления зависимости влияния условий внутрипопуляционного отбора на структуру исследуемой популяции.

Таким образом, совокупность состояний одномерного клеточного автомата является отражением структурной характеристики исследуемой популяции абстрактных микроорганизмов, а изменение совокупности этих состояний, соответственно, будет отражать динамику структурного изменения этой популяции. Применение одномерного вероятностного клеточного автомата является формальным представлением структуры популяции на любом (текущем) шаге ее развития, которая, таким образом, представима в виде двумерной таблицы, где по горизонтали откладываются доступные автомату текущие состояния автомата с указанием соответствующих вероятностей, а по вертикали откладываются значения времени, прошедшего от начала вычислительного эксперимента, отсчитывая от начального нулевого значения $t = 0$.

Указанное ранее свойство клетки, характеризующееся натуральным числом, мы легко можем сопоставить с каким-либо внутриклеточным процессом, например, с процессом восстановления серы или железа в хемобактериях, так что мы можем считать, что чем выше численное значение указанного свойства, тем эффективнее в данной клетке функционирует этот внутриклеточный механизм [12].

О ПРОВЕДЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Отметим, что значения вероятностей состояний клеточного автомата, в собственном смысле, достигаются только при общей численности популяции, равной единице, т.е. при $x(t)=1$. Во всех остальных случаях мы можем говорить только об относительной вероятности. Однако в рамках нашего исследования для большей выразительности и наглядности мы будем пользоваться непосредственными величинами числовых значений количественных характеристик, не переводя их в относительные вероятности.

В нашем случае в соответствии с требованиями, накладываемыми на интервал изменения величины $x(t)$, и в соответствии с биологическим смыслом, поскольку популяция не может превысить емкость (относительную емкость) экологической ниши, мы будем величину численности микроорганизмов вычислять с точностью до четвертого знака и приводить ее к значениям натуральных чисел, умножая на 10000, так что приведенные значения численности $x(t)$ будут принадлежать сегменту [1, 10000], т.е. минимальное количество микроорганизмов равно единице (единственному представителю), максимальное – 10000 (максимальная емкость).

Коэффициент рождаемости r положим равным единице, так что общий прирост численности популяции без учета убыли на всяком шаге будет происходить путем простого удвоения текущей численности. В этом случае количество клеток с новым свойством y без учета текущей убыли всегда равно количеству дочерних клеток x с текущим свойством в соответствии с выбранной нами четвертой альтернативой развития популяции.

Поскольку мы будем рассматривать изменение численности и структуры популяции в дискретные моменты времени, то приведенное выше дифференциальное уравнение Ферхюльста–Пирла заменим породившей его исходной дискретной вычислительной схемой:

$$x_{i+1} = x_i + 1 * x_i * (1 - x_i)$$

или

$$x_{i+1} = x_i + x_i - 1 * x_i * x_i,$$

переходя к обозначениям x и y для клеток с унаследованным x и новым y свойством, получим два тождественных выражения:

$$x_{i+1} = x + y - 1 * x * x_i = x + y - 1 * y * x_i.$$

Мы учли, что при $r=1$ количество клеток с унаследованным свойством x численно равно количеству клеток y с новым свойством.

Для регулирования направления (характера) доминирования микроорганизмов в соответствии с их свойством в процессе отрицательного влияния окружающей среды представим единицу в последнем слагаемом в виде двух неотрицательных коэффициентов l_{old} и l_{new}, сумма которых тождественно равна единице: $l_{old} + l_{new} \equiv 1$, тогда получим:

$$x_{i+1} = x + y - (l_{old} + l_{new}) * x * x_i = x + y - (l_{old} + l_{new}) * y * x_i,$$

откуда окончательно получим:

$$x_{i+1} = \left(x - l_{old} * x * x_i\right) + \left(y - l_{new} * y * x_i\right),$$

где согласно сделанным обозначениям x – количество микроорганизмов с текущим свойством, y – количество микроорганизмов с новым свойством, x_i – общее количество клеток

на текущем шаге i, x_{i+1} – общее количество клеток на следующем шаге $i+1$, l_{old} и l_{new} – неотрицательные коэффициенты управления процессом выбора (доминирования) клеток с унаследованным и новым свойствами.

Если $l_{old}= 1$, то $l_{new}= 0$, следовательно, всегда будут доминировать представители нового поколения, обладающие более развитым свойством.

Если $l_{new}= 1$, то $l_{old}= 0$, следовательно, будут доминировать представители унаследованного свойства, т.е. преимущества получают представители популяции с менее развитым свойством.

Во всех остальных случаях предложенная вычислительная модель позволяет учитывать промежуточные варианты с любой допустимой комбинируемой степенью выбора.

Дискретное время i меняется в границах от 0 до T, где T – точка останова вычислительного эксперимента.

Как отмечалось выше, при указанных ограничениях явным решением данного дифференциального уравнения Ферхюльста–Пирла будет сигма-функция, значения которой в качестве проверочного значения выводятся в последнем столбце представленных ниже таблиц, содержащих результаты вычислительных экспериментов.

Условимся считать, что:

1. Начальное значение времени $i = 0$.

2. Начальное количество клеток $x(t) = x_0 = 1$.

3. Совокупность состояний клеточного автомата в начальный момент времени $S = \{s_0\}$, т.е. актуальное свойство микроорганизмов потенциально возможно, но не проявлено.

Применительно к автоматной реализации это означает, что клеточный автомат состоит из одной клетки, которая определенно с вероятностью $w = 1$ находится в единственном исходном состоянии $S = \{s_0\}$.

Анализ результатов

Мы рассмотрели четыре базовых случая. Первым является случай, когда условия окружающей среды (механизм внутрипопуляционного взаимодействия) способствуют доминированию микроорганизмов с более развитым актуальным свойством (табл. 1).

Таблица 1. Доминирование микроорганизмов с более развитым свойством

Table 1. Dominance of microorganisms with more developed properties

T	s_0	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	X(t)
0	0,0001										0,0001
1	0,0001	0,0001									0,0002
2	0,0001	0,0002	0,0001								0,0004
3	0,0001	0,0003	0,0003	0,0001							0,0008
4	0,0001	0,0004	0,0006	0,0004	0,0001						0,0016
5	0,0001	0,0005	0,0010	0,0010	0,0005	0,0001					0,0032
6	0,0001	0,0006	0,0015	0,0020	0,0015	0,0006	0,0001				0,0064
7*	0,0001	0,0007	0,0021	0,0035	0,0035	0,0021	0,0007	0,0001			0,0127
8	0,0001	0,0008	0,0027	0,0055	0,0069	0,0055	0,0028	0,0008	0,0001		0,0253
9	0,0001	0,0009	0,0035	0,0081	0,0122	0,0123	0,0083	0,0036	0,0009	0,0001	0,0499
10	0,0001	0,0009	0,0041	0,0112	0,0198	0,0240	0,0202	0,0116	0,0044	0,0010	0,0973
11	0,0001	0,0009	0,0047	0,0142	0,0290	0,0414	0,0422	0,0307	0,0156	0,0053	0,1852
12	0,0001	0,0008	0,0047	0,0163	0,0379	0,0627	0,0757	0,0671	0,0434	0,0199	0,3361
13*	–	0,0006	0,0040	0,0155	0,0414	0,0795	0,1130	0,1203	0,0960	0,0566	0,5592
14		0,0003	0,0024	0,0108	0,0337	0,0764	0,1293	0,1660	0,1626	0,1209	0,8057
15		0,0001	0,0008	0,0045	0,0173	0,0486	0,1016	0,1616	0,1976	0,1861	0,9623
16		–	0,0001	0,0009	0,0051	0,0192	0,0524	0,1077	0,1690	0,2046	0,9986
17			–	0,0001	0,0009	0,0051	0,0192	0,0526	0,1079	0,1693	1,0000

Продолжение таблицы 1* / *Continuation of Table 1

T	s_{10}	s_{11}	s_{12}	s_{13}	s_{14}	s_{15}	s_{16}	s_{17}	X(t)
0									0,0001
1									0,0002
2									0,0004
3									0,0008
4									0,0016
5									0,0032
6									0,0064
7*									0,0127
8									0,0253
9									0,0499
10	0,0001								0,0973
11	0,0011	0,0001							0,1852
12	0,0062	0,0012	0,0001						0,3361
13*	0,0240	0,0070	0,0012	0,0001					0,5592
14	0,0672	0,0271	0,0075	0,0013	0,0001				0,8057
15	0,1340	0,0725	0,0286	0,0077	0,0013	0,0001			0,9623
16	0,1911	0,1367	0,0736	0,0289	0,0078	0,0013	0,0001		0,9986
17	0,2049	0,1913	0,1368	0,0736	0,0289	0,0078	0,0013	0,0001	1,0000

Мы видим, что до седьмого шага (7*) происходит экспоненциальный рост с распределением микроорганизмов в популяции по состояниям автомата в соответствии со значениями коэффициентов бинома Ньютона, соответствуя функции $x(t)=2^t$, с постепенным дальнейшим уменьшением основания показательной функции.

На шаге 13* начинает сказываться отрицательное влияние окружающей среды, т.е. наблюдается ограничение внутреннего разнообразия популяции (количество состояний автомата).

После шага 13* популяция пополняется новыми представителями (автомат пополняется новым состоянием) за один шаг, однако общее разнообразие популяции уже не увеличивается, так как одновременно с этим происходит потеря ранее занимаемого состояния (состояния с наименьшим текущим номером).

В итоге популяция достигает максимально возможного структурного разнообразия при существующих ограничениях, хотя значение актуального свойства с каждым шагом монотонно возрастает.

При этом новое состояние автомата, возникая, увеличивает свой вес в популяции и затем постепенно вытесняется новыми состояниями автомата, т.е. популяция постепенно замещается микроорганизмами с более развитым свойством при неизменности вероятностей распределения микроорганизмов по состояниям автомата.

При достижении максимальной численности $x(t) = 1$ рост свойства сопровождается постоянством структуры автомата и ограничением внутреннего разнообразия состояний. Дальнейшие шаги вычислительного эксперимента в этих условиях не привносят в общую картину ничего нового.

Эталоном является представитель с наиболее развитым свойством.

Это напоминает последовательную смену одних технологий другими, когда новая технология возникает, увеличивает свой вес (влияние) и постепенно вытесняется совокупным рядом новых технологий.

Вторым является случай, когда условия окружающей среды (механизм внутрипопуляционного взаимодействия) способствуют доминированию микроорганизмов с менее развитым актуальным свойством, характеризуя стремление к соответствию исходной, самой простейшей структуре микроорганизма (табл. 2).

Таблица 2. Доминирование микроорганизмов с менее развитым свойством

Table 2. Dominance of microorganisms with less developed properties

T	s_0	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	X(t)
0	0,0001								0,0001
1	0,0001	0,0001							0,0002
2	0,0001	0,0002	0,0001						0,0004
3	0,0001	0,0003	0,0003	0,0001					0,0008
4	0,0001	0,0004	0,0006	0,0004	0,0001				0,0016
5	0,0001	0,0005	0,0010	0,0010	0,0005	0,0001			0,0032
6	0,0001	0,0006	0,0015	0,0020	0,0015	0,0006	0,0001		0,0064
7*	0,0001	0,0007	0,0021	0,0035	0,0035	0,0021	0,0007	0,0001	0,0127
8	0,0001	0,0008	0,0028	0,0055	0,0069	0,0055	0,0027	0,0008	0,0253
9	0,0001	0,0009	0,0036	0,0083	0,0123	0,0122	0,0081	0,0035	0,0499
10	0,0001	0,0010	0,0044	0,0116	0,0202	0,0240	0,0198	0,0112	0,0973
11	0,0001	0,0011	0,0053	0,0156	0,0307	0,0422	0,0414	0,0290	0,1852
12	0,0001	0,0012	0,0062	0,0199	0,0434	0,0671	0,0757	0,0627	0,3361
13*	0,0001	0,0012	0,0070	0,0240	0,0566	0,0960	0,1203	0,1130	0,5592
14	0,0001	0,0013	0,0075	0,0271	0,0672	0,1209	0,1626	0,1660	0,8057
15	0,0001	0,0013	0,0077	0,0286	0,0725	0,1340	0,1861	0,1976	0,9623
16	0,0001	0,0013	0,0078	0,0289	0,0736	0,1367	0,1911	0,2046	0,9986
17	0,0001	0,0013	0,0078	0,0289	0,0736	0,1368	0,1913	0,2049	1,0000

Продолжение таблицы 2 / Continuation of Table 2

T	s_8	s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}	s_{13}	s_{14}	X(t)
0								0,0001
1								0,0002
2								0,0004
3								0,0008
4								0,0016
5								0,0032
6								0,0064
7*								0,0127
8	0,0001							0,0253
9	0,0009	0,0001						0,0499
10	0,0041	0,0009	0,0001					0,0973
11	0,0142	0,0047	0,0009	0,0001				0,1852
12	0,0379	0,0163	0,0047	0,0008	0,0001			0,3361
13*	0,0795	0,0414	0,0155	0,0040	0,0006			0,5592
14	0,1293	0,0764	0,0337	0,0108	0,0024	0,0003		0,8057
15	0,1616	0,1016	0,0486	0,0173	0,0045	0,0008	0,0001	0,9623
16	0,1690	0,1077	0,0524	0,0192	0,0051	0,0009	0,0001	0,9986
17	0,1693	0,1079	0,0526	0,0192	0,0051	0,0009	0,0001	1,0000

Начальный рост популяции при отсутствии отрицательного влияния окружающей среды до шага 7* происходит аналогично первому случаю. Аналогично на шаге 13* происходит ограничение роста внутреннего разнообразия, т.е. количества внутренних состояний автомата. Однако в отличие от первого случая здесь доминируют представители с наименьшими изменениями. Итоговый профиль распределения вероятностей присутствия микроорганизмов по состояниям при достижении численности $x(t{=}1)$ аналогичен предыдущему случаю, но зеркален ему по распределению данных вероятностей. Это связано с тем, что эталоном для популяции в этом случае является исходное состояние автомата s_0. После шага 17 не происходит никаких изменений ни в общей численности, ни в структуре, ни в распределении вероятностей по состояниям.

Несмотря на то, что на каждом шаге эксперимента замещения микроорганизмов внутри занимаемых ими состояний происходят, но все дальнейшие изменения актуального свойства в сторону его увеличения отбрасываются после того, как популяция достигает максимальной численности $x(t) = 1$. Рост разнообразия также останавливается. При этом состояние s_0 характеризуется как наилучшее, а все представители с ненаследуемым значением свойства вытесняются на всех уровнях сложившейся к этому шагу структуры автомата.

Эталоном является представитель популяции с исходным состоянием s_0.

Третьим является случай, когда отрицательное воздействие окружающей среды в равной мере сказывается как на наследуемом, так и на развиваемом свойстве, т.е. изменение актуального свойства по сравнению с прежним значением не предоставляет микроорганизмам никаких преимуществ (табл. 3).

Это случай, когда значение развитости свойства никак не определяет доминирование того или иного состояния. Мы видим, что в случае безразличия к актуальному свойству популяция, т.е. одномерный автомат, начиная с шага 13*, стремится одновременно следовать двум стратегиям поведения: «консервативной» и «инновационной».

- В рамках первой стратегии это стремление автомата максимально долго оставаться в ранее посещенных состояниях.
- В рамках второй стратегии это стремление с каждым новым временным шагом t освоить новые состояния (увеличить текущее максимальное значение свойства).

Таблица 3. Отсутствие явного доминирования / ***Table 3***. No clear dominance

T	s_0	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	X(t)
0	0,0001									0,0001
1	0,0001	0,0001								0,0002
2	0,0001	0,0002	0,0001							0,0004
3	0,0001	0,0003	0,0003	0,0001						0,0008
4	0,0001	0,0004	0,0006	0,0004	0,0001					0,0016
5	0,0001	0,0005	0,0010	0,0010	0,0005	0,0001				0,0032
6	0,0001	0,0006	0,0015	0,0020	0,0015	0,0006	0,0001			0,0064
7*	0,0001	0,0007	0,0021	0,0035	0,0035	0,0021	0,0007	0,0001		0,0127
8	0,0001	0,0008	0,0028	0,0055	0,0069	0,0055	0,0028	0,0008	0,0001	0,0253
9	0,0001	0,0009	0,0035	0,0082	0,0123	0,0123	0,0082	0,0035	0,0009	0,0499
10	0,0001	0,0010	0,0043	0,0114	0,0200	0,0240	0,0200	0,0114	0,0043	0,0973
11	0,0001	0,0010	0,0050	0,0149	0,0298	0,0418	0,0418	0,0298	0,0149	0,1852
12	0,0001	0,0010	0,0054	0,0181	0,0406	0,0650	0,0758	0,0650	0,0406	0,3361
13*	0,0001	0,0009	0,0053	0,0195	0,0488	0,0879	0,1171	0,1171	0,0879	0,5592
14	–	0,0007	0,0045	0,0179	0,0492	0,0985	0,1477	0,1688	0,1477	0,8057
15		0,0004	0,0031	0,0134	0,0401	0,0882	0,1470	0,1890	0,1890	0,9623
16		0,0002	0,0018	0,0085	0,0277	0,0666	0,1220	0,1743	0,1961	0,9986
17		0,0001	0,0010	0,0052	0,0182	0,0472	0,0944	0,1484	0,1855	1,0000

Продолжение таблицы 3 / Continuation of Table 3

T	s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}	s_{13}	s_{14}	s_{15}	s_{16}	X(t)
0									0,0001
1									0,0002
2									0,0004
3									0,0008
4									0,0016
5									0,0032
6									0,0064
7*									0,0127
8									0,0253
9	0,0001								0,0499
10	0,0010	0,0001							0,0973
11	0,0050	0,0010	0,0001						0,1852
12	0,0181	0,0054	0,0010	0,0001					0,3361
13*	0,0488	0,0195	0,0053	0,0009	0,0001				0,5592
14	0,0985	0,0492	0,0179	0,0045	0,0007				0,8057
15	0,1470	0,0882	0,0401	0,0134	0,0031	0,0004			0,9623
16	0,1743	0,1220	0,0666	0,0277	0,0085	0,0018	0,0002		0,9986
17	0,1855	0,1484	0,0944	0,0472	0,0182	0,0052	0,0010	0,0001	1,0000

В результате после достижения популяцией максимальной численности $x(t) = 1$ рост разнообразия состояний автомата растет с одновременным убыванием количества микроорганизмов в каждом из этих состояний.

Система (множество состояний) стремится одновременно соответствовать двум эталонам: состоянию с наименьшим номером как наиболее консервативному и состоянию с наибольшим номером как наиболее развитому. Дальнейшее продолжение вычислительного эксперимента в этих условиях лишь усиливает описанную тенденцию.

В четвертом случае рассмотрен рост без ограничений, соответствующий модели Мальтуса [2] (табл. 4).

Таблица 4. Рост без ограничений / ***Table 4***. Growth without restrictions

T	s_0	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	X(t)
0	0,0001								0,0001
1	0,0001	0,0001							0,0002
2	0,0001	0,0002	0,0001						0,0004
3	0,0001	0,0003	0,0003	0,0001					0,0008
4	0,0001	0,0004	0,0006	0,0004	0,0001				0,0016
5	0,0001	0,0005	0,0010	0,0010	0,0005	0,0001			0,0032
6	0,0001	0,0006	0,0015	0,0020	0,0015	0,0006	0,0001		0,0064
7*	0,0001	0,0007	0,0021	0,0035	0,0035	0,0021	0,0007	0,0001	0,0128
8	0,0001	0,0008	0,0028	0,0056	0,0070	0,0056	0,0028	0,0008	0,0256
9	0,0001	0,0009	0,0036	0,0084	0,0126	0,0126	0,0084	0,0036	0,0512
10	0,0001	0,0010	0,0045	0,0120	0,0210	0,0252	0,0210	0,0120	0,1024
11	0,0001	0,0011	0,0055	0,0165	0,0330	0,0462	0,0462	0,0330	0,2048
12	0,0001	0,0012	0,0066	0,0220	0,0495	0,0792	0,0924	0,0792	0,4096
13	0,0001	0,0013	0,0078	0,0286	0,0715	0,1287	0,1716	0,1716	0,8192
14	0,0001	0,0014	0,0091	0,0364	0,1001	0,2002	0,3003	0,3432	1,6384
15	0,0001	0,0015	0,0105	0,0455	0,1365	0,3003	0,5005	0,6435	3,2768

Продолжение таблицы 4 / Continuation of Table 4

T	s_8	s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}	s_{13}	s_{14}	s_{15}	X(t)
0									0,0001
1									0,0002
2									0,0004
3									0,0008
4									0,0016
5									0,0032
6									0,0064
7*									0,0128
8	0,0001								0,0256
9	0,0009	0,0001							0,0512
10	0,0045	0,0010	0,0001						0,1024
11	0,0165	0,0055	0,0011	0,0001					0,2048
12	0,0495	0,0220	0,0066	0,0012	0,0001				0,4096
13	0,1287	0,0715	0,0286	0,0078	0,0013	0,0001			0,8192
14	0,3003	0,2002	0,1001	0,0364	0,0091	0,0014	0,0001		1,6384
15	0,6435	0,5005	0,3003	0,1365	0,0455	0,0105	0,0015	0,0001	3,2768

В представленной таблице показаны рост популяции и структурные изменения одномерного автомата в условиях неограниченного роста в соответствии с моделью Мальтуса. На любом временном шаге *t* количество микроорганизмов в состояниях автомата выражается соответствующими значениями коэффициентов бинома Ньютона. Разнообразие состояний автомата растет неограниченно, увеличиваясь на единицу с каждым шагом. При этом всякое новое состояние автомата, подобно первому случаю, возникает, увеличивается его вес в популяции, достигает максимума, после чего это состояние доминируется следующим, возникшим после него состоянием. Однако в отличие от первого случая это доминируемое состояние не вытесняется из популяции и остается в совокупности состояний автомата, хотя его относительный вес по популяции стремится к нулю.

Подобно второму случаю, система сохраняет не только исходное состояние s_0, но и всю совокупность доминируемых состояний.

Подобно третьему случаю, в этих условиях система также совмещает две стратегии развития:

- «консервативную», так как на любом шаге времени *t* исходное состояние автомата s_0 остается актуальным;
- «инновационную», поскольку рост значения свойства, т.е. появление нового состояния автомата, происходит на каждом временном шаге *t*, совпадая с первым из четырех рассмотренных случаев.

Заметим, что согласно [13] проявленное биномиальное распределение вероятностей состояний является частным случаем, соответствующим нормальному распределению.

Заключение

Применение вероятностных клеточных автоматов позволило выделить следующие структурные свойства процессов, характеризующихся *C*-образными логистическими кривыми. Все рассмотренные случаи характеризуются нормальным распределением (или близким к нормальному распределению) весов состояний одномерного клеточного автомата. В первых двух случаях мы можем видеть распределение весов, близкое к нормальному, с учетом асимметрии

в сторону эталонного образца (самого развитого, или исходного) в зависимости от направления доминирования, что порождает отношение зеркальности между этими двумя случаями (стратегиями развития). Третий и четвертый случай объединяет свойство неограниченного роста разнообразия состояний автомата с учетом того, что в условиях отсутствия явного направления доминирования (третий случай) дисперсия этого распределения стремится к нулю. В двух последних случаях это симметричное распределение. А последний случай является классическим примером нормального распределения.

Для всех четырех случаев характерен экспоненциальный рост на начальном этапе развития, который потом приобретает индивидуальные характеристики в зависимости от особенностей направления развития. При этом для всех рассмотренных случаев характерна следующая динамика изменения веса состояния автомата в популяции: состояние появляется, его вес присутствия в популяции начинает расти, достигает своего максимального значения, после чего это состояние доминируется новыми появляющимися состояниями автомата. Выявленная динамика изменения веса состояния в популяции подобна фазам возникновения, развития и устаревания совокупности технологий в процессе поступательного развития. В первых трех случаях появляющиеся состояния не только утрачивают свое доминирование, но и впоследствии полностью вытесняются из совокупности состояний автомата под давлением новых состояний. А в случае неограниченного роста всякое новое состояние после своего обязательного доминирования над ранее появившимися состояниями доминируется всеми последующими состояниями, оставаясь в популяции.

При этом модель Мальтуса неограниченного роста содержит все свойства ранее рассмотренных случаев:

1. Появление новых состояний автомата, которые и являются текущим эталоном («инновация»).

2. Сохранение начального состояния в качестве эталона («консерватизм»).

3. Рост разнообразия (отсутствие выраженного доминирования по актуальному свойству).

Отметим еще один логически вытекающий из полученных результатов вывод: модель Лотки–Вольтерры предполагает, что убыль жертв, как и интенсивность питания хищников, зависит от вероятности их взаимной встречи. А с учетом выявленной структуры популяции мы можем констатировать, что наибольшим весом, а значит, и наибольшей вероятностью встречи хищника и жертвы обладают особи, соответствующие средним значениям актуального свойства по популяции как у хищников, так и у жертв.

Маркетинговым аналогом этого факта является то, что покупатель, вероятнее всего, встретит товары средней ценовой категории среднего качества. А меньшей вероятностью встречи будут обладать товары, уходящие с рынка или, наоборот, являющиеся дорогими инновационными образцами, которые еще не получили широкого распространения на рынке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Новиков Д. А.* Кибернетика: навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития. М.: ЛЕНАНД, 2024. 160 с.

2. *Ризниченко Г. Ю.* Математические модели в биофизике и экологии. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 184 с.

3. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.

4. *Бир С.* Мозг фирмы. М.: Либроком, 2009. 416 с.

5. *Фостер Р.* Обновление производства: атакующие выигрывают. М.: Прогресс, 1987. 272 с.

6. *Альтшуллер Г. С.* Творчество как точная наука. М.: Сов. радио, 1979. 184 с.

7. *Винер Н.* Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. М.: Наука, 1983. 343 с.

8. *Винер Н.* Кибернетика и общество. М.: АСТ, 2019. 288 с.

9. *Эшби У.* Р. Введение в кибернетику: пер. с англ. М.: Издательство иностранной литературы, 1959. 430 с.

10. *Тоффоли Т., Марголус Н.* Машины клеточных автоматов. М.: Мир, 1991. 284 с.

11. *Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М.* Генетические алгоритмы. М.: Физматлит, 2010. 368 с.

12. *Нетрусов А. И., Котова И. Б.* Микробиология. М.: Академия, 2009. 352 с.

13. *Энатская Н. Ю.* Теория вероятностей: учебник для вузов. М.: Юрайт, 2025. 204 с.

REFERENCES

1. Novikov D.A. *Kibernetika: navigator. Istoriya kibernetiki, sovremennoe sostoyanie, perspektivy razvitiya* [Cybernetics: Navigator. History of Cybernetics, Current State, Development Prospects]. Moscow: LENAND, 2024. 160 p. (In Russian)

2. Riznichenko G.Yu. *Matematicheskie modeli v biofizike i ekologii* [Mathematical Models in Biophysics and Ecology]. Izhevsk: Institut komp'yuternykh issledovaniy, 2003. 184 p. (In Russian)

3. Khaykin S. *Neyronnye seti: polnyi kurs* [Neural Networks: Comprehensive Course]. Moscow: Vil'yams, 2006. 1104 p. (In Russian)

4. Beer S. *Mozg firmy* [The brain of the firm]. Moscow: Librokom, 2009. 416 p. (In Russian)

5. Foster R. *Obnovlenie proizvodstva: atakuyushchie vyigryvayut* [Innovation: Attacker's Advantage]. Moscow: Progress, 1987. 272 p. (In Russian)

6. Al'tshuller G.S. *Tvorchestvo kak tochnaya nauka* [Creativity as an Exact Science]. Moscow: Sov. radio, 1979. 184 p. (In Russian)

7. Viner N. *Kibernetika, ili Upravlenie i svyaz' v zhivotnom i mashine* [Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine]. Moscow: Nauka, 1983. 343 p. (In Russian)

8. Viner N. *Kibernetika i obshchestvo* [Cybernetics and Society]. Moscow: AST, 2019. 288 p. (In Russian)

9. Ashby W.R. *Vvedenie v kibernetiku* [An Introduction to Cybernetics]. Moscow: Izd-vo inostrannoy literatury, 1959. 430 p. (In Russian)

10. Toffoli T., Margolus N. *Mashiny kletochnykh avtomatov* [Cellular Automata Machines]. Moscow: Mir, 1991. 284 p. (In Russian)

11. Gladkov L.A., Kureichik V.V., Kureichik V.M. *Geneticheskie algoritmy* [Genetic Algorithms]. Moscow: FIZMATLIT, 2010. 368 p. (In Russian)

12. Netrusov A.I., Kotova I.B. *Mikrobiologiya* [Microbiology]. Moscow: Akademiya, 2009. 352 p. (In Russian)

13. Enatskaya N.Yu. *Teoriya veroyatnostei: uchebnik dlya vuzov* [Probability Theory: textbook for universities]. Moscow: Yurayt, 2025. 204 p. (In Russian)

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Института прикладной математики и автоматизации – филиала Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук (тема № 125031904190-5).

Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (No. 125031904190-5).

Информация об авторе

Димитриченко Дмитрий Петрович, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. отдела нейроинформатики и машинного обучения, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А;

dimdp@rambler.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2399-3538, SPIN-код: 3272-3520

Information about the author

Dmitriy P. Dimitrichenko, Candidate of Technical Sciences, Researcher, Department of Neural Networks and Machine Learning, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

89 A, Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia;

dimdp@rambler.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2399-3538, SPIN-code: 3272-3520

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, СТАТИСТИКА

УДК 004.9 Обзорная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-157-171
EDN: EGNVKM

Вопросы функционирования информационных систем для повышения производительности технологических циклов в различных отраслях промышленности

Л. С. Звягин

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации
125167, Россия, Москва, Ленинградский проспект, 49/2

Аннотация. В статье представлен комплексный анализ применения современных информационно-измерительных систем (ИИС) как инструмента для повышения эффективности и надежности технологических процессов в контексте «Индустрии 4.0». Рассмотрены архитектура, компоненты и принципы функционирования ИИС, включая их интеграцию с промышленным интернетом вещей (IIoT), большими данными и искусственным интеллектом. На основе анализа конкретных примеров из ведущих отраслей промышленности России, таких как нефтегазовая, машиностроение, энергетика, химическая и металлургическая, продемонстрировано значительное влияние ИИС на оптимизацию ресурсов, повышение производительности и обеспечение безопасности. В статье предложена новая интегрированная многоуровневая адаптивная схема использования ИИС, которая объединяет физический, управляющий, производственный и корпоративный уровни в единую систему с аналитическим ядром на базе искусственного интеллекта. Разработанная схема обеспечивает проактивное принятие решений и создание саморегулирующихся производственных циклов.

Выводы. Результаты исследования подтверждают, что внедрение ИИС поможет переходить к предиктивному обслуживанию и повышать качество продукции. В статье обобщен существующий опыт и определены перспективные направления развития ИИС для построения устойчивых и конкурентоспособных промышленных предприятий.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, технологический процесс, эффективность, надежность, промышленная автоматизация, Индустрия 4.0, SCADA, MES, предиктивное обслуживание, промышленный интернет вещей (IIoT)

Поступила 21.10.2025, одобрена после рецензирования 07.11.2025, принята к публикации 25.11.2025

Для цитирования. Звягин Л. С. Вопросы функционирования информационных систем для повышения производительности технологических циклов в различных отраслях промышленности // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 157–171. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-157-171

MSC: 90B05, 68T09 Review article

Issues of functioning of information systems for increasing productivity of technological cycles in various industries

L.S. Zvyagin

Financial University under the Government of the Russian Federation,
49/2, Leningradsky Prospekt, Moscow, 125167, Russia

© Звягин Л. С., 2025

Abstract. The article presents a comprehensive analysis of the application of modern information and measuring systems (IMS) as a tool for improving the efficiency and reliability of technological processes in the context of "Industry 4.0". The architecture, components and principles of IMS operation are considered, including their integration with the Industrial Internet of Things (IIoT), big data and artificial intelligence. Based on the analysis of specific examples from leading Russian industries, such as oil and gas, mechanical engineering, energy, chemical and metallurgical, the significant impact of IMS on resource optimization, increased productivity and security is demonstrated. The article proposes a new integrated multi-level adaptive scheme for using IMS, which combines the physical, control, production and corporate levels into a single system with an analytical core based on artificial intelligence. The developed scheme ensures proactive decision-making and the creation of self-regulating production cycles.

Conclusions. The results of the study confirm that the implementation of the IIS helps to move to predictive maintenance and improve product quality. The article summarizes the existing experience and identifies promising areas for the development of the IIS for building sustainable and competitive industrial enterprises.

Keywords*:* information and measuring system, technological process, efficiency, reliability, industrial automation, Industry 4.0, SCADA, MES, predictive maintenance, Industrial Internet of Things (IIoT)

Submitted 21.10.2025, approved after reviewing 07.11.2025, accepted for publication 25.11.2025

For citation. Zvyagin L.S. Issues of functioning of information systems for increasing productivity of technological cycles in various industries. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 157–171. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-157-171

Введение

Современная промышленность функционирует в условиях постоянно ужесточающейся конкуренции и требует от предприятий непрерывного совершенствования производственных процессов. Глобальные вызовы, такие как необходимость снижения углеродного следа, рациональное использование ресурсов и обеспечение высочайших стандартов безопасности, ставят перед инженерами и управленцами сложные задачи. Информационно-измерительные системы (ИИС) перестают быть просто средством контроля и становятся центральным элементом цифровой трансформации производства. Как отмечают Р. И. Набиева и З. А. Муртазалиева, интеграция интеллектуальных датчиков, систем управления и аналитических платформ является фундаментом для построения «умного производства» [10]. Роль ИИС как ключевого фактора в достижении стратегических целей по эффективности, надежности и экологичности становится неоспоримой.

Современные сложные технологические циклы содержат сотни и тысячи взаимосвязанных параметров, которые делают невозможным их эффективное управление без применения автоматизированных систем. Недостаточная информированность о текущем состоянии оборудования и процесса приводит к неоптимальному расходу сырья и энергии, увеличению процента брака, а также к возникновению аварийных ситуаций с тяжелыми экономическими и экологическими последствиями. Проблема заключается в необходимости создания комплексной системы, способной осуществлять непрерывный многопараметрический мониторинг, глубокий анализ данных и проактивное управление технологическими процессами в режиме реального времени для минимизации потерь, предотвращения аварий и оптимизации использования всех видов ресурсов.

Цель исследования – анализ и обобщение теоретических основ и практического опыта применения современных информационно-измерительных систем (ИИС) для повышения эффективности и надежности технологических процессов в различных отраслях промышленности.

Задачи исследования:

1. Определить основные компоненты, архитектуру и принципы функционирования современных ИИС в промышленном секторе.

2. Рассмотреть и систематизировать конкретные примеры применения ИИС для повышения эффективности (оптимизация ресурсов, рост производительности) и надежности (предиктивное обслуживание, предотвращение аварий) в ключевых отраслях промышленности.

3. Разработать концептуальную технологическую схему интегрированного использования ИИС, отражающую современные тенденции развития «Индустрии 4.0».

Методы исследования

Методологической основой исследования послужил системный подход, чтобы рассмотреть ИИС как сложную, многокомпонентную систему, неразрывно связанную с объектом управления – технологическим процессом. Проведен систематический обзор литературы, анализ актуальных научных публикаций, монографий, отраслевых отчетов, стандартов и технической документации за последние годы. Особое внимание уделялось работам, посвященным архитектуре ИИС, интеллектуальным датчикам, системам SCADA и MES, а также концепциям «Индустрии 4.0» [14]. Метод помог сформировать теоретическую базу исследования и определить устоявшуюся терминологию. Для иллюстрации практического влияния ИИС на производственные показатели изучены успешные примеры внедрения ИИС на предприятиях различных отраслей, а именно: нефтегазовой, машиностроительной, энергетической и металлургической. Анализ кейсов выявил как общие закономерности, так и отраслевую специфику применения ИИС.

В ходе исследования проводилось сопоставление функциональных возможностей и характеристик различных поколений и типов ИИС. Сравнивались централизованные и распределенные архитектуры, проводные и беспроводные технологии передачи данных, а также различные уровни программного обеспечения (от полевого до корпоративного), чтобы оценить их влияние на ключевые показатели эффективности и надежности. Для разработки новой технологической схемы был применен системный анализ, чтобы оценить взаимосвязи между различными элементами ИИС (датчики, контроллеры, сети, ПО) и их комплексное влияние на технологический процесс. Моделирование информационных потоков и контуров обратной связи легло в основу предложенной интегрированной многоуровневой адаптивной схемы управления.

Результаты исследования

Современные информационно-измерительные системы (ИИС) – основа повышения эффективности и надежности технологических процессов в отраслях промышленности. Понимание их сущности является отправной точкой для всестороннего анализа их применения.

Информационно-измерительная система (ИИС) – совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и программных компонентов, предназначенных для получения измерительной информации о состоянии физических объектов, ее преобразования, обработки и представления в форме, удобной для принятия решений по управлению [11]. Как отмечает З. М. Селиванова, в отличие от простых измерительных приборов ИИС имеет иерархическую структуру, способную не только измерять, но и анализировать данные, выявлять тенденции и взаимодействовать с системами управления [12, 13]. Современные ИИС строятся по модульному принципу и могут гибко адаптироваться под конкретные задачи производства [2].

В промышленности ИИС выполняют три функции [11]:

- Информационная функция (сбор, обработка и визуализация данных о ходе технологического процесса и состоянии оборудования).

- Диагностическая функция (раннее обнаружение отклонений, диагностика неисправностей и прогнозирование отказов).

- Управляющая функция (формирование управляющих воздействий в автоматическом или автоматизированном режиме на основе анализа полученной информации для поддержания процесса в заданных рамках).

Представленная таблица 1 предлагает систематизированный взгляд на виды современных информационно-измерительных систем (ИИС), классифицируя их по трем признакам – уровню автоматизации, архитектуре и назначению. Такая классификация показывает разнообразие и функциональность ИИС в современной промышленности.

Таблица 1. Виды современных информационно-измерительных систем в отраслях промышленности [10, 11]

Table 1. Types of modern information and measurement systems in industries [10, 11]

Признак классификации	Виды ИИС	Краткая характеристика
1. По уровню автоматизации	Информационно-справочные	Предоставляют информацию оператору для принятия решений (советчик оператора).
	Информационно-управляющие	Формируют управляющие сигналы и передают их в систему автоматического управления (САУ).
2. По архитектуре	Централизованные	Единый центр сбора и обработки данных.
	Децентрализованные (распределенные)	Несколько локальных центров обработки, объединенных в общую сеть. Характерны для крупных и территориально распределенных объектов
3. По назначению	ИИС контроля технологических параметров	Мониторинг температуры, давления, расхода, уровня, концентрации и т.д.
	ИИС контроля качества продукции	Системы машинного зрения, спектрометры, хроматографы.
	ИИС мониторинга состояния оборудования	Системы вибродиагностики, тепловизионного контроля, акустического мониторинга.
	Системы экологического мониторинга	Контроль выбросов в атмосферу и сбросов в водные объекты.

Начнем с уровня автоматизации, который определяет степень участия человека в процессе управления. Здесь выделяются два основных вида ИИС. Информационно-справочные системы выступают в роли «советчика оператора», предоставляя необходимую информацию для принятия решений. Они являются фундаментом для более сложных систем, поскольку обеспечивают операторов актуальными данными. В отличие от них информационно-управляющие системы идут дальше, не только собирая данные, но и формируя управляющие сигналы, которые затем передаются в систему автоматического управления (САУ). Также демонстрирует их активную роль в непосредственном контроле над технологическими процессами, минимизируя необходимость прямого вмешательства человека.

Следующий важный признак – архитектура, которая характеризует способ организации сбора и обработки данных. Централизованные ИИС представляют классическую модель, где вся информация стекается в единый центр для обработки и анализа. Особенно удобно

для относительно небольших и компактных объектов, где контроль сосредоточен в одном месте. Однако для крупных и территориально распределенных промышленных объектов эффективными оказываются децентрализованные (распределенные) системы. Они состоят из нескольких локальных центров обработки данных, объединенных в общую сеть, чтобы обеспечивать большую гибкость, отказоустойчивость и масштабируемость, для обработки информации ближе к источнику ее возникновения.

В классификации по назначению раскрываются задачи, решаемые ИИС в различных промышленных сценариях. ИИС контроля технологических параметров являются базовым элементом любого производства, осуществляя непрерывный мониторинг таких важных показателей, как температура, давление, расход, уровень и концентрация. Данные системы жизненно важны для поддержания стабильности и безопасности процессов. Для обеспечения высокого качества продукции применяются ИИС контроля качества продукции, имеющие передовые технологии, такие как системы машинного зрения, спектрометры и хроматографы, которые позволяют автоматизировать проверку соответствия стандартам и выявлять дефекты. Чтобы обеспечить бесперебойную работу оборудования и предотвратить дорогостоящие простои, используются ИИС мониторинга состояния оборудования. Они базируются на методах вибродиагностики, тепловизионного и акустического контроля, чтобы прогнозировать поломки и планировать техническое обслуживание. И, наконец, в условиях растущей экологической ответственности системы экологического мониторинга контролируют выбросы в атмосферу и сбросы в водные объекты, помогая предприятиям соответствовать нормативным требованиям и снижать негативное воздействие на окружающую среду.

В совокупности указанная классификация подчеркивает комплексный и многогранный характер современных ИИС, которые становятся неотъемлемой частью промышленной инфраструктуры, не только обеспечивая контроль и управление, но и способствуя повышению эффективности, надежности и экологической безопасности производства.

Современные ИИС имеют иерархическую систему, построенную в соответствии с концепцией «Индустрии 4.0» [14]. Компоненты ИИС:

1. Нижний (полевой) уровень имеет сенсоры и датчики, которые непосредственно контактируют с технологическим процессом. Современные «умные датчики» (Smart Sensors) обладают встроенными микропроцессорами, могут осуществлять первичную обработку сигнала, самодиагностику и передавать данные по цифровым протоколам. Широкое распространение получают беспроводные сенсорные сети (Wireless Sensor Networks), значительно снижающие затраты на монтаж и обслуживание. На этом же уровне находятся исполнительные механизмы (клапаны, приводы, насосы).

2. Средний уровень представлен программируемыми логическими контроллерами (ПЛК) и промышленными компьютерами. Они осуществляют сбор данных с датчиков, реализуют алгоритмы локального управления и противоаварийной защиты (ПАЗ), а также служат шлюзом для передачи данных на верхний уровень.

3. Верхний уровень имеет средства связи (промышленные сети, такие как Ethernet/IP, Profinet, беспроводные технологии LoRaWAN, 5G) и программное обеспечение. Основными программными компонентами являются:

- SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) – системы для диспетчерского управления и сбора данных, обеспечивающие визуализацию процесса, архивирование данных и сигнализацию [3].

- MES (Manufacturing Execution System) – системы управления производственными процессами, которые связывают уровень АСУ ТП с корпоративным уровнем планирования [4].

- ERP (Enterprise Resource Planning) – системы планирования ресурсов предприятия, использующие данные от ИИС для финансового и логистического планирования [15].

Основным принципом ИИС является создание непрерывного информационного потока от датчика до уровня принятия бизнес-решений и обратно. Данные собираются в реальном времени, передаются по сетям связи, обрабатываются и хранятся в базах данных. На основе анализа формируется обратная связь – управляющие воздействия, направленные на оптимизацию или стабилизацию процесса [9].

Современные ИИС неразрывно связаны с технологиями «Индустрии 4.0» [14]. Промышленный интернет вещей (IIoT) обеспечивает бесшовное подключение огромного количества датчиков и устройств. Облачные вычисления предоставляют практически неограниченные ресурсы для хранения и обработки данных. Технологии Больших данных (Big Data) помогают анализировать гигантские массивы информации для выявления скрытых закономерностей. Искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (ML) используются для построения предиктивных моделей, оптимизации и создания адаптивных систем управления.

В нефтегазовой промышленности ИИС применяются для телемеханики и мониторинга тысяч километров трубопроводов, чтобы обнаруживать утечки с помощью распределенных оптоволоконных датчиков. На станках с ЧПУ ИИС контролируют точность обработки, износ инструмента и вибрации, напрямую влияя на качество конечных изделий в машиностроении. Роботизированные комплексы, оснащенные системами машинного зрения, автоматизируют сборочные операции [1].

ИИС являются основой систем управления распределенными сетями (Smart Grids), чтобы в реальном времени балансировать выработку и потребление электроэнергии. На электростанциях ведется постоянный мониторинг состояния турбин, генераторов и котлов для предотвращения аварий [6]. В. А. Кузовкин, В. В. Филатов рассматривают основы электротехники и электроники, которые являются базой для работы такого оборудования [7]. Жесткие требования к соблюдению рецептуры и температурных режимов делают ИИС незаменимыми в химической промышленности. Они управляют сложными процессами синтеза в реакторах, обеспечивая стабильное качество и безопасность производства [13]. При этом используются различные измерительные приборы, например, Б. В. Мак описывает цифровой пирометр спектрального отношения для измерения температуры нагретых деталей [8].

В металлургии ИИС контролируют температурные режимы доменных и сталеплавильных печей, управляют подачей шихты и кислорода, анализируют химический состав расплава в реальном времени, чтобы получать металл с заданными свойствами и экономить легирующие материалы [5]. В. И. Киселев, Э. В. Кузнецов, А. И. Копылов, В. П. Лунин описывают электромагнитные устройства и электрические машины, которые являются исполнительными механизмами в таких процессах [6].

В таблице 2 указаны примеры того, как информационно-измерительные системы преобразуют производственные процессы на ведущих российских промышленных предприятиях, значительно повышая их эффективность и надежность.

Таблица 2. Примеры применения информационно-измерительных систем для повышения эффективности и надежности технологических процессов промышленных предприятий России*

Table 2. Examples of how information and measurement systems are used to improve the efficiency and reliability of technological processes in Russian industrial companies.

Отрасль	Предприятие (пример)	Применение ИИС	Достигаемый эффект
Нефтегазовая	ПАО «Газпром нефть»	Система предиктивной аналитики и удаленного мониторинга работы УЭЦН (установок электроцентробежных насосов).	Сокращение отказов оборудования на 22 %, увеличение межремонтного периода, оптимизация режимов добычи.
Металлургия	ПАО «Северсталь»	ИИС на базе ИИ для управления процессом конвертерной плавки стали («советчик сталевара»).	Повышение точности попадания в заданный химический состав и температуру с первого раза, экономия ферросплавов, снижение расхода кислорода.
Машиностроение	ПАО «КАМАЗ»	MES-система для управления сборочным конвейером, интеграция с системами контроля качества (машинное зрение).	Повышение производительности конвейера, обеспечение 100 % прослеживаемости компонентов, снижение уровня брака.
Энергетика	Концерн «Росэнергоатом»	Системы вибродиагностики и онлайн-мониторинга основного оборудования АЭС (турбогенераторы, главные циркуляционные насосы).	Повышение надежности, переход к ремонтам по состоянию, предотвращение серьезных инцидентов.
Химическая	ПАО «СИБУР Холдинг»	Усовершенствованные системы управления технологическими процессами (APC) на установках пиролиза и полимеризации.	Стабилизация качества продукции, увеличение выхода целевых продуктов на 1–3 %, снижение энергопотребления.

*составлено автором

Анализ данных по различным отраслям наглядно показывает универсальность и многофункциональность ИИС в достижении конкретных экономических и операционных выгод. В нефтегазовой отрасли, в частности на ПАО «Газпром нефть», внедрение систем предиктивной аналитики и удаленного мониторинга работы установок электроцентробежных насосов (УЭЦН) привело к впечатляющим результатам. ИИС помогли сократить отказы оборудования на 22 %, значительно увеличить межремонтный период и оптимизировать режимы добычи. Такое сокращение отказов критически важно для отрасли, где простой оборудования влечет за собой огромные финансовые потери. Аналогичные успехи наблюдаются и в металлургии. На ПАО «Северсталь» ИИС на базе искусственного интеллекта (ИИ), выполняющие функцию «советчика сталевара» для управления процессом конвертерной плавки стали, обеспечили повышение точности попадания в заданный химический состав и температуру с первого раза. Помимо этого, системы способствовали экономии ферросплавов и снижению расхода кислорода, что напрямую влияет на себестоимость и экологичность производства.

В машиностроительной отрасли, представленной ПАО «КАМАЗ», интеграция MES-системы для управления сборочным конвейером с системами контроля качества на базе машинного зрения привела к заметному скачку в эффективности. Результатом стало повышение производительности конвейера, обеспечение 100 % прослеживаемости компонентов на всех этапах сборки и снижение уровня брака. Для энергетики, особенно атомной, надежность является paramount. Концерн «Росэнергоатом» успешно внедрил системы вибродиагностики и онлайн-мониторинга основного оборудования АЭС, такого как турбогенераторы и главные циркуляционные насосы. ИИС помогли повысить надежность эксплуатации, осуществить переход к ремонтам по фактическому состоянию оборудования и, что

самое главное, предотвратить серьезные инциденты, тем самым обеспечивая безопасность и стабильность энергоснабжения. В химической промышленности, на примере ПАО «СИБУР Холдинг», усовершенствованные системы управления технологическими процессами (АРС) на установках пиролиза и полимеризации продемонстрировали свою эффективность. Применение ИИС привело к стабилизации качества продукции, увеличению выхода целевых продуктов на 1–3 % и заметному снижению энергопотребления. В данном примере подчеркивается способность ИИС оптимизировать сложные химические реакции, делая их более рентабельными и устойчивыми.

Итак, представленные примеры доказывают, что современные информационно-измерительные системы являются необходимым инструментом для модернизации российских промышленных предприятий. Они обеспечивают повышение эффективности за счет оптимизации ресурсов и увеличения производительности, а также гарантируют надежность технологических процессов, минимизируя риски аварий и улучшая качество продукции. Такие достижения свидетельствуют о том, что инвестиции в ИИС являются стратегически важными для повышения конкурентоспособности и устойчивого развития отечественной промышленности. ИИС помогают перейти от нормативного к фактическому учету потребления электроэнергии, воды, пара и сырья. Путем непрерывного мониторинга система выявляет непроизводительные расходы, утечки и неоптимальные режимы работы оборудования. Например, в химической промышленности точное дозирование реагентов на основе данных от поточных анализаторов помогает экономить дорогостоящие компоненты, чтобы снижать количество отходов [10].

Автоматический контроль качества с использованием систем машинного зрения или спектрального анализа дает отбраковывать дефектную продукцию на ранних стадиях, сокращая потери. Анализ данных о прохождении изделий по технологической цепочке (данные от MES) помогает выявлять «узкие места» и оптимизировать производственный поток, сокращая цикл производства. А. В. Анцев, Е. С. Янов, М.С. Воротилин подчеркивают, что внедрение ИИС может повысить пропускную способность линий на 15–20 % без значительных капиталовложений в основное оборудование [1].

Предиктивное обслуживание (Predictive Maintenance) – одна из значимых областей применения ИИС. Вместо планово-предупредительных ремонтов (по расписанию) предприятия переходят к обслуживанию по фактическому состоянию. Датчики вибрации, температуры, акустические сенсоры и анализ потребляемого тока непрерывно отслеживают «здоровье» оборудования. Алгоритмы машинного обучения анализируют данные, выявляют аномалии, характерные для зарождающихся дефектов, и с высокой точностью прогнозируют время до отказа, чтобы планировать ремонты заранее, избегая внезапных остановок производства. Также ИИС обеспечивают непрерывный контроль критически важных параметров процесса. Любое отклонение от нормы немедленно фиксируется, и система оповещает оператора, чтобы принять меры до того, как ситуация перерастет в аварийную.

Современные ИИС интегрированы с системами противоаварийной защиты (ПАЗ). При достижении параметрами предустановочных или аварийных значений система может автоматически остановить агрегат, переключить поток на резервную линию или активировать системы пожаротушения, минимизируя роль человеческого фактора в критических ситуациях. Важнейшим аспектом здесь является кибербезопасность самих ИИС, так как их отказ или взлом могут привести к катастрофическим последствиям [5]. А.С. Бордюг рассматривает проблемы кибербезопасности, в том числе в информационно-измерительных системах [3]. Архитектура ИИС строится с учетом требований надежности. Применяется резервирование контроллеров (горячий резерв), сетей передачи данных (кольцевая топология), серверов (кластеризация), которые обеспечивают непрерывность работы системы даже в случае отказа отдельных ее частей.

На основе проведенного анализа предлагается интегрированная многоуровневая адаптивная схема управления на базе ИИС (рис. 1). Ее новизна заключается в создании замкнутого адаптивного контура, охватывающего все уровни производства и использующего ИИ в качестве ядра принятия решений.

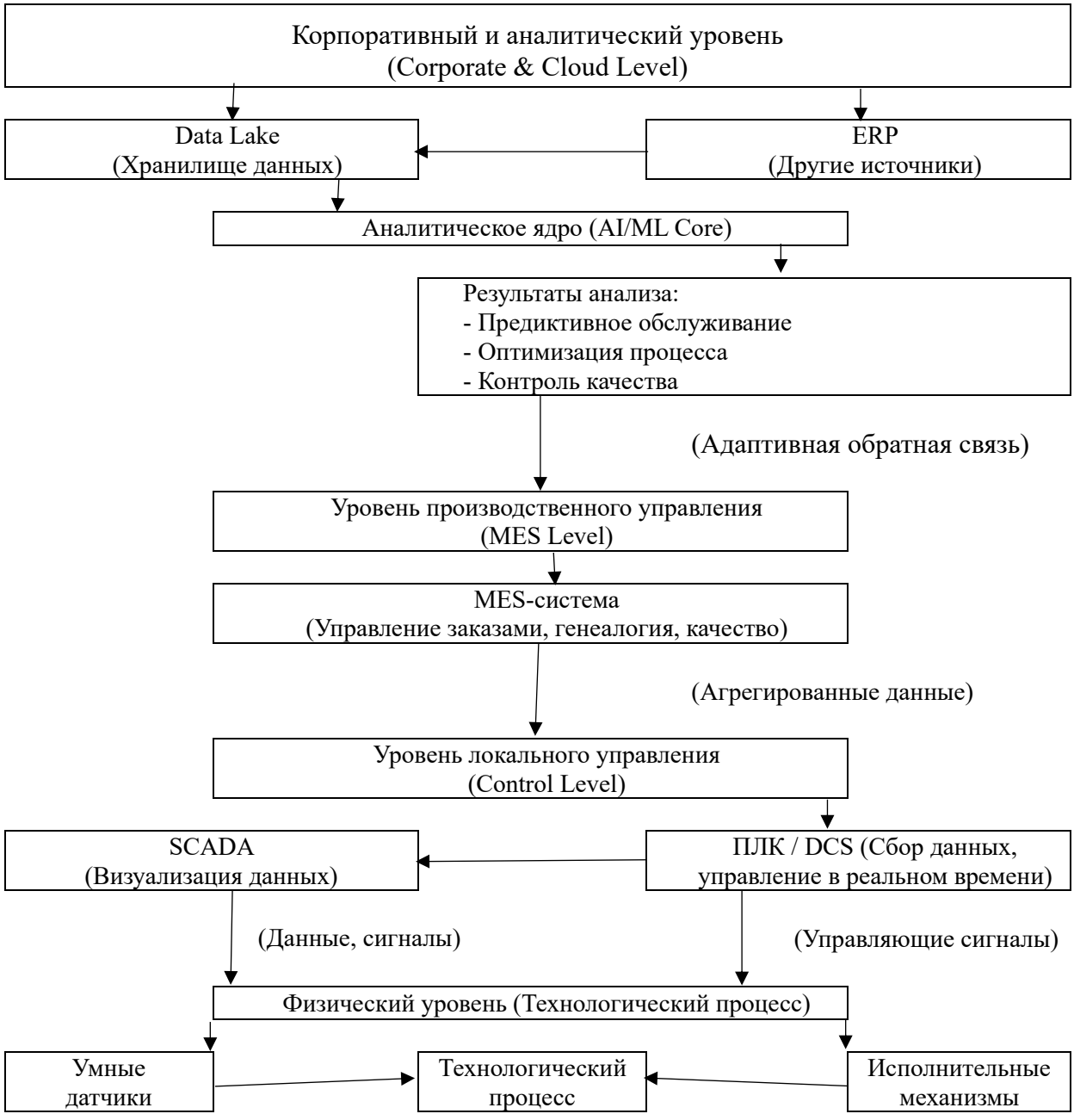


***Рис. 1**. Блок-схема применения современных информационно-измерительных систем в технологическом процессе промышленных предприятий**

***Fig. 1**. Block diagram of the application of modern information and measurement systems in the technological process of industrial enterprises*

Представленная блок-схема описывает многоуровневую архитектуру применения современных информационно-измерительных систем (ИИС) в промышленных технологических процессах, демонстрируя непрерывный цикл сбора данных, анализа и управляющего воздействия. Система построена по иерархическому принципу, где каждый уровень выполняет свою специфическую роль и взаимодействует с соседними.

В основании всей системы находится «Физический уровень», который содержит «Технологический процесс». На данном уровне умные датчики (Smart Sensors) непрерывно собирают данные о состоянии процесса и поставляют их на следующий, вышестоящий уровень. Одновременно исполнительные механизмы (Actuators), расположенные на этом же уровне, получают управляющие сигналы из системы и непосредственно воздействуют на технологический процесс, внося необходимые изменения.

Умные датчики измеряют различные параметры технологического процесса. Показания датчиков можно представить как временные ряды:

$$D(t) = \{d_1(t), d_3(t), \ldots, d_n(t)\}, \quad (1)$$

где *D(t)* – вектор измеренных параметров в момент времени *t*, *d(t)* – значение датчика в момент времени *t, n* – общее количество датчиков.

Исполнительные механизмы принимают управляющие сигналы и изменяют параметры процесса:

$$U(t) = \{u_1(t), u_2(t), \ldots, u_m(t)\}, \quad (2)$$

где *U(t)* – вектор управляющих воздействий в момент времени *t*, *u(t)* – значение управляющего сигнала для исполнительного механизма в момент времени *t*, *m* – общее количество исполнительных механизмов.

Для глубокого анализа и оптимизации используется модель технологического процесса, которая состоит из дифференциального уравнения, описывающего динамику процесса:

$$\frac{dX}{dt} = F(X, U, P), \quad (3)$$

где X – вектор состояний процесса (температура, давление, концентрация и т.д.), U – вектор управляющих воздействий, P – вектор параметров процесса (константы, коэффициенты), F – функция, описывающая динамику процесса.

Над физическим уровнем располагается «Уровень локального управления». Здесь главными элементами являются программируемые логические контроллеры (ПЛК) и распределенные системы управления (DCS). Именно они собирают и обрабатывают данные, поступающие от умных датчиков.

Данные от датчиков могут быть зашумлены и требуют обработки. Скользящее среднее (для сглаживания шумов):

$$\bar{d}_i(t) = \frac{1}{W}\sum_{k=0}^{W-1} d_i(t-k), \quad (4)$$

где $\bar{d}_i(t)$ – сглаженное значение i-го датчика, W – размер окна усреднения.

Агрегация данных (например, по временным интервалам):

$$D_{agg}(T) = Aggregate(D(t) for\ t \in [T, T + \Delta T]), \quad (5)$$

где: $D_{agg}(T)$ – агрегированные данные за интервал *ΔT, Aggregate* – функция агрегации (среднее, сумма, максимум, минимум и т.д.).

На основе данной информации ПЛК/DCS генерируют управляющие сигналы и передают их исполнительным механизмам, обеспечивая базовую автоматизацию и безопасность процесса в реальном времени. ПЛК/DCS часто используют ПИД-регуляторы для поддержания заданных параметров:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (6)$$

где $u(t)$ – управляющий сигнал, $e(t)$ – ошибка регулирования (разность между заданным значением и текущим значением процесса), K_p, K_i, K_d – пропорциональный, интегральный и дифференциальный коэффициенты соответственно.

Кроме того, данные с этого уровня визуализируются через SCADA-системы, которые предоставляют операторам обзор текущего состояния производства. SCADA-системы также агрегируют данные и передают их на следующий уровень.

Далее следует «Уровень производственного управления (MES Level)», центральным элементом которого является MES-система. Она получает агрегированные данные от SCADA-систем и использует их для выполнения ключевых функций, таких как отслеживание производственных заказов, управление генеалогией продукта и контроль качества. Интегрируя данные, MES-система создает комплексную картину текущего состояния производства. Собранная MES-системой информация в свою очередь передается на самый верхний уровень.

MES-система может использовать алгоритмы для оптимизации расписания производства на основе текущей загрузки и доступности ресурсов. Целевая функция (минимизация времени простоя):

$$min \sum_{j=1}^{N_o} \left(T_{finish,j} - T_{start,j} - Dur_j\right), \quad (7)$$

где N_o – количество заказов, $T_{finish,j}T_{start,j}$ – время завершения и начала j-го заказа, Dur_j – длительность выполнения j-го заказа.

Вершину иерархии занимает «Корпоративный и аналитический уровень». Здесь данные из MES-системы, а также из других корпоративных источников, таких как ERP-системы, поступают в хранилище данных (Data Lake), которое становится централизованным ресурсом для обширного анализа. Роль на таком уровне играет аналитическое ядро (AI/ML Core), которое использует модели машинного обучения и искусственного интеллекта для обработки больших объемов данных. Задачи, решаемые на данном уровне, – предиктивное обслуживание оборудования (прогнозирование отказов), оптимизация процесса (расчет оптимальных уставок для температуры, давления, скорости с целью максимизации выпуска или минимизации энергопотребления) и углубленный контроль качества (выявление аномалий, ведущих к браку).

В блок-схеме «Адаптивная обратная связь (Adaptive Feedback Loop)» имеется непрерывный контур, который замыкает цикл управления, обеспечивая постоянное совершенствование и адаптацию технологического процесса. Результаты глубокого анализа, полученные на корпоративном и аналитическом уровне (например, новые, оптимальные уставки для оборудования или команды на проведение технического обслуживания), не просто отображаются в отчетах. Они автоматически транслируются обратно на нижние уровни, сначала в MES-систему, а затем в SCADA/ПЛК. На этих уровнях корректируются управляющие сигналы, которые в итоге передаются исполнительным механизмам.

Результаты анализа (например, оптимальные уставки U_{opt} или команды на техническое обслуживание) передаются обратно на нижние уровни. Формула корректирующего воздействия:

$$U_{new} = U_{current} + \Delta U_{AI}, \quad (8)$$

где U_{new} – новые управляющие сигналы/уставки, $U_{current}$ – текущие управляющие сигналы/уставки, ΔU_{AI} – корректирующее воздействие, рассчитанное AI/ML ядром.

В результате технологический процесс изменяется в соответствии с полученными аналитическими данными, чтобы системе самооптимизироваться и повышать свою эффективность и надежность в динамическом режиме.

Такая комплексная система иллюстрирует, как современные ИИС, объединяя различные уровни автоматизации и анализа, создают интеллектуальную производственную среду, способную к самокоррекции и постоянному улучшению.

Обсуждение

Внедрение современных ИИС, безусловно, является мощным фактором повышения конкурентоспособности промышленных предприятий. Представленные результаты показывают, что эффект от их применения носит комплексный характер, затрагивая как экономические (эффективность), так и технические (надежность) аспекты производства. Предложенная интегрированная многоуровневая адаптивная схема отражает логический вектор развития промышленных систем управления – переход от пассивного сбора информации к проактивному, самообучающемуся управлению.

Однако на пути к повсеместному внедрению таких систем существует ряд барьеров. Во-первых, высокая стоимость внедрения, затраты на оборудование, программное обеспечение и интеграцию. Во-вторых, проблема кибербезопасности. По мере роста интеграции ИИС с корпоративными и облачными сетями возрастают риски несанкционированного доступа и кибератак, способных парализовать производство. В-третьих, существует дефицит квалифицированных кадров – специалистов, способных проектировать, обслуживать и эффективно использовать сложные ИИС, а также аналитиков данных (Data Scientists) для промышленного сектора.

Будущее развитие ИИС связано с интеграцией искусственного интеллекта, развитием технологий «цифровых двойников» (Digital Twins), которые имеют полную виртуальную копию физического объекта и дают моделировать любые процессы без риска для реального производства, а также с использованием периферийных вычислений (Edge Computing), когда первичная аналитика выполняется непосредственно на уровне контроллеров, что снижает нагрузку на сети и повышает быстродействие.

Заключение

Современные информационно-измерительные системы являются неотъемлемой частью любого высокотехнологичного производства. Их применение решает основные задачи по повышению эффективности и надежности технологических процессов. В ходе исследования установлено, что ИИС, интегрированные в рамках концепции «Индустрия 4.0», обеспечивают:

– Повышение эффективности за счет оптимизации потребления ресурсов, роста производительности и внедрения предиктивного обслуживания оборудования.

– Повышение надежности путем непрерывного мониторинга, ранней диагностики неисправностей, предотвращения аварий и минимизации человеческого фактора.

Предложенная интегрированная многоуровневая адаптивная схема управления демонстрирует перспективный подход к построению ИИС, основанный на тесной интеграции всех уровней производства и использовании искусственного интеллекта для создания адаптивной обратной связи. Такая архитектура дает системам реагировать на события и проактивно управлять процессом, постоянно самообучаясь и адаптируясь для достижения оптимальных показателей.

Несмотря на существующие вызовы, связанные со стоимостью, кибербезопасностью и кадровым обеспечением, дальнейшее развитие и внедрение интеллектуальных ИИС является безальтернативным путем для промышленных предприятий, стремящихся к лидерству в условиях глобальной цифровой экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анцев А. В., Янов Е. С., Воротилин М. С.* Информационно-измерительные системы мониторинга работы станочного парка предприятия // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 9. С. 495–498. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-9-490-491

2. *Бахтин А. В., Ремизова И. В.* Технологические измерения и приборы. Основы измерительной техники и информационно-измерительные системы: учебное пособие. 2-е изд., доп. и перераб. СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2024. 66 с.

3. *Бордюг А. С.* Проблемы кибербезопасности в судовых информационно-измерительных системах // Морские технологии: проблемы и решения – 2021: сборник статей участников Национальной научно-практической конференции / Под общей редакцией Е. П. Масюткина. Керчь, 2021. 2021. С. 111–114.

4. *Васильев А. М.* Вопросы обработки данных в распределенных информационно-измерительных системах // Вестник Московского государственного университета приборостроения и информатики. Серия: Приборостроение и информационные технологии. 2009. № 19. С. 3–15. EDN: OELBXB

5. *Ткачев М. Ю.*, *Еронько С. П.,* Контрольно-измерительные приборы и автоматизация металлургического производства. М., Изд-во «Инфра-Инженерия», 2023. 257 с.

6. *Киселев В. И., Кузнецов Э. В., Копылов А. И., Лунин В. П.* Электротехника и электроника в 3 т. Том 2. Электромагнитные устройства и электрические машины: учебник и практикум для СПО; 2-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2017. 184 с.

7. *Кузовкин В. А., Филатов В. В.* Электротехника и электроника. М.: Юрайт, 2017. 431 с.

8. *Мак Б. В.* Цифровой пирометр спектрального отношения для измерения температуры нагретых деталей // XXVII Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области: сборник материалов конференции, Волгоград, 02–15 ноября 2022 года / Редколлегия: С. В. Кузьмин (отв. ред.) и др. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2022. С. 230–231.

9. *Мелентьев В. С., Поздеева Е. В.* Информационно-измерительная система контроля электрических параметров энергообъектов // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. 2016. № 12(94). С. 254–257. EDN: YFOPFB

10. *Набиев Р. И., Муртазалиева З. А.* Основные аспекты формирования современных информационно-измерительных систем производства // Наука и образование сегодня. 2018. № 1(24). С. 11–13. EDN: YLVXTC

11. *Селиванова З. М.* Интеллектуальная информационно-измерительная система для определения теплофизических свойств твердых материалов // Приборы и техника эксперимента. 2006. № 4. С. 153–154. EDN: HUZCMX

12. *Селиванова З. М.* Интеллектуальные информационно-измерительные системы: учебное пособие. Тамбов: ТГТУ, 2024. 82 с.

13. *Селиванова З. М., Самохвалов А. А.* Проектирование интеллектуальных информационно-измерительных систем неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2010. Т. 16. № 2. С. 273–283. EDN: MJBYAN

14. *Солдатов А. С.* Концепция создания перспективной информационно-измерительной системы для летных испытаний авиационной техники с применением технологий индустрии 4.0 // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2021. № 20. С. 167–177.

15. *Хоан Т. А., Селиванова З. М.* Информационное обеспечение интеллектуальной информационно-измерительной системы параметров экологического контроля теплоизоляционных материалов // Ноосферный вектор устойчивого развития: сб. материалов IV Международной научно-практической конференции-форума им. В. И. Вернадского / под общ. ред. Е. С. Симбирских. Мичуринск: Изд-во Мичуринского ГАУ, 2017. С. 86–89.

REFERENCES

1. Antsev A.V., Yanov E.S., Vorotilin M.S. Information and measuring systems for monitoring the operation of the enterprise's machine tools. *Bulletin of Tula State University. Technical Sciences.* 2023. No. 9. Pp. 495–498. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-9-490-491. (In Russian)

2. Bakhtin A.V., Remizova I.V. *Tekhnologicheskie izmereniya i pribory. Osnovy izmeritel'noy tekhniki i informacionno-izmeritel'nye sistemy* [Technological measurements and devices. fundamentals of measuring equipment and information]. Measuring Systems: textbook. 2nd edition., suppl. and revised. SPb.: VShTE SPbGUPTD, 2024. 66 p. (In Russian)

3. Bordyug A.S. Cybersecurity problems in ship information-measuring systems. *Morskie tekhnologii: problemy i resheniya – 2021: sbornik statey uchastnikov Nacional'noy nauchno-prakticheskoy konferencii. Pod obshchey redakciey E. P. Masyutkina.* [Marine technologies: problems and solutions – 2021. Collection of articles by participants of the National Scientific and Practical Conference. Edited by E. P. Masutkin]. Kerch', 2021. Pp. 111–114. (In Russian)

4. Vasiliev A.M. Data processing issues in distributed information-measuring systems. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta priborostroeniya i informatiki. Seriya: Priborostroenie i informacionnye tekhnologii* [Bulletin of Moscow State University of Instrument Engineering and Informatics. Series: Instrument Engineering and Information Technology]. 2009. No. 19. Pp. 3–15. EDN: OELBXB. (In Russian)

5. Tkachev M.Yu, Eronko S.P. *Kontrol'no-izmeritel'nye pribory i avtomatizaciya metallurgicheskogo proizvodstva* [Control and measuring devices and automation of metallurgical production]. Moscow, Izd-vo “Infra-Inzheneriya”, 2023. 257 p. (In Russian)

6. Kiselev V.I., Kuznetsov E.V., Kopylov A.I., Lunin V.P. *Elektrotekhnika i elektronika v 3 t. Tom 2. Elektromagnitnye ustrojstva i elektricheskie mashiny* [Electrical engineering and electronics in 3 vol. Vol. 2. Electromagnetic devices and electrical machines]: textbook and practical training for secondary vocational education. 2nd ed., revised. and additional. Moscow: Yurait, 2017. 184 p. (In Russian)

7. Kuzovkin V.A., Filatov V.V. *Elektrotekhnika i elektronika* [Electrical engineering and electronics: textbook for secondary vocational education]. Moscow: Yurait, 2017. 431 p. (In Russian)

8. *Mak B.V.* Digital spectral ratio pyrometer for measuring the temperature of heated parts. *XXVII Regional'naya konferenciya molodyh uchenyh i issledovateley Volgogradskoy oblasti: Sbornik materialov konferencii* [XXVII Regional Conference of Young Scientists and Researchers of the Volgograd Region]: Conference Proceedings, Volgograd, November 2–15, 2022. Editorial Board: S.V. Kuzmin (editor-in-chief) [et al.]. Volgograd: Volgograd State Technical University, 2022. Pp. 230–231. (In Russian)

9. Melentyev V.S., Pozdeeva E.V. Information and measuring system for monitoring electrical parameters of power facilities. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyah – MMTT* [Mathematical Methods in Engineering and Technology – MMTT]. 2016. No. 12(94). Pp. 254–257. (In Russian)

10. Nabiev R.I. Murtazalieva Z.A. Main aspects of the formation of modern information-measuring systems of production. *Science and Education Today*. 2018. No. 1(24). Pp. 11–13. (In Russian)

11. Selivanova Z. M. Intelligent information-measuring system for determining the thermophysical properties of solid materials. *Pribory i tekhnika eksperimenta.* 2006. No. 4. Pp. 153–154. EDN: HUZCMX. (In Russian)

12. Selivanova Z.M. *Intellektual'nyye informatsionno-izmeritel'nyye sistemy: uchebnoye posobiye* [Intelligent information-measuring systems: a tutorial]. Tambov: Tambovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet, 2024. 82 p. (In Russian)

13. Selivanova Z.M., Samokhvalov A.A. Design of intelligent information-measuring systems for non-destructive testing of thermal-physical properties of materials. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Tambov State Technical University]. 2010. Vol. 16. No. 2. Pp. 273–283. EDN: MJBYAN. (In Russian)

14. Soldatov A.S. The concept of creating a promising information and measuring system for flight tests of aircraft equipment using industry 4.0 technologies. *Air and Space Forces. Theory and Practice*. 2021. No. 20. Pp. 167–177. DOI: 10.24412/2500-4352-2021-20-167-177. (In Russian)

15. Hoan T.A., Selivanova Z.M. Information support for an intelligent information-measuring system of environmental control parameters of thermal insulation materials. *Noosfernyy vektor ustoychivogo razvitiya: Sb. materialov IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii-foruma im. V. I. Vernadskogo; pod obshch. red. E. S. Simbirskih* [Noospheric vector of sustainable development: collection of materials of the IV Intern. scientific and practical conference-forum named after V.I. Vernadsky; edited by E.S. Simbirskikh]. Michurinsk: Izd-vo Michurinskogo SAU, 2017. Pp. 86–89. (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Звягин Леонид Сергеевич, канд. экон. наук, доцент, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации;
125167, Россия, Москва, Ленинградский проспект, 49/2;
lszvyagin@fa.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4983-6012, SPIN-код: 9400-1926

Information about the author

Leonid S. Zvyagin, Candidate of Economics, Associate Professor, Financial University under the Government of the Russian Federation;
49/2, Leningradsky Prospect, Moscow, 125167, Russia;
lszvyagin@fa.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4983-6012, SPIN-code: 9400-1926

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, СТАТИСТИКА

УДК 004.89 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-172-185
EDN: GLGVND

«Что делает мозг?», или Решение априорно не определенных проблем на основе синтеза поведения автономного агента в реальной среде

З. В. Нагоев[1, 2], О. В. Нагоева✉[2]

[1]Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2
[2]Институт информатики и проблем регионального управления –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

Аннотация. Актуальность работы определяется необходимостью разработки теоретических основ создания систем универсального искусственного интеллекта.

Цель исследования – создание концептуальной модели системной сущности мозга.

Методы исследования. Принципиальное значение имеет то, что как метаалгоритмы онтологизации, так и алгоритмы идентификации и решения проблем выполняют синтез точек и отрезков в траектории движения агента в пространстве поведения. Это означает, что онтологизация, идентификация и решение всех проблем, с которыми сталкивается агент в реальной среде в течение своей экзистенции, выполняются с помощью синтеза и реализации поведения агента в этой среде.

Результаты. Построена гипотеза о системной целевой функции мозга, разработана вычислительная абстракция базовых процессов ее обеспечения на основе метафоры проектирования нейрокогнитивной системы управления поведением автономного агента в реальной среде. Предложена концепция экзистенции агента как траектории его движения в пространстве поведения, являющемся математической абстракцией пространства состояний системы «агент – среда – наблюдатель». Предложена концепция адаптации агента к условиям реального мира на основе реализуемых мозгом метаалгоритмов онтологизации и алгоритмов идентификации и решения априорно не определенных проблем на базе метафоры проектирования автономного синтеза траектории движения агента в пространстве поведения.

Заключение. Разработанные концепции обосновывают представление об онтологизации, идентификации и решении проблем агентом в реальной среде как о процессах автономного синтеза его поведения, что создает теоретический базис для создания систем универсального искусственного интеллекта.

Ключевые слова: универсальный искусственный интеллект, мозг человека, модели мышления, мультиагентные системы, нейрокогнитивные архитектуры, решение априорно не определенных проблем

Поступила 07.11.2025, одобрена после рецензирования 24.11.2025, принята к публикации 10.12.2025

Для цитирования. Нагоев З. В., Нагоева О. В. «Что делает мозг?», или Решение априорно не определенных проблем на основе синтеза поведения автономного агента в реальной среде // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 172–185. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-172-185

© Нагоев З. В., Нагоева О. В., 2025

MSC: 68T42 Original article

"What does the brain do?", or Solving a priori undefined problems based on an autonomous agent behavior in real environment

Z.V. Nagoev[1, 2], O.V. Nagoeva✉[2]

[1]Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia
[2]Institute of Computer Science and Problems of Regional Management –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. The relevance of the work is determined by the need to develop theoretical foundations for the creation of universal artificial intelligence systems.

Aim. This work is to create a conceptual model of the systemic essence of the brain.

Research methods. Of fundamental importance is that both ontology meta-matching technique and problem-solving algorithms synthesize points and segments along an agent's movement in a behavioral space. This means that ontologization, identification, and solution of all problems encountered by the agent in the real environment during its existence are accomplished through the synthesis and implementation of the agent's behavior in that environment.

Results. A hypothesis about the systematic target function of the brain has been formulated, and a computational model of the basic processes underlying its operation has been developed, based on the analogy of designing a neurocognitive system to control the behavior of an autonomous agent in a real-world environment. A concept of an agent's existence as a trajectory in its behavioral space was proposed, which is a mathematical abstraction of the state space of the "agent – environment – observer" system. A concept for adapting agents to real-world conditions has been proposed, based on brain-implemented meta-algorithms for ontologization and algorithms for identifying and solving a priori undefined problems, grounded on a metaphor for designing an autonomous synthesis of the agent's trajectory in behavioral space.

Conclusion. The developed concepts support the idea of ontologization, identification, and problem-solving by an agent in a real-world environment as processes of autonomous behavior synthesis, which provides a theoretical foundation for the development of universal artificial intelligence systems.

Keywords: general artificial intelligence, human brain, thought models, multi-agent systems, neurocognitive architectures, solving a priori undefined problems

Submitted 07.11.2025, approved after reviewing 24.11.2025, accepted for publication 10.12.2025

For citation. Nagoev Z.V., Nagoeva O.V. "What does the brain do?", or Solving a priori undefined problems based on an autonomous agent behavior in real environment. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 172–185. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-172-185

Введение

Вопрос «Что делает мозг?» в контексте знаменитого высказывания Марвина Минского: «The Mind is What the Brain Does!» («Разум есть то, что делает мозг!») [1], аргументирующего его позицию по вопросу об объекте моделирования искусственного интеллекта, адресуясь в некоторой степени и к результатам деятельности мозга, и к характеру ее протекания, прежде всего, по нашему мнению, относится к системному назначению мозга, к самой его сущности. Создав удачной метафорой контекст нового конструктивного научно-популярного нарратива в искусственном интеллекте, М. Минский, тем не менее, как и большинство современных исследователей и визионеров, признавал, что единого взгляда ни на системное назначение мозга, ни на результаты, ни на способы его функционирования современная наука пока не сформировала [2].

В попытке определить сущность мозга рассмотрим его в системном контексте и как систему. Оговоримся также, что, как и Минского, вопрос «Что делает мозг?» интересует нас прежде всего в контексте решения задачи синтеза in silico имитационной модели функциональных феноменологических комплексов мозга.

Целью исследования является создание концептуальной модели системной сущности мозга.

Объектом исследования является системная сущность мозга.

Предмет исследования – выявление основной системной целевой функции мозга.

Задача исследования – разработка вычислительной абстракции базовых процессов обеспечения основной целевой функции мозга.

Системная сущность мозга

Для понимания системной сущности мозга необходимо прежде всего определить основной функционал его предназначения. В силу того, что мозг является эволюционно сформировавшимся органом в составе тела человека, очевидно, его назначение необходимо рассматривать в контексте основной функции, выполняемой им в организме. В этом проявляется системный контекст, в котором функционирует мозг, – он часть организма и что бы он ни делал, он делает это для организма, выполняя некоторую базовую целевую функцию.

Без сомнения, одной из центральных базовых функций мозга является управление поведением человека в реальной среде, в которую этот человек погружен. В этом смысле проблема системной сущности мозга неотделима от проблемы системной сущности поведения человека.

Здесь необходимо вспомнить буквальный смысл высказывания Минского: по нему получается, что системная сущность того, что делает мозг, есть системная сущность того, что есть разум. Следует также оговориться, что в контексте дела исследования и создания искусственного интеллекта, которому Минский посвятил свою научную жизнь, мы предполагаем, что под разумом он понимал именно интеллект и именно общего типа («общий» интеллект). Таким образом, в данной работе мы отождествляем понятия «разум» и «общий» интеллект, обращая внимание на необходимость учитывать некоторые противоречия, в которые такой подход вступает с прецедентами использования частных значений полисемичных терминов «разум» и «интеллект», отождествления либо связывания феноменологических комплексов, обозначаемых этими терминами, отношениями вложенности (интеллект как разум, разум как часть интеллекта, интеллект как часть разума), а также сложившуюся в психологии традицию под «общим» интеллектом понимать общие когнитивные способности.

В [3] выдвигается гипотеза о том, что с целью построения вычислительной абстракции общего интеллекта необходимо рассматривать человека как материального (телесного) агента, погруженного в материальную внешнюю среду и стремящегося максимизировать некоторую сложную целевую функцию, вид которой существенным образом зависит от состояния базы знаний, используемой системой управления поведением такого агента. Мозг же (как «главная» часть нервной системы), в свою очередь, как раз и является такой системой управления. В этом смысле прямым ответом на вопрос «Что делает мозг?» является утверждение о том, что мозг управляет поведением биологического агента в реальном мире.

Вероятнее всего, такое утверждение большинство читателей справедливо посчитает тривиальным, однако для нас здесь важно, что в контексте отождествления сущности интеллекта и функционала мозга (The Mind is What the Brain Does) его можно перефразировать: «Сущность общего интеллекта есть управление поведением биологического агента в реальной среде». В [3] дается классификация таких агентов, построенная на их отношении к некоторым наборам структурно-функциональных свойств, определяемых качественными изменениями

в производительности и эффективности системы управления поведением агента в реальной среде, детерминированных метасистемными переходами в эволюции видов.

Таким образом, мы рассматриваем сущность общего интеллекта (системную сущность мозга) в контексте целевого назначения управления поведением интеллектуального биологического агента в реальной среде. Эта функция реализуется путем синтеза закона управления с помощью системы управления – мозга этого агента.

Агенс, биос, наблюдатель, экзистенция

Рассматривая системные цели биологического агента в эволюционном аспекте, необходимо решить вопрос о системных основаниях *биоса* и *агенса* как таковых. В общем случае отличительным свойством *агентных систем* (*агентов*) является способность самостоятельно совершать действия во внешней для них среде, в которую они погружены с помощью своих *сенсоров* и *эффекторов*, или, иными словами, способность синтезировать свое поведение в этой среде. Возникновение таких систем в процессе эволюции материи, в соответствии с нашей гипотезой, связано с обособлением в их структуре подсистемы энергетического обеспечения синтеза и выполнения поведения, а также самой подсистемы синтеза поведения, или, более точно, – подсистемы управления поведением агента, способной выбирать варианты поведения и тем самым опосредованно управлять направлениями и способами диссипации собственной (аккумулированной в резервуаре энергии, являющемся частью тела агента) энергии [4].

Биологические системы, в свою очередь, в нашем понимании являются агентными системами, поведение которых подчинено целевому критерию максимизации продолжительности времени своего собственного существования (экзистенции). В контексте вышеприведенных рассуждений биос и агенс неразрывно взаимосвязаны и объединены представлением об *экзистенции агента*, разворачивающейся в условиях реального мира.

Сложность концептуального анализа здесь проявляется в том, что экзистенция как предмет онтологической проблемы философии в контексте разработки теоретических оснований создания систем искусственного интеллекта требует определения в явном виде субъекта принятия решения о своей «объективности»: в систему необходимо ввести некоего *наблюдателя*, способного сформировать критерии для вынесения вердикта о наделении части внешней для него среды свойствами биоса и агенса. Следует признать, что все критерии, предложенные в науке для онтологического обоснования феноменологии экзистенции (наличие системы управления и энергетического базиса автономного поведения, метаболизма, раздражимости, особенностей диссипации энергии, способов производства энтропии, констатации интроспективных ощущений и т. п.), пригодны для дифференциации части материи, атрибутированной свойствами биоса и агенса, из внешней среды только в субъективном аспекте, т.е. только в той степени, в которой наблюдатель считает эти критерии достаточными для того, чтобы признать, что эта часть материи демонстрирует принципиально отличное поведение.

Таким образом, оппозиция «агент – среда», обосновывающая назначение мозга как системы управления автономным поведением агента в среде, возникает только в системе «агент – среда – наблюдатель».

Следует также отметить, что вплоть до возникновения видов, способных к интроспекции, филогенетический ряд включает в себя биологические системы, не способные к субъективной констатации собственной экзистенции (не могут выступить в роли наблюдателя по отношению к самим себе). Поэтому дифференцирующий критерий максимизации продолжительности собственной экзистенции также «присваивается» таким системам в атрибутивном аспекте внешним наблюдателем.

Принципиальное значение вышеприведенных рассуждений, с нашей точки зрения, проявляется в необходимости определения непротиворечивых оснований баланса физикалистских и функционалистских воззрений в процессе концептуализации интеллектуального синтеза разумного поведения автономных агентов в реальной среде как сущности целевого назначения мозга. В таком контексте поведение, направленное на максимизацию экзистенции агента в реальной среде, признается наблюдателем разумным, а усилия мозга по его синтезу – системно обоснованными, характеризующимися этологической целостностью. В таком аспекте объектом имитационного моделирования интеллектуального синтеза разумного поведения автономного агента в реальной среде должны стать не физические, а функциональные свойства процессов, протекающих в мозге.

В этом смысле нам представляется, что удобной метафорой проектирования целевого назначения системы интеллектуального синтеза поведения, выполняемого мозгом агента, погруженного в реальную среду, является *вычислительная абстракция* алгоритма, определяющего траекторию движения этого агента в системе «агент – среда». Так как агент погружен в среду с помощью своих сенсоров и эффекторов, система «*агент – среда*» определяется наблюдателем как некоторое пространство состояний агента, которые задаются в каждый момент дискретного времени (шаг которого выбран наблюдателем), как множества значений состояний всех сенсоров и эффекторов агента.

Математической абстракцией такого пространства состояний, введенной в [5], является т.н. *пространство поведения* агента, оси которого представляют собой множество всех значений сенсоров и эффекторов агента, а также множество всех дискретных шагов времени на протяжении всей экзистенции агента. Мощность пространства поведения равна прямому произведению множеств всех значений всех его осей. *Экзистенция агента, таким образом, представляется траекторией его движения в пространстве поведения*.

Множество точек такой траектории, непосредственно воспринимаемых (измеряемых) наблюдателем, считаются моментами *настоящего* (времени).

Точки траектории, рассматриваемые наблюдателем в настоящем и относящиеся к моментам времени, предшествующим его наступлению, считаются *прошлым* агента. Точки траектории, рассматриваемые наблюдателем в настоящем и относящиеся к моментам времени, следующим за его наступлением, считаются *будущим* агента.

Математической абстракцией алгоритма синтеза траектории агента в системе «агент – среда», в свою очередь, является *функция поведения*, вычисляющая точки траектории движения агента в пространстве поведения в будущем на основании информации о точках такой траектории в прошлом и настоящем. Как следует из данного определения, пространство поведения является как областью определения, так и областью значения такой функции.

Что есть проблема?

Задача синтеза траектории движения агента в пространстве поведения связана с необходимостью преодоления многочисленных трудностей, связанных со структурно-функциональными свойствами агента и реальной среды. С одной стороны, агент, являясь весьма малой частью реального мира, всегда ограничен в ресурсах и обстоятельствах (энергия, вычислительная мощность, пространство, время). С другой стороны, среда, в которую он погружен, огромна, многообразна и в общем случае непостижима агентом, так как описывается множеством знаний, мощность которого на многие десятки порядков превосходит мощность устройства (системы) управления, реализующего принятие решений о формировании и выборе точек траектории движения агента в пространстве поведения.

С точки зрения наблюдателя, описывающего процесс синтеза агентом траектории своего движения в пространстве поведения, реальная среда характеризуется свойствами *неструктурированности*, *неопределенности*, *нелинейности*, *многомодальности*, *стохастичности*, *динамичности*, *частичной наблюдаемости*, *эпизодичности*, *физической корректности*, *активности*, каждое из которых существенно затрудняет процесс принятия решения [6–8].

В общем случае система управления синтезом траектории агента в пространстве поведения должна стремиться таким образом построить эту траекторию, чтобы агент не попадал в состояния, в которых он теряет энергию, подвергается повреждениям или разрушению, частичному либо полному (*отрицательные точки траектории*). Напротив, траектория должна доставлять максимум целевой функции агента, что предполагает в ее составе только такие точки, в которых агент приобретает дополнительную энергию (*положительные точки траектории*), либо точки, нейтральные по изменению энергии.

Под *энергией* в общем случае мы понимаем описательную величину, характеризующую значения целевой функции агента.

Точки траектории, в которых агент прекращает свое существование, назовем *терминальными*. Положительные, отрицательные и терминальные точки траектории агента в пространстве поведения, как предложено в [5], будем называть *экзистенциальными точками*.

Предположим, что агент, выполняя движение по некоторой траектории в пространстве поведения, попадает в экзистенциальную точку (рис. 1).

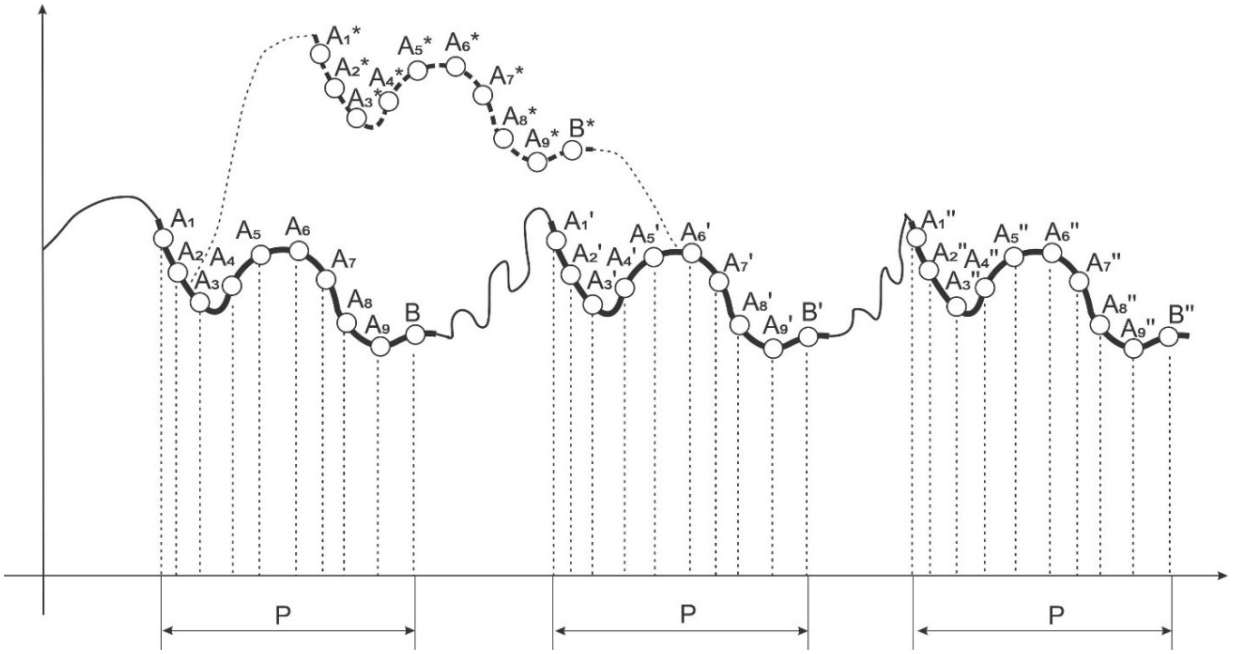


***Рис. 1**. Схематическое изображение паттернов проблемы агента в упрощенном пространстве поведения*

***Fig. 1**. Schematic representation of agent problem patterns in a simplified behavior space*

На рисунке 1, на котором приведено схематическое, существенно упрощенное изображение траектории (для двумерного случая), такая точка обозначена буквой B. Как видно из рисунка, попаданию в точку B предшествует последовательный проход агента через точки $A_1, A_2, \dots, A_9$. Если предположить также, что всякий раз, когда траектория агента включает в себя эту последовательность точек, как показано на рисунке, для последовательностей, обозначенных $A_1', A_2', \dots, A_9', B'$ и $A_1'', A_2'', \dots, A_9'', B''$, агент попадает в ту же самую экзистенциальную точку (B' и B'' на рисунке 2), то можно составить представление о *проблеме агента* как об отрезке траектории этого агента в пространстве поведения, оканчивающемся в экзистенциальной точке.

Если такая точка позитивная, то проблему назовем *позитивной проблемой*, а если отрицательная, то – *отрицательной проблемой* (в терминальной точке – *терминальной проблемой*).

Допустим, что проблема P, включающая в себя, как показано на рисунке 1, точки $A_1, A_2, \dots, A_k, B$, – отрицательная. Примем также, что агент обладает возможностью произвольно влиять на изменение траектории своего движения – например, так, как это демонстрирует последовательность точек траектории $A_1, A_2, A_3, A_1^*, A_2^*, A_3^*, A_4^*, A_5^*, G$. Из рисунка, в частности, следует, что агент, попав последовательно в начальные точки A_1, A_2, A_3 проблемы P, затем меняет паттерн траектории, свойственный этой проблеме, и вместо точек $A_4, A_5, \dots A_9, B$ попадает в точки $A_1^*, A_2^*, \dots, A_5^*, G$. Если при этом точка G не является ни отрицательной, ни терминальной экзистенциальной точкой траектории агента в пространстве поведения, то будем считать, что агент, синтезировав некоторые управляющие сигналы, изменил состояния своих эффекторов (что повлекло за собой изменение системы «агент – среда»), и, соответственно, изменив свою траекторию таким образом, что она вместо негативной экзистенциальной точки B привела в нейтральную (или даже в позитивную экзистенциальную) точку G, *решил* тем самым проблему P.

Если агент попадает в начальную точку паттерна траектории проблемы, то с учетом стохастичности среды в общем случае совпадение каждой последующей точки фактической траектории агента с точками этого паттерна увеличивает вероятность того, что агент «вошел» именно в данную проблему и, соответственно, движется к экзистенциальной (финальной) точке этой проблемы. С позиции наблюдателя, обладающего представлением о времени и способностью прогнозировать, сразу после идентификации нескольких начальных точек паттерна проблемы можно предсказать, что фактическая траектория агента пройдет по этому паттерну и агент окажется в экзистенциальной точке этой проблемы. Такой прогноз может строить и сам агент, если в его системе управления уже представлены структурно-функциональные компоненты, обеспечивающие репрезентацию времени, способность моделировать и прогнозировать будущее.

Будем считать, что в ситуации, когда агент вошел в некоторую отрицательную или терминальную проблему, возникает *угроза* его перехода в отрицательную или терминальную экзистенциальную точку. В случае же, когда агент входит в позитивную проблему, возникает *надежда* на его переход в позитивную экзистенциальную точку.

Следует обратить внимание на то, что для решения отрицательной или терминальной проблемы необходимо *снять угрозу* путем изменения фактической траектории движения агента в пространстве поведения таким образом, чтобы она перестала совпадать с паттерном соответствующей отрицательной или терминальной проблемы, в которую вошел агент.

Для решения же позитивной проблемы, напротив, необходимо *реализовать надежду*, сохранив паттерн траектории неизменным.

Точки траектории, в которых снята угроза для отрицательной или терминальной проблемы либо реализована угроза для позитивной проблемы, будем считать *точками решения проблем*.

Тогда под *решением проблемы* в системе «агент – среда» (в пространстве поведения агента) будем понимать такой отрезок траектории этого агента, проход по которому перемещает агента в точку решения этой проблемы.

В общем случае и для снятия угрозы, и для реализации надежды агенту необходимо предпринимать активные действия, что требует как решения задачи синтеза плана поведения, так и затрат энергии на синтез и выполнение этого плана.

Таким образом, и сама проблема, и ее решение представляют собой части траектории агента в пространстве поведения. Для того чтобы построить траекторию решения проблемы, в общем случае агенту необходимы *знания* о том, какие именно действия необходимо предпринять для перехода в точку ее решения. Такие знания должны представлять собой корреляции между паттернами траекторий проблем и паттернами траекторий их решений. Будем считать, что их совокупность образует *базу знаний* (*базу решений*) агента.

Проблемы, представленные в базе знаний агента в начальный момент его экзистенции, будем считать *априорно определенными*.

Если бы все проблемы, с которыми сталкивается агент на протяжении своей экзистенции, были априорно определены, то агент с высокой вероятностью всегда успешно справлялся бы с их решением. Сложность, однако, состоит в том, что количество проблем в реальной среде весьма велико, а база решений агента, как правило, ограничена в силу технических причин.

Кроме того, совершенно точно агент на протяжении своей экзистенции столкнется с необходимостью решения лишь незначительного количества всех проблем, которые потенциально ожидают его в реальной среде. Поэтому нецелесообразно хранить в базе знаний решения всех проблем, гораздо эффективнее было бы составить стартовый набор из относительно небольшого множества априорно определенных проблем, которые встретятся агенту с наибольшей вероятностью, и снабдить его алгоритмическим аппаратом, обеспечивающим избирательное пополнение базы знаний за счет решений тех проблем, с которыми он фактически сталкивается в тех частях реальной среды, где протекает его экзистенция.

Назовем проблемы, которые в начальный момент экзистенции агента не были представлены в его базе решений, *априорно не определенными проблемами*. Рассмотрим способы обработки таких проблем, по нашему мнению, составляющие концептуальную основу целевого функционала мозга, как системы управления поведением агента в реальной среде.

Цикл обработки априорно не определенных проблем

Рассмотрим существенно упрощенный случай, когда размерность пространства поведения агента равна двум (рис. 2). Пусть отрицательная проблема, которая начинается для агента в точке *В* его траектории в этом пространстве и завершается в отрицательной экзистенциальной точке этой траектории *Д*, является для агента априорно не определенной. Следовательно, на момент первой встречи (*дебют проблемы*) агента с этой проблемой в его базе знаний отсутствует ее решение. Более того, до момента перехода в отрицательную экзистенциальную точку этой проблемы *Д* агент даже не знает о том, что он уже вошел в паттерн проблемы, которая завершится негативной экзистенциальной точкой и потерей энергии.

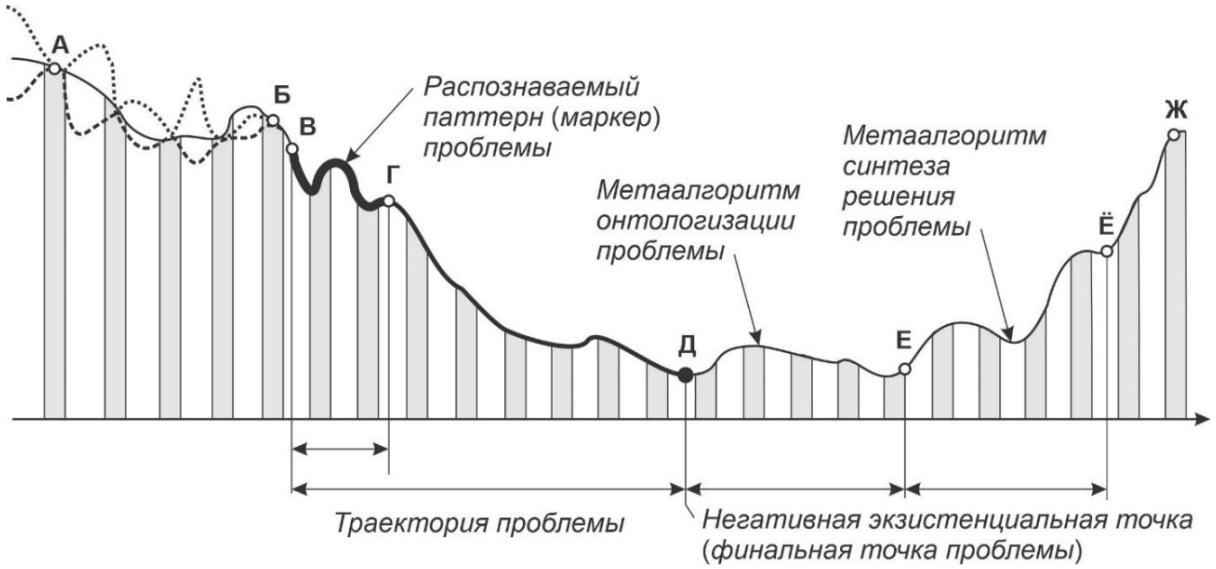


***Рис. 2**. Дебют, онтологизация и решение проблемы*

***Fig. 2**. Debut, ontologization and problem solving*

Более того, если такая проблема встретится агенту в следующий раз, при условии отсутствия информации о ней или ее решении в его базе знаний он опять перейдет в негативную экзистенциальную точку *Д*.

Концептуализируя системную сущность мозга как органа, реализующего функционал системы управления синтезом и выполнением поведения агентов в столь сложных условиях реальной среды, мы исходим из убеждения, что в процессе эволюции, направленной на оптимизацию конструкции агента в интересах максимизации своей экзистенции, мозг претерпел адаптационные изменения, направленные на компенсацию действия факторов, связанных со свойствами среды, затрудняющими принятие решений, такими, например, как значительная вариативность и стохастичность. В соответствии с нашей гипотезой одним из центральных патентов природы, направленных на компенсацию этих свойств реальной среды, является система онтологизации проблем и их решений.

Сущностный смысл этой системы состоит в обеспечении агента возможностью запоминать паттерны априорно не определенных проблем (*онтологизировать* такие проблемы), синтезировать *алгоритмы идентификации* таких проблем по начальным частям их паттернов, а также синтезировать и запоминать *алгоритмы их решения*.

В случае успешной работы такой системы некоторая априорно не определенная проблема (например, проблема на отрезке траектории *ВД* на рис. 2) становится определенной в том смысле, что в базе знаний агента появляются все необходимые записи, содержащие информацию о том, каким образом идентифицировать данную проблему по начальным частям ее паттерна, и о том, каким образом ее решать.

Если же проблема становится определенной в указанном смысле, то в случае, когда она встречается агенту снова (как на участках *ВГ* и *ЕЁ* на рис. 3), агент в отличие от поведения, которое он демонстрировал во время дебюта проблемы (участок *ВД* на рис. 3) и которое привело его в негативную экзистенциальную точку траектории *Д*, приступает к последовательному выполнению алгоритма идентификации проблемы (отрезки *ВГ* и *ЕЁ* на рис. 3) и ее решения (отрезки *ГД* и *ЁЖ* на рис. 3). Таким образом, как видно на рисунке 3, агент в случае повторного появления той же самой (уже онтологизированной) проблемы теперь не попадает в отрицательные экзистенциальные точки этой проблемы, а, напротив, своевременно применив алгоритмы ранней идентификации и решения проблемы, «выравнивает» свою траекторию и направляет ее в нейтральную область, где не проявляются ни угрозы, ни надежды (отрезки *ДЕ* и *ЖЗ* на рис. 3).

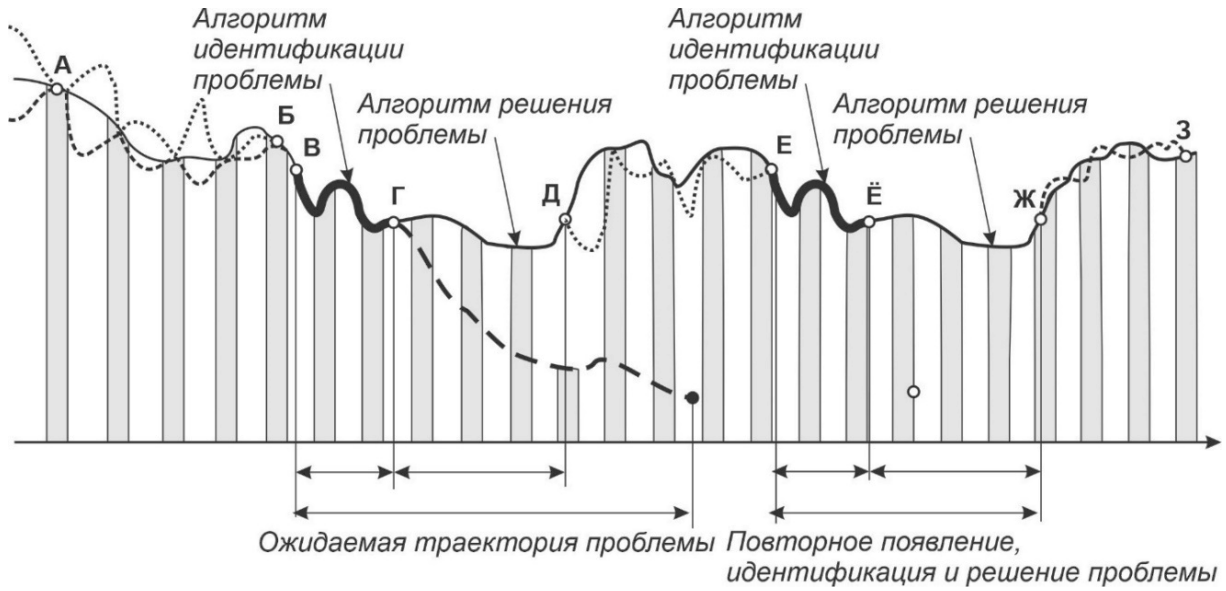


Рис. 3. *Онтологизация, идентификация и решение проблем*

Fig. 3. *Ontologization, identification and problem solving*

Для того чтобы таким способом определить новую проблему в своей базе знаний, агент должен выполнить два *метаалгоритма* (алгоритмы, синтезирующие другие алгоритмы) *онтологизации проблемы*, результатом работы которых должны стать *алгоритм идентификации* и *алгоритм решения проблемы*, которые расширят эту базу таким образом, что данная априорно не определенная проблема станет онтологизированной (определенной).

Очевидно, что для успешной работы системы онтологизации априорно не определенных проблем необходимо, чтобы метаалгоритмы онтологизации проблемы в начальный момент работы агента уже были реализованы в его системе управления, чтобы с самого начала его функционирования в среде организовать пополнение базы знаний этого агента, тем самым снижая вероятность прекращения экзистенции агента в результате повторного попадания в негативные экзистенциальные точки негативных проблем и, наоборот, увеличивая вероятность ее продления путем повторного перехода в финальные точки позитивных проблем.

Функциональной основой метаалгоритмов онтологизации, по нашему мнению, являются т.н. алгоритмы *онтонейроморфогенеза*, обеспечивающие ситуативно детерминированное формирование множеств причинно-следственных связей в базе знаний системы управления агента, представляющие собой вычислительную абстракцию процессов роста и деградации аксо-дендрональных связей между нейронами головного мозга [7, 8].

В рамках этой вычислительной абстракции направленный рост связей между нейронами интерпретируется как формирование мягкой функциональной связи между агентами (*агенты-нейроны*) в составе эмерджентно формирующегося *мультиагентного алгоритма*. Именно мультиагентными алгоритмами, роль агентов в которых выполняют агенты-нейроны различных типов, находящиеся в разных функциональных узлах *когнитивной архитектуры* (системы управления) агента, по нашему представлению, и являются метаалгоритмы онтологизации и алгоритмы идентификации и решения проблемы [9–12].

Принципиальное значение для синтеза таких алгоритмов и метаалгоритмов имеет то, что, будучи по своей природе эмерджентными, формирующимися и модифицирующимися на основе мягких мультиагентных связей, они, тем не менее, строятся в строгом соответствии со структурой и составом т.н. *нейрокогнитивных функциональных систем* [8], представляющих собой динамические структурно-функциональные мультиагентные модули мозга, выполняющие вычисление функции поведения агента, описанной выше.

Для алгоритмов идентификации и решения проблем нейрокогнитивные функциональные системы реализуют функции, для которых пространство поведения агента является и областью определения, и областью значения. Такие мультиагентные функциональные системы организованы на основе т.н. *инварианта нейрокогнитивной архитектуры* [7, 13], являющегося структурной основой, задающей набор шаблонов для эмерджентного формирования алгоритмов и метаалгоритмов на базе сообществ нейронов мозга.

Следует обратить внимание на то, что метаалгоритм синтеза алгоритма идентификации и сам этот алгоритм идентификации, хотя и строятся на основе единообразного подхода на базе мультиагентной функциональной системы в структуре инварианта нейрокогнитивной архитектуры, тем не менее совсем не тождественны друг другу.

Метаалгоритм должен синтезировать такое поведение агента, в результате которого будет сформирован алгоритм идентификации проблемы, т.е. в результате выполнения этого метаалгоритма агент должен научиться тому, каким образом распознавать проблему по самым первым точкам ее паттерна. Способ построения такого алгоритма идентификации в общем случае будет существенно отличаться от самого этого алгоритма. Например, для того чтобы научиться распознавать проблему, агенту может понадобиться совершить какие-то дополнительные действия в среде, провести дополнительные эксперименты, исследовать какие-то области среды, задать вопросы контрагентам по коммуникативной среде и т.п. Выполнение метаалгоритма может занять много времени, возможно, несколько часов (дней, лет). Возможно, он будет построен не сразу, а за несколько итераций.

Важно учесть, что отправной точкой для запуска метаалгоритма синтеза алгоритма идентификации проблемы является момент перехода агента в негативную экзистенциальную точку проблемы, которая является также финальной точкой этой проблемы. Такой порядок связан с тем, что при дебюте проблемы до перехода в такую точку агент не испытывает существенных резких изменений значений целевой функции и воспринимает текущие точки своей траектории в пространстве поведения как нейтральные (не относящиеся к какой-либо проблеме). Следовательно, в основе такого метаалгоритма лежит процесс установления причин наступления такого резкого изменения, которые, очевидно, лежат в прошлом, т.е. метаалгоритм направлен на то, чтобы отыскать в составе траектории агента в пространстве поведения в прошлом такие точки, которые являются маркером паттерна проблемы. Чтобы решить эту задачу, метаалгоритм использует локальную память о недавних событиях, которая в соответствии с нашей гипотезой обеспечивается с помощью механизма синтеза, передачи и регулирования времени жизни нейромедиаторных сообщений, которыми нейроны, описывающие точки траектории агента, обмениваются друг с другом.

Задача осложняется тем, что в силу дискретности, эпизодичности и частичной наблюдаемости среды расчет точек траектории в пространстве состояний доступен агенту только с определенным дискретным шагом, что отражено на рисунках 2, 3 в виде точек на заштрихованных столбиках, ширина которых соответствует времени измерения состояния системы «агент – среда», применяемого для определения точки в траектории агента в пространстве состояний. На этих рисунках также показано, что потенциально в силу эпизодичности и частичной наблюдаемости среды точки в пространстве поведения, регистрируемые агентом в дискретные моменты времени, на самом деле могут принадлежать нескольким различным траекториям агента (показаны на рис. 2 и 3 пунктирными линиями), что необходимо также учитывать при принятии решений. Все три вышеуказанные особенности, по нашему мнению, парируются алгоритмом онтонейроморфогенеза, допускающим установление связей между нейронами, выполняющими в когнитивной архитектуре агента функциональную репрезентацию событий, отстоящих друг от друга на произвольные периоды времени.

Сам же алгоритм идентификации, будучи сформирован метаалгоритмом онтологизации и сохранен в базе знаний агента, должен быть компактен и прост в применении, так как времени на выполнение распознавания проблемы по начальной сигнатуре ее паттерна в интересах реализации эффективного алгоритма решения у агента в реальной среде, как правило, всегда очень мало.

Все вышесказанное для метаалгоритма синтеза алгоритма идентификации проблемы верно и для метаалгоритма синтеза решения этой проблемы.

Принципиальное значение имеет то, что как метаалгоритмы онтологизации, так и алгоритмы идентификации и решения проблем выполняют синтез точек и отрезков в траектории движения агента в пространстве поведения. Это означает, что онтологизация, идентификация и решение всех проблем, с которыми сталкивается агент в реальной среде в течение своей экзистенции, выполняются с помощью синтеза и реализации поведения агента в этой среде.

Таким образом, по нашему мнению, главный ответ на вопрос «Что делает мозг?» состоит в том, что мозг реализует функции системы управления поведением агента в среде [14, 15], направленным на максимизацию экзистенции этого агента, используя для этого метаалгоритмы онтологизации, алгоритмы идентификации и решения априорно не определенных проблем.

Заключение

Построена гипотеза о системной целевой функции мозга, заключающейся в максимизации экзистенции агента на основе синтеза управления его поведением в реальной среде. Предложена концепция экзистенции агента как траектории его движения в пространстве поведения, являющемся математической абстракцией пространства состояний системы

«агент – среда – наблюдатель». Разработана концепция адаптации агента к условиям реального мира на основе реализуемых мозгом метаалгоритмов онтологизации и алгоритмов идентификации и решения априорно не определенных проблем. Разработанные концепции обосновывают представление об онтологизации, идентификации и решении проблем агентом в реальной среде как о процессах автономного синтеза его поведения, что создает теоретический базис для создания *систем универсального искусственного интеллекта*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Minsky M.* Steps toward Artificial Intelligence // Proceedings of the IRE. 1961. Vol. 49. No. 1. Pp. 8–30.

2. *Минский М.* Вычисления и автоматы. М.: Мир, 1971.

3. *Нагоев З. В.* Основные принципы нейрокогнитивного моделирования сознания агента универсального искусственного интеллекта // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 1. С. 152–170. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-152-170

4. *Нагоев З. В., Нагоева О. В.* Обоснование символов и мультиагентные нейрокогнитивные модели семантики естественного языка. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2022. 150 с.

5. *Нагоев З. В.* Мультиагентные экзистенциальные отображения и функции // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 4(54). С. 63–71. EDN: QZTFLX

6. *Russell S., Norvig P.* Artificial Intelligence: A Modern Approach (AIMA). 2nd ed. Moscow: Williams, 2007. 1424 p.

7. *Нагоев З. В.* Интеллектика, или Мышление в живых и искусственных системах. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2013. 232 с.

8. *Нагоев З. В.* Онтонейроморфогенетическое моделирование // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 4(54). С. 56–63. EDN: QZTFLN

9. *Нагоев З. В., Кудаев В. Ч., Ошхунов М. М., Пшенокова И. А.* Онтонейроморфогенетическое моделирование виртуальных прототипов в интегрированных САПР на основе мультиагентных знаний и биоинспирированных алгоритмов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 6-1(56). С. 46–53. EDN: RPXLRL

10. *Нагоев З. В., Пшенокова И. А., Нагоева О. В. и др.* Имитационная модель нейрокогнитивной системы управления автономным программным агентом, выполняющим кооперативное поведение с целью автоматического пополнения онтологий // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 226–234. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-226-234

11. *Нагоев З. В., Анчёков М. И., Бжихатлов К. Ч. и др.* Онтоэписоциофилогенетическое развитие систем общего искусственного интеллекта на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6(110). С. 61–75. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-61-75

12. *Апшев А. З., Аталиков Б. А., Канкулов С. А. и др.* Онтофилогенетические алгоритмы синтеза фенотипов интеллектуальных программных агентов для применения в задачах многопоколенной оптимизации управляющих нейрокогнитивных архитектур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6(110). С. 76–91. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-76-91

13. *Nagoev Z.V.* Multiagent recursive cognitive architecture // Biologically Inspired Cognitive Architectures 2012. Proceedings of the third annual meeting of the BICA Society, in Advances in Intelligent Systems and Computing series, Springer, 2012. Pp. 247–248.

14. *Bzhikhatlov K.Ch., Pshenokova I.A., Zammoev A.U.* Architecture and algorithm of the information security system for autonomous intelligent systems and complexes // Information Society. 2025. No. 1. Pp. 118–127. DOI: 10.52605/16059921_2025_01_118

15. *Pshenokova I., Anchokov M., Kankulov S. et al.* Simulation model of the decentralized control of autonomous software agents' teams and mobile robots // In: Samsonovich A.V., Liu T. (eds) Biologically Inspired Cognitive Architectures 2024. BICA. Studies in Computational Intelligence. Vol. 477. Pp. 1–8. DOI: 10.1007/978-3-031-76516-2_31

REFERENCES

1. Minsky M. Steps toward Artificial Intelligence. *Proceedings of the IRE*. 1961. Vol. 49. No. 1. Pp. 8–30.

2. Minsky M. *Vychisleniya i avtomaty* [Computations and Automata]. Moscow: Mir, 1971. (In Russian)

3. Nagoev Z.V. Basic principles of neurocognitive modeling of consciousness of a universal artificial intelligence agent. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 1. Pp. 152–170. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-152-170. (In Russian)

4. Nagoev Z.V., Nagoeva O.V. *Obosnovaniye simvolov i mul'tiagentnyye neyrokognitivnyye modeli semantiki yestestvennogo yazyka* [Justification of Symbols and Multi-Agent Neurocognitive Models of Natural Language Semantics]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2022. 150 p. (In Russian)

5. Nagoev Z.V. Multi-agent existential mappings and functions. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2013. No. 4(54). Pp. 63–71. EDN: QZTFLX. (In Russian)

6. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach (AIMA). 2nd ed. Moscow: Williams, 2007. 1424 p.

7. Nagoev Z.V. *Intellektika, ili myshleniye v zhivykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intellectics, or thinking in living and artificial systems]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2013. 232 p. (In Russian)

8. Nagoev Z.V. Ontoneuromorphogenetic modeling. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2013. No. 4(54). Pp. 56–63. EDN: QZTFLN. (In Russian)

9. Nagoev Z.V., Kudayev V.Ch., Oshkhunov M.M., Pshenokova I.A. Ontoneuromorphogenetic modeling of virtual prototypes in integrated cad systems based on multi-agent knowledge and bioinspired algorithms. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2013. No. 6-1(56). Pp. 46–53. EDN: RPXLRL. (In Russian)

10. Nagoev Z.V., Pshenokova I.A., Nagoeva O.V. et al. Simulation model of a neurocognitive control system for an autonomous software agent performing cooperative behavior for the purpose of automatic ontology replenishment. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 6(116). Pp. 226–234. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-226-234. (In Russian)

11. Nagoev Z.V., Anchekov M.I., Bzhikhatlov K.Ch. et al. Ontoepisociophylogenetic development of general artificial intelligence systems based on multi-agent neurocognitive architectures. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 6(110). Pp. 61–75. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-61-75. (In Russian)

12. Apshev A.Z., Atalikov B.A., Kankulov S.A. et al. Ontophylogenetic algorithms for synthesizing phenotypes of intelligent software agents for application in multigenerational optimization problems of control neurocognitive architectures. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 6(110). Pp. 76–91. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-76-91. (In Russian)

13. Nagoev Z.V. Multiagent recursive cognitive architecture. Biologically Inspired Cognitive Architectures 2012. Proceedings of the third annual meeting of the BICA Society, in Advances in Intelligent Systems and Computing series, Springer, 2012. Pp. 247–248.

14. Bzhikhatlov K.Ch., Pshenokova I.A., Zammoev A.U. Architecture and algorithm of the information security system for autonomous intelligent systems and complexes. *Information Society*. 2025. No. 1. Pp. 118–127. DOI: 10.52605/16059921_2025_01_118

15. Pshenokova I., Anchokov M., Kankulov S. et al. Simulation model of the decentralized control of autonomous software agents' teams and mobile robots. In: Samsonovich A.V., Liu T. (eds) *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2024. BICA. Studies in Computational Intelligence.* Vol. 477. Pp. 1–8. DOI: 10.1007/978-3-031-76516-2_31

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Нагоев Залимхан Вячеславович, канд. техн. наук, генеральный директор Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

вед. науч. сотр. отдела «Мультиагентные системы», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

zaliman@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9549-1823, SPIN-код: 6279-5857

Нагоева Ольга Владимировна, науч. сотр. отдела «Мультиагентные системы», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

nagoeva_o@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2341-7960

Information about the authors

Zalimkhan V. Nagoev, Candidate of Technical Sciences, General Director of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

Leading Researcher of the Department "Multi-Agent Systems", Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia;

zaliman@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9549-1823, SPIN-code: 6279-5857

Olga V. Nagoeva, Researcher, Multiagent Systems Department, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia;

nagoeva_o@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2341-7960

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, СТАТИСТИКА

УДК 004.89 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-186-208
EDN: ZGNGOG

Нейропсихологическая архитектура агента универсального искусственного интеллекта

З. В. Нагоев[1, 2]

[1]Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2
[2]Институт информатики и проблем регионального управления –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

Аннотация. Объектом исследования является нейропсихологическая архитектура мозга.

Цель исследования – разработка теоретических оснований создания агента универсального искусственного интеллекта.

Методы исследования. Используется подход к онтогенетическому формированию универсальных систем управления, сущность которых заключается в имитационном моделировании процессов роста и развития естественных автономных интеллектуальных агентов, оснащенных базовой когнитивной архитектурой, обладающей структурно-функциональным сходством с когнитивной архитектурой головного мозга, в реальной социальной среде. В частности, выдвинута ключевая гипотеза о том, что таким сходством обладают так называемые *нейрокогнитивные архитектуры*, представляющие собой метафору проектирования интеллектуальной системы управления поведением автономного агента, погруженного в реальную среду с помощью сенсоров и эффекторов, основанную на представлениях о составе и способах взаимодействия функциональных узлов так называемого *инварианта организации когнитивной архитектуры акта принятия решений.*

Результаты. Разработана структурно-функциональная схема нейропсихологической архитектуры, мотивированная ее системным назначением, обеспечивающая нейрокогнитивные трансформации пространства определения проблем с помощью согласованной работы нейрокогнитивных компонентов, реализующих каскады н-функций для динамических переходов между пространством поведения, локальными пространствами определения отдельных проблем и пространством психики.

Заключение. Разработана концепция нейропсихологической архитектуры автономной системы управления поведением агента универсального интеллекта. Показано, что универсальный характер спектра проблем, которые способны обрабатывать такие агенты, обеспечивается методологической и алгоритмической базой онтологизации, идентификации и решения проблем на основе синтеза нейропсихологической архитектурой агента его поведения в системе «агент – среда».

Ключевые слова: универсальный искусственный интеллект, нейропсихологическая архитектура, нейрокогнитивная архитектура, нейрокогнитивные функции и отображения, мультиагентные системы и функции

Поступила 06.11.2025, одобрена после рецензирования 27.11.2025, принята к публикации 10.12.2025

Для цитирования. Нагоев З. В. Нейропсихологическая архитектура агента универсального искусственного интеллекта // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 186–208. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-186-208

© Нагоев З. В., 2025

MSC: 68T42 Original article

Neuropsychological architecture of a general-purpose artificial intelligence agent

Z.V. Nagoev[1, 2]

[1]Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia
[2]Institute of Computer Science and Problems of Regional Management –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. The object of the study is the neuropsychological architecture of the brain.

Aim. The study is to develop theoretical foundations for the creation of a universal artificial intelligence agent.

Research methods. An approach to the ontogenetic formation of universal control systems is used. The essence of these systems lies in the simulation modeling of the growth and development of natural autonomous intelligent agents, equipped with a basic cognitive architecture possessing structural and functional similarities to the cognitive architecture of the brain, in a real social environment. Specifically, a key hypothesis is advanced that such similarities are possessed by so-called neurocognitive architectures, which represent a metaphor for designing an intelligent system for controlling the behavior of an autonomous agent immersed in a real environment using sensors and effectors. This architecture is based on concepts regarding the composition and interaction modes of functional units–the so-called invariants of the organization of the cognitive architecture of decision-making.

Results. A structural and functional diagram of neuropsychological architecture has been developed, motivated by its systemic purpose, enabling neurocognitive transformations of the problem-defining space through the coordinated work of neurocognitive components implementing cascades of n-functions for dynamic transitions between the behavioral space, local problem-defining spaces, and the mental space.

Conclusion. A concept for the neuropsychological architecture of an autonomous behavioral control system for a universally intelligent agent has been developed. It is shown that the universal nature of the range of problems that such agents are capable of handling is ensured by a methodological and algorithmic framework for ontologization, identification, and problem solving based on the synthesis of the agent's behavior within the agent-environment system by the neuropsychological architecture.

Keywords: general artificial intelligence, neuropsychological architecture, neurocognitive architecture, neurocognitive functions and mappings, multi-agent systems and functions

Submitted 06.11.2025, approved after reviewing 27.11.2025, accepted for publication 10.12.2025

For citation. Nagoev Z.V. Neuropsychological architecture of a general-purpose artificial intelligence agent. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 186–208. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-186-208

Введение

Грандиозный по объему и планетарный по масштабу запрос на повсеместное применение интеллектуальных агентов в составе человеко-машинных коллективов, сформировавшийся к настоящему времени на фоне успехов генеративных систем, основанных на глубоком обучении больших языковых моделей, сегодня сталкивается с несколькими взаимосвязанными непреодолимыми проблемами, настолько серьезными и фундаментальными, что некоторые исследователи считают их предвестниками новой продолжительной «зимы» искусственного интеллекта [1]. К числу таких проблем относятся отсутствие теоретической базы интеллектуального принятия решений и автономного управления поведением

программных и роботизированных агентов в условиях реального мира, семантических оснований имитационного моделирования такого поведения, трудности реализации «логики здравого смысла» в условиях отсутствия таких оснований, слабая пригодность существующих формализмов для описания таких оснований, семантики и логики, высокая вычислительная трудоемкость алгоритмов на базе таких формализмов, критическая зависимость таких алгоритмов от количества хорошо структурированных наборов данных, высокие требования к производительности, энергоемкости и стоимости вычислений, чрезмерные затраты труда на адаптацию решений для новых задач, создание онтологий и обучение [1, 2].

Все эти проблемы видятся еще более значимыми и рельефными на фоне очевидной констатации способности мозга человека их успешно преодолевать. В этой связи представляется *актуальным* исследование основных принципов структурно-функциональной организации мозга в перспективе возможности их применения для разработки когнитивной архитектуры интеллектуальных систем управления универсальных автономных агентов, погруженных в реальную коммуникативную среду.

Целью исследования является разработка теоретических оснований создания агента универсального искусственного интеллекта.

Предмет исследования – возможность системного обоснования метафоры проектирования нейропсихологической архитектуры мозга.

Основная задача исследования – построение вычислительной абстракции агента универсального искусственного интеллекта на основе метафоры проектирования нейропсихологической архитектуры интеллектуального агента в реальной среде.

Актуальность исследования определяется перспективами применения основных принципов структурно-функциональной организации мозга для разработки когнитивной архитектуры систем управления агентов универсального искусственного интеллекта. В работе исследуется возможность системного обоснования метафоры проектирования нейропсихологической архитектуры мозга. Разработана концепция нейропсихологической архитектуры автономной системы управления поведением автономного агента в реальной среде, объединяющей в своем составе взаимосвязанные нейрокогнитивные компоненты подсознания, сознания, интерскрина, модуля «Я». Построена концепция агента универсального искусственного интеллекта на основе метафоры проектирования нейропсихологической архитектуры. Разработана вычислительная абстракция процессов онтологизации, идентификации и решения проблем универсального спектра нейропсихологической архитектурой на основе концепции синтеза автономным агентом траектории своего движения в пространстве поведения. Показано, что нейропсихологическая архитектура системы управления интеллектуального агента обеспечивает синтез такой траектории на основе интеграции в ее состав фрагментов траекторий движения агента в локальных пространствах определения проблем. Структурно-функциональная схема нейропсихологической архитектуры обоснована ее системным назначением, связанным с обеспечением снижения вычислительной трудоемкости алгоритмов решения универсального спектра проблем путем их переопределения на основе согласованной работы нейрокогнитивных компонентов, реализующих каскады н-функций для динамических переходов между пространством поведения, локальными пространствами определения отдельных проблем и пространством психики интеллектуального агента, выполняемых в процессе такой интеграции.

1. Решение проблем на основе нейрокогнитивного синтеза поведения

В работах [3, 4, 5] намечены подходы к онтогенетическому формированию универсальных систем управления, сущность которых заключается в имитационном моделировании процессов роста и развития естественных автономных интеллектуальных агентов, оснащенных базовой когнитивной архитектурой, обладающей структурно-функциональным

сходством с когнитивной архитектурой головного мозга, в реальной социальной среде. В частности, выдвинута ключевая гипотеза о том, что таким сходством обладают т.н. *нейрокогнитивные архитектуры*, представляющие собой метафору проектирования интеллектуальной системы управления поведением автономного агента, погруженного в реальную среду с помощью сенсоров и эффекторов, основанную на представлениях о составе и способах взаимодействия функциональных узлов т.н. *инварианта организации когнитивной архитектуры акта принятия решений* [6, 7]. Сам термин «*нейрокогнитивный*» в применении к архитектуре интеллектуальной системы управления поведением автономного агента вводится в связи с тем, что в таких функциональных узлах располагаются программные имитационные модели нейронов головного мозга (агенты-нейроны, т.н. *аг-нейроны*), представляющие собой агентов искусственной жизни (Artificial Life Agents), реализующих функционал алгоритмической машины оптимизации многокритериальной целевой функции в своих локальных пространствах состояний. С этой целью они имитируют процессы динамического формирования и деградации «мягких» (контрактных) связей друг с другом в интересах эмерджентного синтеза состояний всей управляющей нейрокогнитивной архитектуры, интерпретируемых в терминах аттракторов самоорганизующейся мультиагентной системы, значимых для решения задачи аппроксимации закона управления поведением всего автономного агента в глобальном пространстве состояний системы «агент – среда» [8]. Такое пространство состояний, размеченное значениями целевой функции, получило название «*пространство поведения* интеллектуального автономного агента в реальной среде».

В целом основной функционал инварианта организации акта принятия решений системой управления на основе нейрокогнитивной архитектуры (*инвариант нейрокогнитивной архитектуры*) можно интерпретировать как синтез [8] отрезков траектории движения интеллектуального агента в пространстве поведения в будущем на основе анализа ее отрезков в прошлом и настоящем с целью онтологизации, идентификации и решения проблем универсального спектра, возникающих в системе «агент – среда».

Под *проблемой* агента в реальной среде в данном контексте понимается отрезок траектории движения агента в пространстве поведения, завершающийся скачком значения целевой функции либо его выходом за некоторые пороговые значения. Если при этом значение целевой функции уменьшается, то проблема считается *отрицательной,* если же увеличивается, то – *позитивной*. Если же целевая функция обращается в некоторой точке траектории в ноль, то такая точка считается *терминальной точкой*, а проблема – *терминальной проблемой*.

2. Агенты универсального искусственного интеллекта

В [8] указывается на то, что проблемы интеллектуального агента определены не в пространстве его поведения, а в своих *локальных редуцированных подпространствах*, оси которых представляют собой множества значений параметров, по которым локальные целевые функции не вырождены в том смысле, что такие значения оказывают влияние на значения этих целевых функций. В соответствии с одной из наших ключевых гипотез свойством динамического формирования таких пространств для каждой онтологизируемой и идентифицируемой проблемы как раз и обладают сети нейронов головного мозга. Разработанная вычислительная абстракция такой сети на базе метафоры проектирования нейрокогнитивной мультиагентной архитектуры нацелена на имитационное моделирование этого свойства.

В соответствии с нашей гипотезой, построив поведение автономного агента на основе такой вычислительной абстракции, мы сможем имитировать процесс рассуждения при решении одной проблемы, однако цели разработки теоретических основ создания

универсальных интеллектуальных программных агентов и роботов, способных к коллаборативному выполнению сложных миссий на основе конструктивного взаимодействия (в том числе с помощью естественного языка) в составе человеко-машинного коллектива, предполагают, что системы управления таких агентов и роботов способны синтезировать управление автономным поведением в реальной среде в течение всего времени работы агента в соответствии с функциональным назначением (*время жизни, экзистенции*) агента.

В том числе предполагается, что с целью решения задач функционального назначения, в том числе подзадач, определяемых оператором-партнером по человеко-машинному коллективу с помощью естественного языка, интеллектуальный агент самостоятельно синтезирует свое поведение (включающее также синтез высказываний на естественном языке), реализуя которое он и формирует свою часть коллективной интерпретации и реализации совместной миссии. Автономность имеет принципиальное значение, так как именно ее наличие позволяет интеллектуальному агенту заместить человека в данном функциональном контуре. Она в том числе предполагает, что возмущения, которые в общем случае всегда имеют место в реальной среде, также *самостоятельно* онтологизируются, идентифицируются и решаются интеллектуальным агентом без необходимости непосредственного вмешательства партнеров по человеко-машинному коллективу для модификации закона управления.

Критерии способности к автономному пониманию естественно-языкового описания миссий, их коллективной декомпозиции на подзадачи, формированию согласованного кооперативного плана реализации и автономного решения назначенных коллективом подзадач при условии самостоятельной компенсации возмущений с помощью метаалгоритмов онтологизации проблем и алгоритмов их идентификации и решения, по нашему мнению, задают дифференцирующие признаки агентов *универсального искусственного интеллекта*. Классификация вычислительных агентов, основанная на соотношении их структурно-функциональных свойств с классами задач, которые они способны решать, определяющая в том числе различия между агентами общего и универсального искусственного интеллекта, введена в [8].

В силу вышеизложенного необходимо констатировать, что инвариант нейрокогнитивной архитектуры, реализующий акт принятия решения о синтезе отрезка в траектории движения интеллектуального агента в пространстве его поведения, сам по себе не обладает потенциалом реализации функционала системы управления агентом универсального искусственного интеллекта, он лишь является базовым структурно-функциональным элементом, с помощью которого такая система управления может быть построена. Инвариант нейрокогнитивной архитектуры в этом смысле является метафорой проектирования *динамической функциональной системы* (по П.К Анохину), представляющей собой базовую структурно-функциональную единицу мышления.

Если нейрокогнитивность в указанном выше аспекте относится прежде всего к свойствам самого инварианта, его способности (как динамической функциональной системы) автономно идентифицировать в составе траектории движения агента в пространстве поведения отдельные проблемы и синтезировать их решения, то для описания интегративных свойств системы управления, состоящей из многочисленных разноуровневых, определенным образом взаимосвязанных инвариантов нейрокогнитивной архитектуры, вместе составляющих полнофункциональную систему управления интеллектуального агента, по аналогии с феноменологическими комплексами, реализуемыми мозгом человека, в современном академическом естествознании описываемыми только концептуальным и терминологическим аппаратом нейропсихологии, будем называть *нейропсихологической архитектурой системы управления интеллектуального агента* (*нейропсихологической архитектурой интеллектуального агента*).

3. Нейрокогнитивные трансформации пространства определения проблем

Как показано в [9], вычислительной абстракцией процессов взаимодействия между группами агнейронов различных типов, располагающихся в различных когнитивных узлах функциональной системы (*когнитонах*), построенной на основе нейрокогнитивной архитектуры, является т.н. *нейрокогнитивное отображение* (*н-отображение*), которое ставит в соответствие множеству выходных сигналов (сообщений) одного когнитона (*точки области определения*), направленных в данный момент дискретного времени группе агнейронов второго когнитона, множество выходных сигналов второго когнитона (*точки области значения*), синтезированных этими агнейронами в ответ (в результате обработки) на присланные сигналы. Такое отображение является т.н. *мультиагентным отображением* и в этом смысле относится к классу *мультиагентных функций*, введенных в [10].

Особенностью н-функций как мультиагентных отображений между агнейронами является то, что корреляции между точками области определения и области значения являются «мягкими» связями, формирование и разрыв которых зависят от фактически наблюдаемой в системе «агент – среда» корреляции между феноменами, функциональную репрезентацию которых выполняют эти агнейроны в составе данной когнитивной архитектуры [10].

В [8] приведена гипотетическая архитектура афферентного анализатора мозга, которая рассматривается нами в качестве базовой для построения афферентной части нейропсихологической архитектуры интеллектуального программного агента. Показано, в частности, что она состоит из следующих типов агнейронов: *рецепторные*, *регуляризирующие*, *топологические* (*конструкторы квалиа*), *признаковые* (*квалиативные*), *концептуальные*, *событийные*, *эмоциональные*, *моделирующие*. Все эти агнейроны, кроме моделирующих, – конвергентные, т.е. выдают на выход меньшее количество сигналов, чем принимают на вход. Рецепторные агнейроны принимают сигналы от рецепторов агента и преобразуют их в *высказывания*, описывающие *регулярные графические примитивы* (штрихи, углы поворота). Регуляризирующие агнейроны на основе поступивших от рецепторных агнейронов текущих графических примитивов генерируют описания простых *плоских геометрических фигур*. Далее топологические агнейроны формируют описания отношения таких фигур между собой, представляющие собой т.н. *топологические мультиагентные факты* (*МА-факты*) [3].

МА-факт представляет собой нейрокогнитивную функциональную систему, состоящую из агнейронов, объединенных мягкими (контрактными) связями, позволяющими на основе обмена сообщениями между этими агнейронами выполнять в нейропсихологической архитектуре функциональную репрезентацию некоторых наблюдаемых агентом в системе «агент – среда» взаимосвязей между объектами, признаками и явлениями. Мы исходим из гипотезы о том, что любое знание, которое относится к некоторым объектам и явлениям, носит характер МА-факта [11] и в этом смысле является т.н. *мультиагентным знанием* [7].

Сообщения от агнейронов, входящих в состав нейрокогнитивных функциональных систем, реализующих МА-факты, описывающие отношения топологических объектов, далее попадают на входы признаковых агнейронов, синтезирующих на их основе информацию о признаках объектов, наблюдаемых интеллектуальным агентом во внешней среде и в себе самом и таким образом представленных в афферентном потоке.

На основе этой информации концептуальные агнейроны генерируют функциональные репрезентации таких объектов, отношений и признаков, а событийные агнейроны по этим данным, в свою очередь, формируют МА-факты, описывающие статические и динамические процессы в системе «агент – среда».

Следует отметить, что по мере прохождения через вышеописанные когнитоны, используя свойство н-функций, состоящее в том, что они определены только в пространствах, оси которых не вырождены по значениям этих функций [12], вышеописанная, первая, афферентная

часть инварианта нейрокогнитивной архитектуры последовательно переопределяет наблюдаемую часть исходного афферентного потока, порождаемого рецепторами интеллектуального агента, в подпространствах с последовательно уменьшающимися размерностями. Если первоначально, сразу после срабатывания рецепторов, некоторая часть траектории интеллектуального агента определена непосредственно в пространстве его поведения, размерность которого равна сумме общего количества рецепторов и эффекторов этого агента, то, проходя через афферентную часть инварианта нейрокогнитивной архитектуры и таким образом переопределяясь на каждом шаге в подпространствах, редуцированных за счет выбывания осей, по которым вырождены н-функции, задействованные в обеспечении таких трансформаций, эта часть траектории оказывается определена в очень компактном подпространстве, оси которого соответствуют лишь агнейронам, задействованным в описании МА-фактов, наблюдаемых в текущей ситуации в системе «агент – среда».

Следует также отметить, что все вышеупомянутые пространства и подпространства типологически относятся именно к *мультиагентным пространствам* (*МА-пространства*), представляющим собой упорядоченные наборы множеств сообщений, синтезируемых агентами, каждый из которых соответствует (выполняет репрезентацию) одной из осей такого пространства.

С точки зрения представления информации о событиях, происходящих в наблюдаемой интеллектуальным агентом части системы «агент – среда», сформированный набор МА-фактов полностью описывает текущее состояние этой системы. В этом смысле вышеописанная афферентная часть инварианта нейрокогнитивной архитектуры реализует *функцию синтеза состояний* всей системы «агент – среда». Однако важно, что состояния эти описаны в терминах МА-фактов и поэтому определены в соответствующих МА-пространствах очень низкой размерности. Тем самым достигается значительная степень редукции вычислительной сложности всей задачи синтеза траектории агента в пространстве его поведения.

На следующем этапе необходимо оценить события, выделенные событийными агнейронами из афферентного потока, по отношению к динамике целевой функции агента. Для этого используется н-отображение из когнитона событийных агнейронов в когнитон эмоциональных агнейронов. Такие агнейроны используют предопределенные знания и знания, накопленные в опыте интеллектуального агента, для оценки текущих и возможных потерь или приобретения *энергии*, рассматриваемой как обобщенная величина, описывающая значения целевой функции интеллектуального агента. *Эмоциональные агнейроны* реализуют *функцию разметки состояний* системы «агент – среда» значениями целевой функции.

После такой разметки выполняется дивергентное н-отображение, формирующее представление о причинах и возможных последствиях текущих наступивших событий. Это н-отображение выполняется т.н. *моделирующими агнейронами*, находящимися в одноименном когнитоне нейрокогнитивной архитектуры. Эволюционный синтез возможности экстраполировать события прошлого и будущего и объединять их в одну *проблемную ситуацию* (*ситуацию*), вероятно, был востребован в связи с необходимостью компенсации таких свойств системы «агент – среда», как эпизодичность, частичная наблюдаемость, динамичность, активность и стохастичность.

Само представление о времени, возникающее в нейропсихологической архитектуре интеллектуального агента, базируется на нейроморфологических процессах, протекающих в инварианте когнитивной архитектуры. Можно предположить, что *настоящее* – это период времени, в течение которого в афферентной части инварианта нейрокогнитивной архитектуры происходит построение МА-фактов, описывающих текущие событие.

Представляется также вероятным, что, восстанавливая прошлые события, моделирующие агнейроны также редуцируют локальное пространство определения данной проблемы, так как они тем самым исключают из рассмотрения все другие возможные «сценарии прошлого».

Эфферентная часть инварианта нейрокогнитивной архитектуры включает в себя агнейроны: *целеполагания* (*целевые агнейроны*), *выбора действия*, *потенциалиса*, *композиции планов*, *управления режимами работы* инварианта [7].

Целевые агнейроны предназначены для поиска и фиксации завершающего (целевого) события (цели), наступление которого в будущем соответствует достижению решения проблемы. Подобно тому, как каждый сформированный агнейронами нейрокогнитивной функциональной системы МА-факт редуцирует пространство определения проблемы, целевые агнейроны совместно с агнейронами, выполняющими функциональную репрезентацию целевых событий, ограничивают пространство альтернатив решения проблемы. В этом смысле можно говорить о том, что подцели дерева целей, формируемого инвариантом нейрокогнитивной архитектуры для сложных многоходовых решений, соответственно, также последовательно редуцируют это пространство, на каждом шаге определяя в локальном пространстве проблемы подпространства все меньшей и меньшей размерности, которые задают множества возможных траекторий агента при движении по дереву (плану) решения. В результате выбора конкретной подцели поиск переходит в соответствующий условный «гиперквадрант» локального пространства проблемы, значительно редуцируя пространство дальнейшего поиска. Определив подцель, мы также на порядки снижаем размерность пространства альтернатив всего решения, так как укорачиваем горизонт планирования, выводим из рассмотрения лишние МА-оси.

Агнейроны выбора действия совместно с целевыми, эмоциональными и событийными агнейронами реализуют н-функцию, выполняющую поиск действия, позволяющего перейти из текущей ситуации в целевую. Если функциональная репрезентация таких действий не находится либо агнейроны потенциалиса определяют, что найденное действие не представляется возможным осуществить, то агнейроны композиции планов организуют с помощью обмена запросами в формате сообщений поиск промежуточных действий по схемам прямого, обратного либо смешанного планирования.

Агнейроны управления режимами работы инварианта нейрокогнитивной архитектуры принимают решение о переключении между различными типами поведения интеллектуального агента – синтезом плана решения проблемы, выполнением такого плана.

Следует отметить, что при синтезе плана поведения и его реализации происходит процесс, обратный нейрокогнитивной редукции, – это процесс *нейрокогнитивной эксдукции*. В ходе такого процесса решение, найденное в локальном пространстве определения проблемы, реализуется в системе «агент – среда», т.е. в полноразмерном пространстве поведения интеллектуального агента.

Таким образом, функциональные системы, построенные на основе инварианта нейрокогнитивной архитектуры, оснащены необходимой базой для построения мультиагентных алгоритмов идентификации и решения проблем на основе синтеза траекторий движения интеллектуального агента в пространстве его поведения с использованием способности н-отображений к трансформации пространства определения проблемы и ее решения в динамическом режиме.

4. Гипотеза о нейропсихологической архитектуре мозга

Следует, однако, отметить, что интеллектуальный агент в реальной среде подвержен воздействию значительного количества проблем, многие из которых проявляются синхронно. Такая ситуация возможна прежде всего в силу того, что нейрокогнитивная система, создающаяся для идентификации и решения каждой проблемы, определяет ее в некотором редуцированном локальном пространстве. Зачастую такие пространства даже не

имеют общих осей. С учетом экзистенциальной значимости, которая по определению свойственна проблемам, пренебрежение даже теми из них, которые размечены незначительными потерями энергии, для агента представляется проигрышной стратегией. Поэтому эволюция синтезировала более сложную *нейропсихологическую архитектуру мозга*, ориентированную на управление многочисленными функциональными системами, основанными на инварианте нейрокогнитивной архитектуры, входящими в ее состав. Рассмотрим гипотетическую структурно-функциональную схему такой нейропсихологической архитектуры (рис. 1).

Так как в соответствии с нашей рабочей гипотезой основной задачей интеллектуальной системы управления интеллектуального агента является синтез его траектории в пространстве поведения, субоптимальной по критерию максимизации целевой функции, нейропсихологическая архитектура мозга, являющаяся структурно-функциональной основой такой системы управления, должна обеспечивать не только онтологизацию, идентификацию и решение отдельных проблем, с которыми сталкивается агент, но и их субоптимальный выбор из входного *потока проблем*.

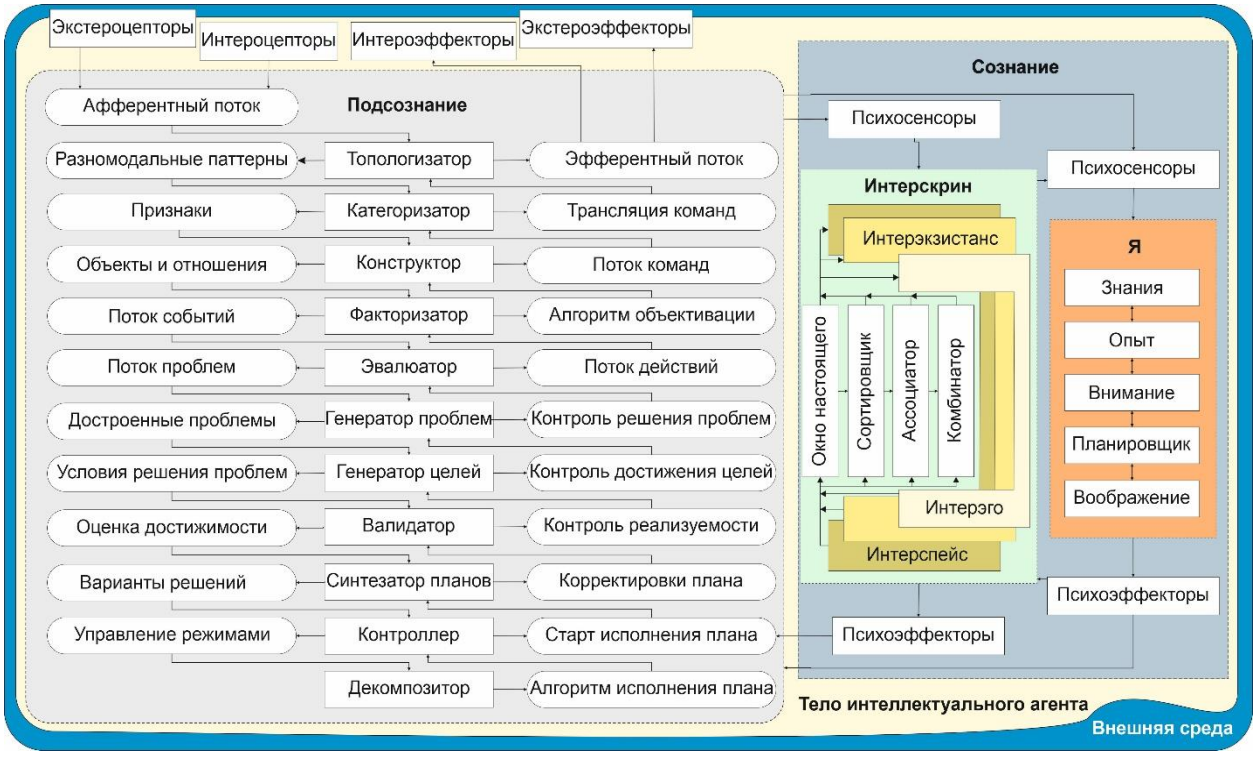


Рис. 1. *Гипотетическая нейропсихологическая архитектура мозга*

Fig. 1. *Hypothetical neuropsychological architecture of the brain*

В силу того, что проблемы длятся (развертываются) в течение определенного ненулевого времени и, как правило, состоят из множества синхронных и асинхронных событий, агент вынужден одновременно рассматривать возможность решения нескольких из них. Так как процессы идентификации и решения проблем выполняются нейрокогнитивными функциональными системами, состоящими из множеств взаимодействующих агнейронов, интеллектуальный агент в принципе способен выполнять такие процессы в параллельном режиме. Этому способствует также и то, что каждая синхронно решаемая проблема в силу действия динамической нейрокогнитивной редукции определена в своем собственном ло-

кальном мультиагентном нейрокогнитивном пространстве. В указанном смысле агнейроны, входящие в состав нейрокогнитивных функциональных систем, можно отнести к *немонопольным ресурсам*, используемым агентом для решения проблем.

Ситуация, однако, осложняется тем, что исполнить найденные алгоритмы решения синхронных проблем агент в общем случае одновременно не может, так как для такой реализации агент должен выполнить движение по некоторому отрезку своей траектории в полноразмерном пространстве поведения, а для этого ему необходимо использовать свои сенсоры и эффекторы, которые, также в общем случае, являются *монопольными ресурсами*, т.е. не могут одновременно использоваться для решения нескольких проблем. Иными словами, при реализации движения по траектории в пространстве поведения агент вынужден перейти от нейрокогнитивного моделирования «внутри» системы управления к непосредственному решению проблемы во внешней для него реальной среде. При этом он должен каким-то образом распределить точки (отрезки) своей траектории в пространстве поведения между частями нейрокогнитивных алгоритмов решения различных актуальных синхронных проблем, определенных в своих локальных мультиагентных нейрокогнитивных пространствах. Очевидно также, что для того, чтобы заполнить часть своей траектории в пространстве поведения фрагментами таких нейрокогнитивных алгоритмов, т.е. для того, чтобы реализовать эти фрагменты в системе «агент – среда», агенту необходимо переопределить соответствующие им решения из локальных нейрокогнитивных пространств, в которых они определены, в полноразмерное пространство поведения. Такое переопределение, как уже указывалось выше, выполняется с помощью нейрокогнитивной эксдукции.

Можно предположить, что интеллектуальный агент под управлением нейропсихологической архитектуры в реальной среде строит свою траекторию в пространстве поведения как непрерывающуюся композицию фрагментов траекторий онтологизации, идентификации, решения отдельных проблем, построенных в локальных нейрокогнитивных пространствах определения этих проблем и приведенных с помощью нейрокогнитивной эксдукции к размерности пространства поведения агента (переопределенных в нем).

Исходя из этой гипотезы можно заключить, что одним из ключевых отличительных свойств нейронных систем (систем, состоящих из взаимодействующих нейронов) как таковых является их способность к избирательной трансформации пространства определения проблем, основанной на учете факторов системы «агент – среда», существенных для решения этих проблем. Иными словами, вероятно, корректно было бы применять термин «нейронный» в отношении тех метафор проектирования, вычислительных абстракций, формализмов и систем, которые обладают таким свойством. Например, если мы хотим подчеркнуть, что система способна самостоятельно строить функциональные зависимости в стиле мультиагентных отображений [7, 10], то по отношению к ней применим термин «мультиагентная» система. Если же при этом построенные отображения еще и избирательно содержательны в вышеуказанном смысле, то назовем их «мультиагентными нейрокогнитивными (нейронными)».

Возвращаясь к исследованию возможности построения системного обоснования метафоры проектирования нейропсихологической архитектуры мозга, отметим, что мы придерживаемся эволюционной концепции системогенеза мозга, обосновывающей формирование его новых структурно-функциональных компонентов детерминантами усложнения организмов, их поведения и взаимодействия со средой обитания. Такой подход вполне согласуется с наблюдаемой морфологией и поведенческими способностями видов в филогенетическом ряду и с общепринятыми естественнонаучными представле-

ниями об эволюционном формировании отделов мозга. Соответственно, для обеспечения нового функционала управления многозадачным решением синхронных и асинхронных проблем, идентифицируемых интеллектуальным агентом в системе «агент – среда», мы добавляем в нейропсихологическую архитектуру этого агента новые структурно-функциональные компоненты, представленные на рисунке 1.

Так, рассмотренные ранее структурно-функциональные подсистемы объединены в составе модуля *подсознания*, отвечающего в нейропсихологической архитектуре за процессы синтеза и применения нейрокогнитивных динамических функциональных систем онтологизации, идентификации и решения отдельных проблем. В то же время в нейропсихологическую архитектуру дополнительно введен модуль *сознания*, основной задачей которого является управление синтезом единой траектории движения агента в пространстве поведения на основе переключения монопольных ресурсов агента между нейрокогнитивными функциональными системами подсознания с помощью механизма *внимания*.

В модуле сознания, в свою очередь, выделены компоненты *интерскрина* и *подсистемы* «*Я*» (*модуль* «*Я*») агента. В [8] показано, что все вышеупомянутые компоненты построены на основе нейрокогнитивных функциональных систем, аналогичных по основным принципам организации, структуре и составу вышеуказанному инварианту нейрокогнитивной архитектуры, используемому нами в качестве основной структурно-функциональной единицы подсознания. Разница, однако, состоит в том, что каскад н-функций, последовательно реализуемых инвариантом нейрокогнитивной архитектуры, в случае использования в функциональных системах подсознания выполняет синтез фрагментов траекторий движения агента в пространстве поведения, тогда как в случае сознания инвариант нейрокогнитивной архитектуры управляет синтезом фрагментов траектории агента в нейрокогнитивном *пространстве проблем*, которое мы определяем как множество всех метаалгоритмов и алгоритмов онтологизации, идентификации и решения проблем, представленных в подсознании агента.

Будем считать прямое произведение пространства поведения на пространство проблем *пространством психики* интеллектуального агента.

Если подсознание для анализа процессов в пространстве поведения и управления ими использует рецепторы и эффекторы (в том числе интерорецепторы и экстерорецепторы, интероэффекторы и экстероэффекторы), то сознание – т.н. *психосенсоры* и *психоэффекторы*, с помощью которых оно анализирует процессы в пространстве проблем и, соответственно, управляет ими (рис. 1).

В модуле подсознания на этом рисунке в прямоугольниках показаны структурно-функциональные компоненты, соответствующие вышеописанным когнитонам. Однако в отличие от названий когнитонов на схеме приведены названия таких компонентов, мотивированные их обобщенным функциональным назначением. Кроме того, состав таких компонентов расширен за счет ранее не упоминавшихся субкогнитонов, расположенных внутри когнитона распознавания, назначение которых состоит в организации мультиагентного нейрокогнитивного решения задачи распознавания образов по данным разномодальных потоков сенсорных данных (*топологизатор, категоризатор, конструктор*). В овалах на рисунке 1 показаны категории, в качестве которых интерпретируются сообщения от соответствующих структурно-функциональных компонентов нейрокогнитивной архитектуры подсознания, при синтезе потоков афферентной (слева) и (эфферентной) информации.

Компонент «Я» как часть сознания, по нашему мнению, выполняет основную функцию выбора конкретной части траектории идентификации или решения наиболее актуальной проблемы для ее использования в процессе синтеза единой траектории движения интеллектуального агента в пространстве его поведения.

Компонент «Интерскрин» выполняет основную функцию трансформации пространства определения проблемы или ее решения между локальными подпространствами их определения, пространством поведения и пространством психики интеллектуального агента.

Каждый из компонентов нижнего уровня, входящих в компоненты «Я» и «Интерскрин» (рис. 1), также представляет собой множество нейрокогнитивных функциональных систем.

Компонент «Знания» содержит мультиагентные знания интеллектуального агента, характеризующие его общие представления об устройстве и функционировании мира (себя самого, других агентов и окружающей среды).

Компонент «Опыт» содержит мультиагентные знания, описывающие ситуации непосредственного взаимодействия агента с внешней средой и другими агентами в ее составе, свой собственный субъективный опыт.

Компонент «Воображение» содержит нейрокогнитивные функциональные системы, способные для каждого шага идентификации и решения проблемы синтезировать пространство альтернатив траекторий дальнейшего движения агента.

Компонент «Внимание» позволяет осуществлять выбор наиболее важных фрагментов синхронно решаемых проблем и достройку полного представления этих проблем в их локальных пространствах определения.

Компонент «Планировщик» позволяет выполнить субоптимальный выбор последовательности и длительности сеансов использования монопольных ресурсов интеллектуального агента при переключении между наиболее актуальными проблемами.

Структурно-функциональные подсистемы компонента «Интерскрин», приведенные на рисунке 1, имеют следующее назначение:

- Интерспейс – нейрокогнитивная трансформация, достройка и интеррепрезентация (между подсознанием и сознанием) компонентов проблем, наблюдаемых во внешней среде;

- Интерэго – нейрокогнитивная трансформация, достройка и интеррепрезентация компонентов проблем, наблюдаемых в самом агенте;

- Окно настоящего – формирование и интеррепрезентация МА-фактов, наблюдаемых в системе «агент-среда»;

- Сортировщик – отнесение МА-фактов, сформированных модулем «Окно настоящего», к одной из актуальных (нерешенных) проблем интеллектуального агента;

- Ассоциатор – актуализация мультиагентных связей текущих нейрокогнитивных функциональных репрезентаций событий и проблем с ассоциированными событиями и проблемами с целью наиболее полного описания состояния системы «агент – среда»;

- Комбинатор – система интеррепрезентации комбинации фрагментов различных проблем и решений, способная трансформировать пространство их определения с учетом всех нейрокогнитивных осей, задействованных в описаниях отдельных проблем.

По нашему мнению, взаимодействие между представленными компонентами нейропсихологической архитектуры интеллектуального агента строится на тех же принципах обмена информацией и энергией, что и взаимодействие между агнейронами в составе инварианта нейрокогнитивной архитектуры.

Так, например, компонент сознания может использовать психоэффекторы для воздействия на подсознание с целью воспоминания некоторой ситуации. В этом случае агнейроны соответствующей нейрокогнитивной функциональной системы сознания предлагают вознаграждение в виде порции энергии управляющему агнейрону или моделирующему агнейрону в составе инварианта нейрокогнитивной архитектуры подсознания с тем, чтобы они, в свою очередь, предложили вознаграждение другим участникам функциональных систем подсознания, чтобы отправить соответствующие сообщения в интерскрин. В этом случае психорецепторы считали бы всю проблемную ситуацию (все дерево проблем

и решений) из локальной области определения этой проблемы и нейрокогнитивные функциональные системы интерскрина достроили бы ее до размерности психического пространства, в котором проблемы представляются в интерспейсе и где они становятся доступными для анализа нейрокогнитивным функциональным системам компонента «Я».

Основной задачей компонента сознания является выбор для решения самой актуальной проблемы. Важно, что события, определяемые подсознанием и демонстрируемые в окне настоящего в интерскрине, постоянно сменяют друг друга и при этом, в общем случае, относятся к совершенно разным проблемам. Поэтому требуется, чтобы внимание и интерспейс, распределяя такие события по проблемам, в случае возникновения необходимости могли бы быстро загрузить для демонстрации и обработки компонентом «Я» всю проблему целиком, включая те ее фрагменты, которые относятся к прошлому и воображаемому будущему. При этом эту проблему также необходимо переопределить в пространстве психики для того, чтобы при синтезе решения не упустить значимые детали.

Достройка размерностей выполняется с учетом того, что нейрокогнитивные функциональные системы компонента «Я» адаптированы под эффективную обработку интеррепрезентации траектории движения агента в пространстве психики, объединяющем информацию как о его траектории в пространстве проблем, так и о его траектории в пространстве поведения. Такой подход представляется конструктивным для решения т.н. *легкой* и *трудной проблем сознания* [13].

Разработанная концепция нейропсихологической архитектуры системы управления интеллектуального агента позволяет вернуться к метафоре проектирования т.н. картезианского театра, удобной для описания сложного взаимодействия компонентов психики [13].

5. Картезианский театр: подсознание, «Я» и интерскрин

В соответствии с предложенной концепцией нейрокогнитивной трансформации пространства определения проблемы онтологизируются в редуцированных локальных подпространствах. Поэтому у интеллектуального агента появляется возможность решать их с помощью различных нейрокогнитивных функциональных систем в последовательно-параллельном многозадачном стиле, организуя управление переключением между локальными подпространствами с помощью компонента сознания. Единая траектория движения интеллектуального агента в полном пространстве поведения, таким образом, формируется из фрагментов траекторий в локальных подпространствах проблем, переключением между которыми и управляет сознание.

Так как функция переключения при такой конфигурации с необходимостью отдается сознанию, выбор из вариантов планов решения задачи также морфофизиологически передается на этот уровень, что в нашей модели реализуется в компоненте «Я».

Соответственно, функция интерскрина состоит в полной достройке проблем и их демонстрации для моделирования и анализа последствий и вариантов решения с тем, чтобы все задействованные компоненты сознания были обеспечены всей необходимой информацией, требуемой для осуществления выбора, представленной в удобном для него формате фрагмента траектории агента в пространстве психики.

В этом смысле интерскрин можно, по нашему мнению, рассматривать как компонент психики, реализующий функционал т.н. *картезианского театра* [14], в котором сознанию демонстрируются проблемы, приведенные к формату фрагментов траекторий в пространстве психики. Такая подача позволяет упростить реализацию основной функции сознания, состоящей в управлении разделением задач, определенных в локальных пространствах представления проблем, при движении целостного (интегрированного самой структурой нервной системы) агента в полном пространстве его поведения с учетом монопольного характера части задействованных ресурсов.

Нейрокогнитивные функциональные системы онтологизации, идентификации и решения проблем, расположенные в компоненте подсознания, обрабатывая проблемы, синтезируют точки траектории движения интеллектуального агента в локальных пространствах этих проблем. В общем случае эти процессы происходят параллельно, независимо и синхронно по отношению друг к другу. Интерскрин демонстрирует сознанию эти проблемы под управлением функциональной системы внимания. Сознание анализирует построенные фрагменты траекторий и предлагает модулю «Я» варианты интеграции их в единую траекторию движения агента в пространстве поведения в соответствии с расписанием, построенным Планировщиком с учетом приоритетности решения проблем.

Модуль «Я» принимает окончательное решение по выбору фрагмента траектории локальной проблемы для встраивания в главную траекторию. Сознание и интерскрин обеспечивают интеграцию. Интерскрин при этом обеспечивает трансформацию пространств определения проблемы – между локальным пространством определения проблем, глобальным пространством поведения и пространством психики интеллектуального агента, управляя при этом вырожденными осями. Сознание перебирает варианты будущих траекторий, строит последовательности и комбинации их фрагментов в едином формате траектории в пространстве поведения. Следовательно, можно предположить, что «пьесы» в картезианском театре «ставятся» и «разыгрываются» именно с целью оптимального решения задачи синтеза единой, но «кусочной» по своему характеру (по составу задач) траектории в пространстве поведения агента.

6. «Дерево жизни» в пространстве поведения агента

Все психоэффекторы предназначены (их состав и функции детерминированы задачами) для редактирования графов проблем и решений, реализуемых отдельными нейрокогнитивными функциональными системами, – добавить, удалить, верить, считать невыполнимым, невероятным, рекомбинировать с частями других графов и т.д. Важны центральные функции воспоминания и представления: вспомнить означает по некоторому частному параметру (по координате, оси, точке траектории в локальном пространстве проблемы) найти и загрузить в интерспейс всю локальную траекторию задачи (еще и с вариантами возможных альтернатив) для того, чтобы исследовать ее: найти причинно-следственные детерминанты, соотнести с другими вариантами проблем и решений (композиция и рекомбинация).

Так как локальных деревьев синхронных проблем (в локальных подпространствах), как правило, много и интеллектуальный агент, перемещаясь по своей траектории в пространстве поведения с помощью монопольных ресурсов и эффекторов, использует на каждом шаге немонопольные нейрокогнитивные функциональные системы решения таких проблем в параллельном режиме, получается, что каждое реальное состояние (каждая точка в пространстве поведения), идентифицируемое агентом, сопровождается идентификацией и загрузкой в интерскрин некоторого количества воображаемых проблем, актуализирующихся в связи с переходом агента в данное состояние.

Такое движение можно образно представить в виде дерева, ствол которого реален и представлен в пространстве поведения, а ветви динамически возникают и исчезают в воображении по мере продвижения агента вверх по этому дереву. Перейдя на следующую вершину дерева (точку траектории в реальном пространстве поведения), с помощью подсистемы окна настоящего агент фиксирует некоторый новый набор актуальных проблем в локальных пространствах определения, что позволяет интерскрину переопределить эти проблемы в пространстве психики и таким образом «вырастить» их из определенных точек ствола с тем, чтобы затем предъявить эту визуализацию компоненту «Я». Такое дерево является удобной метафорой представления процесса движения агента в

пространстве его поведения, развертывания его экзистенции (жизни) в реальной среде, поэтому для удобства будем также называть его *деревом жизни агента*. Отметим, что жизнь агента развертывается в процессе его движения по траектории в пространстве поведения. Следовательно, продолжая метафорический ряд, можно отметить, что дерево жизни агента развивается («растет») в пространстве его поведения.

Таким образом, компонент «Окно настоящего» служит для обновления нейрокогнитивных функциональных систем проблем и решений – локальных веток глобального дерева жизни – путем идентификации текущих событий и их распределения между такими ветками. В процессе обновления на основе ретропроактивного анализа, выполняемого моделирующими агнейронами, реализуется сравнение событий, ожидаемых в соответствии с известным составом (паттерном) проблемы, и фактически идентифицируемыми событиями, что дает дополнительную информацию компоненту сознания для принятия решений о выборе фрагментов траекторий в локальных пространствах определения проблем для их встраивания в ствол дерева жизни агента.

В частности, на основе сопоставления МА-фактов из окна настоящего с паттернами проблем может быть выполнена корректировка самих таких паттернов, в том числе путем обнаружения и устранения противоречий в текущих МА-фактах событий, логических посылок, причинно-следственных зависимостей, прогнозов и выводов.

Как следует из вышеприведенного описания и рисунка 2, фактическая траектория у агента (ствол дерева жизни) одна, но на каждом ее шаге компоненту «Я» доступно для выбора ее продолжения много вариантов. При переходе в очередную вершину дерева жизни специализированные нейрокогнитивные функциональные системы выполняют синтез доступных из этой вершины вариантов сценариев дальнейшего движения (потенциальных направлений роста) – локальных ответвлений ствола дерева жизни. Формирующаяся таким образом динамическая структура дерева определяет возможности и порядок движения между локальными ответвлениями. Переместиться между любыми произвольными вершинами дерева в реальности агент в общем случае не может. Такое перемещение, однако, вполне осуществимо сознанием, не ограниченным физическими свойствами реального мира.

Соответственно, при переключении между фрагментами траекторий идентификации или решения конкретных проблем в локальных пространствах их определения агенту необходимо синтезировать также и траектории перехода между конечными и начальными точками таких фрагментов, так как в реальности перейти между ними за один шаг агент не может.

На рисунке 2 приведено упрощенное изображение дерева жизни агента в пространстве размерности 3. Проблемы, идентифицируемые в вершинах дерева, показаны прозрачными параллелепипедами, символически отражающими тот факт, что такие проблемы определены в своих локальных нейрокогнитивных пространствах. Проблемы, относящиеся к вершинам, сформированным в прошлом и настоящем, показаны в параллелепипедах со сплошным контуром, а к вершинам, синтезированным воображением для описания возможных траекторий движения агента в будущем, – с пунктирным контуром. На рисунке изображены траектории решения трех проблем, из фрагментов решений которых сознание строит основную траекторию движения, которая показана сплошной линией. На рисунке можно, в частности, увидеть, что для переключения между такими фрагментами нейропсихологической архитектуре необходимо также синтезировать траектории переходов между конечными и начальными точками таких фрагментов для различных локальных проблем.

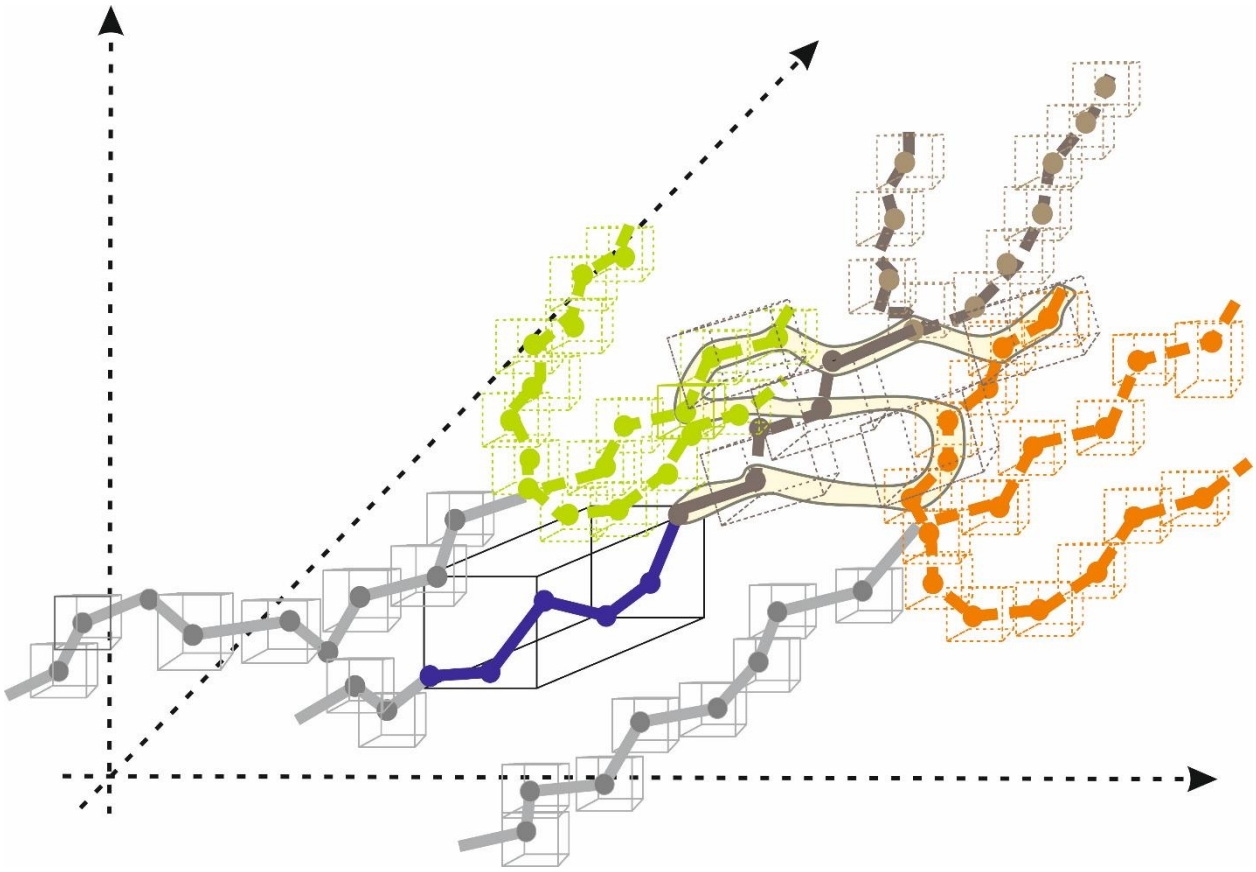


***Рис. 2**. Схематическое изображение движения агента по дереву жизни*

***Fig. 2**. Schematic representation of the agent's movement along the tree of life*

Что же касается нейрокогнитивной архитектуры компонентов сознания, то возможность демонстрации в интерскрине (в единой «реальности») нескольких синхронно обрабатываемых проблем является принципиально важной для обеспечения творческого мышления при их онтологизации, идентификации и решении, так как только в этом случае у нейропсихологической архитектуры системы управления поведением агента появляется возможность комбинировать фрагменты траекторий таких проблем и решений в едином пространстве психики с целью синтеза более эффективных субоптимальных траекторий в пространстве поведения.

7. Вычислительная абстракция иллюзии целостности «Я»

В работе [8] показано, что нейрокогнитивным компонентам сознания структурно-топологически доступны для восприятия все уровни афферентных анализаторов и все информационные объекты, формируемые агнейронами на этих уровнях, – начиная непосредственно с выходов рецепторов и заканчивая событиями и проблемами. В соответствии с нашей гипотезой это необходимо для того, чтобы сформировать репрезентацию событий и проблем в системе «агент – среда» в пространстве психики, что, в свою очередь, является неотъемлемым условием объединения в таких репрезентациях событий, непосредственно наблюдаемых в окне настоящего и достраиваемых моделирующими агнейронами в процессе загрузки прошлых и будущих воображаемых частей проблемы в интерскрин. Иными словами, в картезианском театре интерскрин должен представить компоненту «Я» текущие и представляемые проблемы в том же формате, в котором нейрокогнитивные компоненты сознания наблюдают

события в составе этих проблем в потоках выходов афферентных агнейронов верхних уровней с тем, чтобы возник эффект единообразного представления при синхронной актуализации модели реальности в пространстве психики на базе действительных и воображаемых событий. Для конструирования такой модели необходимо, чтобы на всех уровнях афферентного тракта существовали агнейроны, которые могли бы достраивать входы этих уровней по запросу, содержащему значения их выходов. Таким образом, при необходимости с использованием таких агнейронов возможно реализовать дивергентную трансформацию пространства определения проблемы – из локального – в пространство психики.

Можно предположить, что динамическое комплексирование сообщений с разных уровней описания проблемы с помощью такого рода нейрокогнитивных трансформаций порождает ощущение целостности и осмысленности восприятия, составляющее основу представления интеллектуального агента о себе и об окружающем мире.

Итак, модуль первого уровня обработки информации – подсознание – формирует нейрокогнитивные функциональные системы онтологизации, идентификации и решения отдельных проблем в локальных пространствах их определения.

Модуль второго уровня – сознание – определяет субоптимальный план распределения монопольных ресурсов агента между такими нейрокогнитивными функциональными системами.

Внутри модуля второго уровня выделяется компонент интерскрин, формирующий общий и текущий *контекст* обработки множества актуальных синхронных и асинхронных проблем в пространстве психики.

Кроме того, в модуле второго уровня выделяется также компонент «Я», выполняющий субоптимальный выбор фрагментов траекторий обработки проблем в их локальных пространствах определения с целью их интеграции в единую траекторию агента в пространстве его поведения.

Как показано в [8], неотъемлемым компонентом интерскрина является подсистема т.н. *интерэкзистанса*, отвечающая за функциональную интеррепрезентацию процессов, регистрируемых подсознанием в *теле* агента. В свою очередь подсистема *интерэго* регистрирует и выполняет нейрокогнитивную функциональную репрезентацию процессов, протекающих в интерэкзистансе и в компоненте «Я». Таким образом, модуль интерскрина всегда (на протяжении всей экзистенции агента) выполняет функциональную интеррепрезентацию подсознательного восприятия окружающего мира, тела агента в этом мире и себя в этом мире и в этом теле.

Операционная модель, в которой именно модуль «Я» принимает окончательное решение о выборе конкретного участка траектории агента в пространстве поведения, в такой *трехуровневой модели интеррепрезентации* (*самовосприятия*) наделяет этот модуль функцией субъекта экзистенции, от лица которого совершаются действия агента в среде.

Таким образом, в субъективной части такой интеррепрезентации (интерэкзистанс и интерэго) формируется интроспективное представление о «Я» как о субъекте агентности, дополнительно оснащенном физическим телом. Структурно-функциональная схема взаимного подключения к потоками генерируемых сигналов, приведенная в [8], когда интерспейс интегрирован в потоки сообщений между экстероцепторами и конструктором, интерэкзистанс – между интероцепторами и конструктором, интерэго – между психоцепторами и конструктором, поддерживает такое представление, составляя топологическую основу целостности самовосприятия агента.

Принципиальное значение имеет то, что такая система интеррепрезентации имеет смешанный генезис – топология и базовая нейрокогнитивная архитектура, позволяющая динамически

формировать функциональные системы в формате инварианта, представлены в ней изначально, в момент старта экзистенции агента, т.е. имеют филогенетический характер. Однако в процессе развертывания экзистенции агента в среде новые нейрокогнитивные функциональные системы генерируются во всех компонентах интерскрина динамически в режиме «по требованию» с использованием т.н. *нейрогенетической функции* [8] и строят ассоциативные связи друг с другом с использованием алгоритмов *онтонейроморфогенеза* [15], т.е. имеют онтогенетическое происхождение. Таким образом, все компоненты нервной системы агента достраиваются в процессе его жизни.

Такой смешанный, *онтофилогенетический* [15, 16], подход к формированию системы управления агентом составляет основу ее адаптивности и обеспечивает основной процесс, в который, по определению [8], вовлечен агент универсального искусственного интеллекта – *онтологизация, идентификация и решение проблем универсального спектра на основе автономного синтеза поведения в реальной среде*.

Как показано выше, в этом процессе фактическая траектория движения агента в пространстве его поведения строится динамически на основе фрагментов траекторий в локальных редуцированных пространствах определения конкретных проблем, ассоциированных с вершинами дерева жизни агента, задающем схему допустимых взаимных комбинаций точек глобальной траектории агента в пространстве поведения, связанных с ограничениями на использование монопольных ресурсов агента.

Компонент сознания предназначен для управления ресурсами с целью субоптимального переключения между фрагментами локальных траекторий. Поэтому интерспейс демонстрирует сознанию различные комбинации фрагментов и их вариантов. Взаимосвязанные компоненты интерскрина, встроенные в афферентные потоки, позволяют делать это именно в том формате, в котором такие фрагменты, определенные в локальных пространствах проблем, могут быть дивергентно переопределены (на основе нейрокогнитивной эксдукции) в пространстве психики, в котором они уже могут комбинироваться с событиями, непосредственно детерминированными текущей перцептивной реальностью.

Афферентные потоки изначально структурируют хаос реального мира в перцептивные форматы, на основе которых строятся редукции в виде топологий, признаков, объектов, событий, проблем, а интерскрин как совокупность взаимосвязанных нейрокогнитивных функциональных систем интерспейса, интерэкзистанса и интерэго (интерэго внутри интерскрина как *наблюдатель за зрителем* в картезианском театре) включается в работу только с появлением проблемы.

Нейрокогнитивные трансформации между афферентными данными, определенными в пространстве поведения, проблемами, определенными в своих локальных пространствах, и демонстрациями в интерскрине, определенными в пространстве психики, выполняют топологизатор, категоризатор, конструктор и факторизатор. Делают они это с помощью специализированных нейрокогнитивных функциональных систем, основанных на н-отображениях, сформировавшихся эволюционно и филогенетически наследуемых агентом. В целом метафорически можно обобщить, что зритель в картезианском театре должен увидеть различные постановки пьесы (алгоритмические схемы) о своем движении в прошлом и будущем с тем, чтобы выбрать вариант с самым убедительным счастливым (по возможности) концом и сделать реальностью именно его.

Такая интерпретация основной функции картезианского театра наводит на мысль о том, что субъективность – это способность системы к управлению объективными процессами с помощью интеррепрезентативной модели, объединяющей данные подсозна-

тельных функциональных систем о среде, своем теле в среде, с данными функциональных систем верхнего уровня о работе таких подсознательных функциональных системах в едином формате.

Своеобразная оппозиция «Я» агента как субъекта поведения и проблемы в системе «агент – среда» как некоторой части объективно формирующейся траектории агента в пространстве поведения, по нашему мнению, требуется для сохранения иллюзии субъективного восприятия непрерывного движения агента по дереву жизни при переключении между различными синхронными и асинхронными локальными проблемами в процессе их последовательного и параллельного решения. Технологически для этого как раз и используется главная траектория движения агента в пространстве поведения (можно назвать ее «*Я*»-*траекторией*), обеспеченная алгоритмами выбора и встраивания в нее фрагментов траекторий локальных проблем, в том числе с применением нейрокогнитивных функциональных систем интерскрина.

Иллюзия «Я» необходима для формирования своеобразной нейрокогнитивной проекции представления агента о себе самом, своих возможностях и структурно-функциональных особенностях, связанных в том числе с констатацией требований последовательного применения монопольных ресурсов агента для псевдопараллельного решения синхронных и асинхронных проблем в системе «агент – среда».

Поддерживая возможность параллельного решения многих проблем и констатируя сугубо последовательный характер использования монопольных ресурсов, система управления агента и допускает загрузку найденных параллельными алгоритмами решений синхронных и асинхронных проблем в последовательную «Я»-траекторию.

В картезианском театре интерскрина интерэкзистанс и интерспейс демонстрируют движение агента по «Я»-траектории – по стволу дерева жизни агента в прошлом и настоящем, а также множество альтернатив движения по этой траектории в будущем. Нейрокогнитивные функциональные системы модуля «Я» принимают решение о выборе конкретного варианта траектории в будущем, что также сопровождается интеррепрезентацией в компоненте интерэго.

Компонент внимания реализует эволюционно приобретенный механизм переключения фокуса ввода окна настоящего между различными локальными проблемами, что также поддерживает универсальный характер спектра решаемых агентом проблем в условиях ограничения на возможность параллельного использования монопольных ресурсов.

8. Психогенез компонента «Я» системы управления интеллектуального агента

Для достижения универсальности интеллекта агента принципиальное значение имеет процесс онтогенетического формирования (*психогенеза*) нейропсихологической архитектуры его системы управления. Можно предположить, что с феноменами, определенными в пространстве психики, агент сталкивается гораздо раньше и интенсивность взаимодействия с ними значительно выше, чем с проблемами, детерминированными ситуациями во внешней среде. В этом случае условные «слоты» специализированных нейрокогнитивных функциональных систем компонентов «Я» и интерскрина начинают активно заполняться новыми агнейронами в процессе развертывания экзистенции агента.

Рабочее описание компонента «Я» можно построить на базе метафоры проектирования двух взаимно ортогональных деревьев – субъективного отражения дерева жизни агента, связанного с траекторией агента в пространстве поведения, и психоцепторно и психоэффекторно базированного в нем *дерева мышления агента*, связанного с траекторией движения системы управления агента по дереву жизни, определенного в пространстве психики,

связанных между собой функциональными системами нейрокогнитивных трансформаций, обеспечивающих синхронные описания проблем в различных пространствах.

Соответственно, нейроморфологически компонент «Я» представлен всеми агнейронами в составе функциональных систем, формирующихся в этих условно ортогональных («психоортогональных») деревьях на протяжении жизни агента. Следовательно, «Я» расширяется в процессе развития экзистенции агента за счет таких новых агнейронов и ситуативно сформированных на их основе нейрокогнитивных функциональных систем.

По нашему мнению, основной причиной эволюционного возникновения структурно-функционального компонента интерскрина является необходимость синтеза решений на основе анализа всей проблемной ситуации с учетом всех входящих в нее событий.

Фрагменты проблемы из прошлого и будущего, загруженные в интерскрин в качестве частей основного ствола дерева жизни агента, должны актуализироваться событиями из окна настоящего, своевременно перестраивая ответвления дерева в виде локальных проблем и тем самым порождая варианты дальнейшего движения по стволу. Данные текущего афферентного потока в интерскрине бесшовно встраиваются на свое место – «миг между прошлым и будущим» проблемы, демонстрируемой компоненту «Я» в пространстве психики. Нейрокогнитивные функциональные системы компонента «Окно настоящего» достраивают МА-факты, описывающие текущие события. После этого с помощью нейрокогнитивного компонента «Сортировщик» распознанные события распределяются по релевантным проблемам, которые после этого становятся ассоциативно и логически связанными с текущими вершинами в дереве жизни.

Сознание способно произвольно выбирать любые части дерева жизни – как реально имевшие место вершины ствола дерева, определенные в пространстве поведения, так и его воображаемые ответвления, определенные в пространствах локальных проблем, для того, чтобы по необходимости трансформировать (переопределять) их в пространстве психики и «загружать» в интерскрин с целью анализа, модификации, декомпозиции и объединения с другими фрагментами проблем в интересах синтеза алгоритмов онтологизации новых проблем, идентификации и решения уже ранее онтологизированных проблем.

Такой выбор, по нашему мнению, в общем случае обусловлен прежде всего необходимостью решать самые разнообразные проблемы, возникающие в системе «агент – среда», в том числе абсолютно новые для агента проблемы, требующие выполнения метаалгоритмов онтологизации. В этом смысле системные функции компонентов интерскрина и «Я» обоснованы прежде всего задачами решения проблем универсального спектра на основе синтеза поведения интеллектуального агента в реальной среде.

Заключение

Разработана концепция нейропсихологической архитектуры автономной системы управления поведением агента универсального интеллекта.

Показано, что универсальный характер спектра проблем, которые способны обрабатывать такие агенты, обеспечивается методологической и алгоритмической базой онтологизации, идентификации и решения проблем на основе синтеза нейропсихологической архитектурой агента его поведения в системе «агент-среда».

Построена вычислительная абстракция процессов онтологизации, идентификации и решения проблем нейропсихологической архитектурой на основе концепции синтеза автономным агентом траектории своего движения в пространстве поведения и метафоры проектирования дерева жизни агента.

Показано, что с целью достижения универсальности спектра решаемых проблем в нейропсихологической архитектуре объединены структурно-функциональные модули, основанные на нейрокогнитивных архитектурах, включающих в свой состав динамические функциональные системы, состоящие из агентов-нейронов.

Показано, что нейропсихологическая архитектура системы управления интеллектуального агента обеспечивает синтез траектории движения агента в пространстве поведения на основе интеграции в ее состав фрагментов траекторий движения агента в локальных пространствах определения проблем.

Разработана структурно-функциональная схема нейропсихологической архитектуры, мотивированная ее системным назначением, обеспечивающая нейрокогнитивные трансформации пространства определения проблем с помощью согласованной работы нейрокогнитивных компонентов, реализующих каскады н-функций для динамических переходов между пространством поведения, локальными пространствами определения отдельных проблем и пространством психики.

Структура и функции нейрокогнитивных компонентов метафоры проектирования нейропсихологической архитектуры – подсознания, сознания, интерскрина, интерспейса, интерэкзистанса, интерэго, модуля «Я» автономного агента – обоснованы в рамках вычислительной абстракции агента универсального искусственного интеллекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. http://www.robotspodcast.com/podcast/2012/10/robots-rethink-robotics/#transcript

2. *Russell S., Norvig P.* Artificial Intelligence: A Modern Approach (AIMA). 2nd ed. Moscow: Williams, 2007. 1424 p.

3. *Нагоев З. В., Нагоева О. В.* Обоснование символов и мультиагентные нейрокогнитивные модели семантики естественного языка. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2022. 150 с.

4. *Нагоев З. В., Анчёков М. И., Бжихатлов К. Ч. и др.* Онтоэписоциофилогенетическое развитие систем общего искусственного интеллекта на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6(110). С. 61–75. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-61-75

5. *Nagoev Z.V., Nagoeva, O., Gurtueva, I.* Multi-Agent neurocognitive models of semantics of spatial localization of events. Cognitive Systems Research. 2020. 59. Pp. 91–102. DOI: 10.1016/j.cogsys.2019.09.015.

6. *Nagoev Z. V.* Multiagent recursive cognitive architecture // Biologically Inspired Cognitive Architectures 2012. Proceedings of the third annual meeting of the BICA Society, in Advances in Intelligent Systems and Computing series, Springer. 2012. Pp. 247–248.

7. *Нагоев З. В.* Интеллектика, или Мышление в живых и искусственных системах. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2013. 232 с.

8. *Нагоев З. В.* Основные принципы нейрокогнитивного моделирования сознания агента универсального искусственного интеллекта // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 1. С. 152–170. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-152-170

9. *Нагоев З. В., Пшенокова И. А., Нагоева О. В. и др.* Имитационная модель нейрокогнитивной системы управления автономным программным агентом, выполняющим кооперативное поведение с целью автоматического пополнения онтологий // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 226–234. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-226-234

10. *Нагоев З. В.* Мультиагентные экзистенциальные отображения и функции // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 4(54). С. 63–71. EDN: QZTFLX

11. *Nagoev Z., Nagoeva O., Anchokov M. et al.* The symbol grounding problem in the system of general artificial intelligence based on multi-agent neurocognitive architecture // Cognitive Systems Research. 2023. Vol. 79. Pp. 71–84. DOI: 10.1016/j.cogsys.2023.01.002

12. *Нагоев З. В.* Мультиагентные экзистенциальные отображения и функции // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 4(54). С. 63–71. EDN: QZTFLX

13. *Chalmers D. J.* The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory. 1 edition. Oxford: Oxford University Press, 1996. 432 p. ISBN 978-0195117899.

14. *John R.* Searle, “Minds, brains, and programs”. Behavioral and Brain Sciences 3 (3): 417-457.

15. *Нагоев З. В.* Онтонейроморфогенетическое моделирование // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 4(54). С. 56–63. EDN: QZTFLN

16. *Апшев А. З., Аталиков Б. А., Канкулов С. А. и др.* Онтофилогенетические алгоритмы синтеза фенотипов интеллектуальных программных агентов для применения в задачах многопоколенной оптимизации управляющих нейрокогнитивных архитектур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6(110). С. 76–91. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-76-91

REFERENCES

1. http://www.robotspodcast.com/podcast/2012/10/robots-rethink-robotics/#transcript

2. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: Modern approach (AIMA). 2nd ed. Moscow: Williams, 2007. 1424 p.

3. Nagoev Z.V., Nagoeva O.V. *Obosnovaniye simvolov i mul'tiagentnyye neyrokognitivnyye modeli semantiki yestestvennogo yazyka* [Justification of symbols and multi-agent neurocognitive models of natural language semantics]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2022. 150 p. (In Russian)

4. Nagoev Z.V., Anchekov M.I., Bzhikhatlov K.Ch. et al. Ontoepisociophylogenetic development of general artificial intelligence systems based on multi-agent neurocognitive architectures. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 6(110). Pp. 61–75. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-61-75. (In Russian)

5. Nagoev Z.V., Nagoeva O., Gurtueva I. Multi-Agent neurocognitive models of semantics of spatial localization of events. Cognitive Systems Research. 2020. 59. Pp. 91–102. DOI: 10.1016/j.cogsys.2019.09.015.

6. Nagoev Z.V. Multiagent recursive cognitive architecture. Biologically inspired cognitive architectures 2012. Proceedings of the Third Annual Meeting of the BICA Society, in Advances in Intelligent Systems and Computing Series, Springer. 2012. Pp. 247–248.

7. Nagoev Z.V. *Intellektika, ili Myshleniye v zhivykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intellectics, or Thinking in Living and Artificial Systems]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2013. 232 p. (In Russian)

8. Nagoev Z.V. Basic principles of neurocognitive modeling of the consciousness of a universal artificial intelligence agent. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 1. Pp. 152–170. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-152-170. (In Russian)

9. Nagoev Z.V., Pshenokova I.A., Nagoeva O.V. et al. Simulation model of a neurocognitive control system for an autonomous software agent performing cooperative behavior for the purpose of automatic ontology replenishment. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 6 (116). Pp. 226–234. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-226-234. (In Russian)

10. Nagoev Z.V. Multi-agent existential mappings and functions. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2013. No. 4(54). Pp. 63–71. EDN: QZTFLX. (In Russian)

11. Nagoev Z., Nagoeva O., Anchokov M. et al. The symbol grounding problem in the system of general artificial intelligence based on multi-agent neurocognitive architecture. Cognitive Systems Research. 2023. Vol. 79. Pp. 71–84. DOI: 10.1016/j.cogsys.2023.01.002

12. Nagoev Z.V. Multi-agent existential mappings and functions. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2013. No. 4(54). Pp. 63–71. EDN: QZTFLX. (In Russian)

13. Chalmers D.J. The conscious mind: In search of a fundamental theory. 1 edition. Oxford: Oxford University Press, 1996. 432 p. ISBN 978-0195117899.

14. John R. Searle, “Minds, brains, and programs”. Behavioral and Brain Sciences 3 (3): 417-457.

15. Nagoev Z.V. Ontoneuromorphogenetic modeling. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2013. No. 4(54). Pp. 56–63. EDN: QZTFLN. (In Russian)

16. Apshev A.Z., Atalikov B.A., Kankulov S.A. et al. Ontophylogenetic algorithms for synthesizing phenotypes of intelligent software agents for use in multi-generation optimization problems of control neurocognitive architectures. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 6(110). Pp. 76–91. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-76-91. (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Нагоев Залимхан Вячеславович, канд. техн. наук, генеральный директор Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

вед. науч. сотр. отдела «Мультиагентные системы», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

zaliman@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9549-1823, SPIN-код: 6279-5857

Information about the author

Zalimkhan V. Nagoev, Candidate of Technical Sciences, General Director of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

Leading Researcher, Department “Multi-Agent Systems”, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia;

zaliman@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9549-1823, SPIN-code: 6279-5857

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, СТАТИСТИКА

УДК 004.89 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-209-224
EDN: XRQMYE

Коллаборативная диалоговая система имитационного моделирования растений на основе нейропсихологических агентов универсального искусственного интеллекта

И. А. Пшенокова[1], М. И. Анчёков[1], К. Ч. Бжихатлов[1, 2], З. В. Нагоев[1, 2], О. В. Нагоева✉[2], А. А. Хамов[1]

[1]Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2
[2]Институт информатики и проблем регионального управления –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

Аннотация. Актуальность работы определяется необходимостью повышения производительности, управляемости и эффективности процессов селекции и возделывания растений на основе создания их моделей, обладающих прогностической силой. Разработана общая архитектура систем имитационного моделирования растений на основе агентов универсального искусственного интеллекта. Обоснована возможность применения для разработки таких систем метафоры проектирования децентрализованных коллаборативных диалоговых систем на основе агентов универсального искусственного интеллекта. Разработаны обобщенные мультиагентные алгоритмы обучения управляющих нейрокогнитивных архитектур агентов универсального искусственного интеллекта в составе имитационных моделей растений на основе извлечения знаний из текстов и высказываний на естественном языке и реализации исследовательского поведения автономных мобильных роботов в реальной среде.

Цель исследования – разработка методологии создания имитационных моделей растений на основе диалоговых агентов универсального искусственного интеллекта.

Методы исследования. Обоснована возможность применения для разработки таких систем метафоры проектирования децентрализованных коллаборативных диалоговых систем на основе агентов универсального искусственного интеллекта.

Результаты. Разработаны основные принципы построения открытых имитационных моделей растений, обладающих выразительной и прогностической силой, на основе нейропсихологических агентов универсального искусственного интеллекта.

Заключение. Разработана общая архитектура систем имитационного моделирования растений на основе агентов универсального искусственного интеллекта и автономных мобильных роботов.

Ключевые слова: имитационное моделирование растений, агенты универсального искусственного интеллекта, нейрокогнитивные системы и алгоритмы, цифровое фенотипирование, молекулярное строение растений

Поступила 07.11.2025, одобрена после рецензирования 27.11.2025, принята к публикации 09.12.2025

Для цитирования. Пшенокова И. А., Анчёков М. И., Бжихатлов К. Ч., Нагоев З. В., Нагоева О. В., Хамов А. А. Коллаборативная диалоговая система имитационного моделирования растений на основе нейропсихологических агентов универсального искусственного интеллекта // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 209–224. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-209-224

© Пшенокова И. А., Анчёков М. И., Бжихатлов К. Ч., Нагоев З. В., Нагоева О. В., Хамов А. А., 2025

MSC: 68T42 Original article

Collaborative dialogue system for plant simulation based on neuropsychological agents of universal artificial intelligence

I.A. Pshenokova[1], M.I. Anchekov[1], K.Ch. Bzhikhatlov[1, 2], Z.V. Nagoev[1, 2], O.V. Nagoeva✉[2], A.A. Khamov[1]

[1]Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia
[2]Institute of Computer Science and Problems of Regional Management –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. The relevance of this work stems from the need to enhance the productivity, manageability, and efficiency of plant breeding and cultivation processes by creating predictive models. A general architecture for plant simulation systems based on universal artificial intelligence agents is developed. The feasibility of using a design metaphor for decentralized collaborative dialog systems based on universal artificial intelligence agents for developing such systems is substantiated. Generalized multi-agent training algorithms are developed for controlling neurocognitive architectures of artificial intelligence agents in plant simulation models; these algorithms are based on knowledge extracted from texts and natural language utterances, as well as the implementation of exploratory behavior by autonomous mobile robots in a real environment.

Aim. The study is to develop a methodology for creating simulation models of plants based on dialogue agents of universal artificial intelligence.

Research methods. The possibility of using a design metaphor for decentralized collaborative dialogue systems based on universal artificial intelligence agents to develop such systems is substantiated.

Results. Fundamental principles for constructing open-source plant simulation models with high expressiveness and predictive power have been developed based on neuropsychological agents from universal artificial intelligence.

Conclusion. A general architecture for plant simulation systems has been developed created on universal artificial intelligence agents and autonomous mobile robots.

Keywords: plant simulation modeling, general artificial intelligence agents, neurocognitive systems and algorithms, digital phenotyping, molecular structure of plants

Submitted 07.11.2025, approved after reviewing 27.11.2025, accepted for publication 09.12.2025

For citation. Pshenokova I.A., Anchekov M.I., Bzhikhatlov K.Ch., Nagoev Z.V., Nagoeva O.V., Khamov A.A. Collaborative dialogue system for plant simulation based on neuropsychological agents of universal artificial intelligence. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 209–224. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-209-224

Введение

Актуальность задачи имитационного моделирования растений определяется необходимостью повышения производительности, управляемости и эффективности процессов селекции и возделывания растений [1–6]. Сложность этой задачи, связанная с существенной нелинейностью, динамичностью, активностью, требованиями соблюдения физической, химической, биологической корректности, необходимостью использования значительных вычислительных ресурсов, трудностями идентификации и прикладного использования, определяет необходимость применения для ее решения методов мультиагентного моделирования и систем универсального искусственного интеллекта [7–10].

Длительный многоэтапный характер процессов в области селекции, семеноводства, возделывания растений и их многообразие, требования вовлечения в них значительного количества специалистов различного профиля и (на современном этапе) систем «умного» земледелия, автономных сельскохозяйственных роботов и систем искусственного интеллекта определяют необходимость применения для построения обучения универсальных интеллектуальных программных агентов метафоры проектирования децентрализованной коллаборативной диалоговой системы прототипирования и имитационного моделирования.

Объект исследования – архитектура систем имитационного моделирования растений, обладающих прогностической силой.

Предмет исследования – возможность применения для разработки таких систем метафоры проектирования децентрализованных коллаборативных диалоговых систем на основе агентов универсального искусственного интеллекта.

Задача исследования – разработка основных принципов построения открытых имитационных моделей растений, обладающих выразительной и прогностической силой, на основе нейропсихологических агентов универсального искусственного интеллекта.

Актуальность исследования. Актуальность задачи имитационного моделирования растений определяется необходимостью повышения производительности, управляемости и эффективности процессов селекции и возделывания растений.

1. Архитектура и назначение мультиагентной системы имитационного моделирования растений

На рисунках 1 и 2 приведено схематическое изображение вариантов использования и архитектуры обобщенной системы имитационного моделирования растений, представляющей собой распределенный децентрализованный сервис сбора, хранения и обработки данных и знаний, основанный на применении интеллектуальных программных агентов.

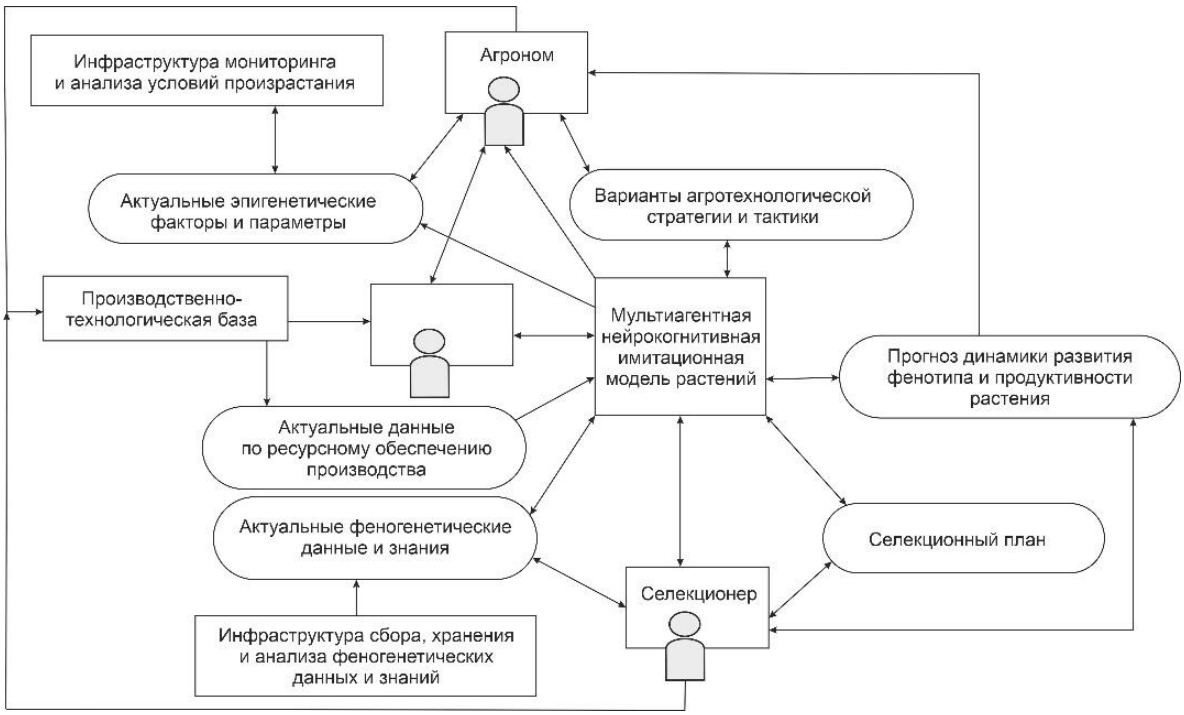


***Рис. 1**. Варианты использования распределенного сервиса на базе имитационной модели растений*

***Fig. 1**. Options for using a distributed service based on a plant simulation model*

Как было указано выше, сложность задачи проектирования и создания подобного сервиса настолько высока, что требует применения метафоры проектирования децентрализованной диалоговой коллаборативной системы прототипирования, предполагающей организацию конструктивного взаимодействия и обучения агентов универсального искусственного интеллекта операторами – партнерами по человеко-машинному коллективу – с использованием естественного языка.

Основной содержательный смысл создания и применения имитационных моделей растений состоит, по нашему мнению, в том, что такие модели могут стать функциональной основой интеллектуальных сервисов поддержки принятия решений и управления процессами селекции и семеноводства растений и производства продукции растениеводства, основанных на синтезе, накоплении и использовании знаний по принципу открытой системы.

Этот подход в среднесрочной перспективе призван компенсировать сложность, трудоемкость создания таких моделей и сервисов.

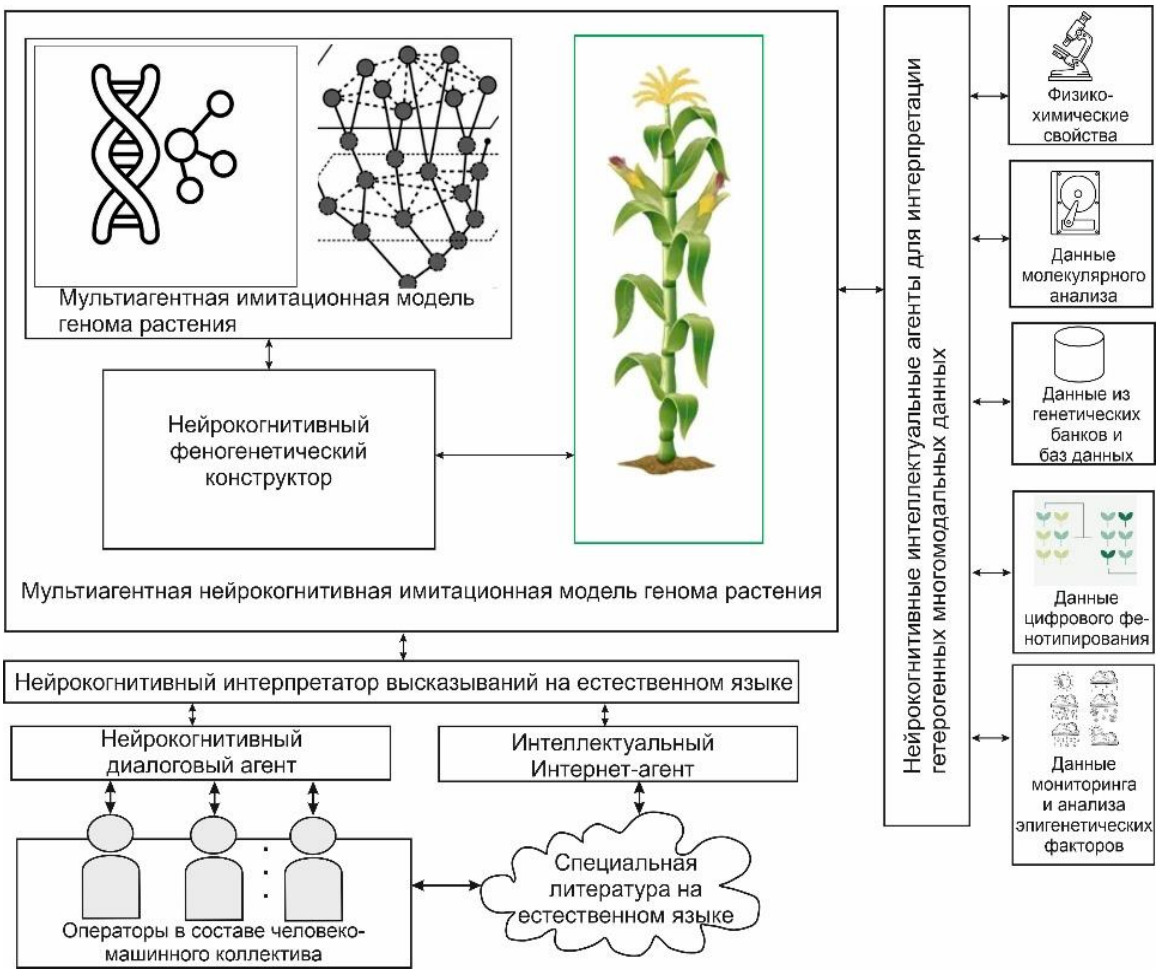


***Рис. 2**. Общая архитектура распределенного сервиса на базе имитационной модели растений*

***Fig. 2**. General architecture of a distributed service based on a plant simulation model*

Обобщенная схема циркуляции знаний в такой системе приведена на рисунке 3.

***Рис. 3**. Схема приобретения и использования знаний в открытой интеллектуальной системе имитационного моделирования*

***Fig. 3**. Knowledge acquisition and use scheme in an open intelligent simulation modeling system*

Рассмотрим основные принципы создания такой системы на основе применения агентов универсального искусственного интеллекта, определенные в [11], использование которых, по нашему мнению, является необходимым условием для достижения вышеописанной функциональности имитационных моделей растений.

К настоящему моменту в целом сложилось представление об архитектуре перспективной обобщенной системы коллаборативного прототипирования, основанной на имитационных моделях сред, агентов и явлений и применении интеллектуальных программных агентов [12–14]. Такая система должна обладать свойствами коллаборативности, гетероинтеллектуальности, диалоговой управляемости, федеративности, настраиваемой корректности виртуальной среды, мультиагентной автономности. Функциональную основу такой системы составляют агенты универсального искусственного интеллекта. Сущностное и формальное определение такого агента дано в [11]. Ключевое функциональное свойство агента универсального искусственного интеллекта, существенное в контексте создания гетероинтеллектуальных систем коллаборативного конструирования и прототипирования, – способность к автономной идентификации, онтологизации и решению задач, поставленных оператором, и проблем, препятствующих реализации этих задач. При этом предполагается, что такие постановки выполняются в форме естественно-языковых высказываний, которые интеллектуальный агент понимает и может поддерживать диалог с пользователем, направленный на уточнение поставленной миссии и ее деталей, информирование о ходе реализации задач.

В этом случае обмен знаниями между агентами универсального искусственного интеллекта, на основе которых будет построена система имитационного моделирования растений, и операторами – партнерами таких интеллектуальных агентов по выполнению согласованного коллективного поведения в рамках кооперации в составе коллаборативной системы диалогового прототипирования может быть описан обобщенным алгоритмом, приведенным на рисунке 4.

Что же представляет собой агент универсального искусственного интеллекта, способный к пониманию и синтезу высказываний в процессе содержательного диалога с операто-

рами на естественном языке? В [11] дается содержательное и формальное определение таких агентов. Приведем далее формальное определение агентов универсального искусственного интеллекта в кратком варианте, отсылая читателя за деталями определения к процитированной работе.

***Рис. 4**. Схема алгоритма обмена знаниями между интеллектуальными агентами и операторами в составе коллаборативной диалоговой системы*

***Fig. 4**. Scheme of the algorithm for knowledge exchange between intelligent agents and operators as part of a collaborative dialogue system*

2. Агент универсального искусственного интеллекта

Пусть некоторый интеллектуальный агент $\aleph_{\tau_{b^i}}^{\mathfrak{v}i\daleth\tau_{e^i\mathbf{max}}}$, принадлежащий классу **Л** так называемых *коллективных вычислителей* [11] (например, постановщик задачи, оператор), для решения проблемы $p_{h_i\tau_d}^{id}$ строит алгоритм:

$$a_{l_i\tau_d}^{idh_i} = u_{l_i\tau_d}^{idh_i}\left(p_{h_i\tau_d}^{id}\right), f_{l_i\tau_d}^{idh_i\Xi*} = c^i\left(a^i\left(p_{h_i\tau_d}^{id}, p_{h_i^o\tau_{d+x}}^{idh_il_i\Xi*}\right)\right), \exists\aleph_{k_q\tau_d}^{\mathfrak{m}i(\daleth-1)} \in \mathbf{Л},$$

$$P_{d\tau_{x_d}}^{i} = \left\{p_{h_i\tau_d}^{id}, p_{k_qh_{k_q}\tau_d}^{\mathfrak{m}id}\right\}, P_{d\tau_{x_d+y}}^{i\Xi*} = \left\{p_{h_i^o\tau_{d+x}}^{idh_il_i\Xi*}, p_{k_qh_{k_q}^o\tau_{x_d+y}}^{\mathfrak{m}idh_{k_q}l_{k_q}\Xi*}\right\},$$

$$a_{l_{k_q}\tau_d}^{\mathfrak{m}idh_{k_q}} = u_{l_{k_q}\tau_d}^{\mathfrak{m}idh_{k_q}}\left(p_{k_qh_{k_q}\tau_d}^{\mathfrak{m}id}\right), f_{l_{k_q}\tau_{x_d+y}}^{\mathfrak{m}idh_{k_q}\Xi*} = c^{\mathfrak{m}i}\left(a^{\mathfrak{m}i}\left(p_{k_qh_{k_q}\tau_d}^{\mathfrak{m}id}, p_{h_{k_q}^o\tau_{d+y}}^{\mathfrak{m}idh_{k_q}l_{k_q}\Xi*}\right)\right),$$

где $\aleph_{k_q\tau_d}^{\mathfrak{m}i(\daleth-1)}$ – агент из класса л-вычислителей, который в соответствии с алгоритмом $a_{l_i\tau_d}^{idh_i}$ для решения локальной проблемы $p_{h_i\tau_d}^{id}$ оператора $\aleph_{\tau_{b^i}}^{\mathfrak{v}i\daleth\tau_{e^i\mathbf{max}}}$ должен решить свою локальную проблему $p_{k_qh_{k_q}\tau_d}^{\mathfrak{m}id}$ при помощи алгоритма $a_{l_{k_q}\tau_d}^{\mathfrak{m}idh_{k_q}}$. Сделав это, он совместно с оператором решит и коллективную проблему $P_{d\tau_{x_d}}^{i}$, перейдя к целевым проблемам $P_{d\tau_{x_d+y}}^{i\Xi*}$ при помощи генерации эффекторных траекторий $f_{l_i\tau_d}^{idh_i\Xi*}$ и $f_{l_{k_q}\tau_{x_d+y}}^{\mathfrak{m}idh_{k_q}\Xi*}$. Здесь $\mathfrak{m}$ – индекс, обозначающий искусственное происхождение агента $\aleph_{k_q\tau_d}^{\mathfrak{m}i(\daleth-1)}$.

Оператор $\aleph_{\tau_{b^i}}^{\mathfrak{v}i\daleth\tau_{e^i\mathbf{max}}}$ для привлечения агента $\aleph_{k_q\tau_d}^{\mathfrak{m}i(\daleth-1)}$ к совместному решению проблемы $p_{h_i\tau_d}^{id}$ при помощи функции языкового кодирования $\mathfrak{w}_l^{\mathfrak{v}i\mathbf{cod}}$ строит для этого агента задание, выраженное в сообщении:

$$m_{iz\tau_d}^{\mathfrak{v}k_qdh_{k_q}} = \mathfrak{w}_l^{\mathfrak{v}i\mathbf{cod}}\left(P_{d\tau_{x_d}}^{i}, P_{d\tau_{x_d+y}}^{i\Xi*}, a_{l_i\tau_d}^{idh_i}, a_{l_{k_q}\tau_d}^{\mathfrak{m}idh_{k_q}}\right),$$

раскодировав которое при помощи функции языкового декодирования $\mathfrak{w}_l^{k_q\mathbf{dec}}\left(m_{iz\tau_d}^{\mathfrak{v}k_qdh_{k_q}}\right)$, агент $\aleph_{k_q\tau_d}^{\mathfrak{m}i(\daleth-1)}$ получает информацию о том, что он должен выполнить алгоритм $a_{l_{k_q}\tau_d}^{\mathfrak{m}idh_{k_q}}$ с целью перехода от проблемы $p_{k_qh_{k_q}\tau_d}^{\mathfrak{m}id}$ к проблеме $p_{h_{k_q}^o\tau_{d+y}}^{\mathfrak{m}idh_{k_q}l_{k_q}\Xi*}$. Система «оператор – агент – среда» реализует коллективную траекторию:

$$F^{i\daleth} = U^{i\daleth} = \Phi^{i\daleth}\left(P_{d\tau_{x_d}}^{i}, P_{d\tau_{x_d+y}}^{i\Xi*}\right) = \left(f_{l_i\tau_d}^{idh_i\Xi*}, f_{l_{k_q}\tau_{x_d+y}}^{\mathfrak{m}idh_{k_q}\Xi*}\right).$$

В силу того, что вся информация приходит к агенту $\aleph_{k_q\tau_d}^{\mathfrak{m}i(\daleth-1)}$ во входном сенсорном потоке, можно записать:

$$p_{h\tau_d}^{\text{ת}k_q dh_{k_q}} = p^i\left(s^i\left(r_{h\tau_{d-g}}^{i\tau_d}, \text{ש}_l^{k_q\textbf{dec}}\left(m_{iz\tau_d}^{\text{ט}k_q dh_{k_q}}\right)\right)\right),$$

где $p_{h\tau_d}^{\text{ת}k_q dh_{k_q}}$ – новая локальная проблема, решение которой детерминировано необходимостью выполнения задания $m_{iz\tau_d}^{\text{ט}k_q dh_{k_q}}$, принятого от оператора $\aleph_{\tau_{b^i}}^{\text{ט}i\text{ל}\tau_{e^i\textbf{max}}}$. Эту проблему агент $\aleph_{k_q\tau_d}^{\text{ת}i(\text{ל}-1)}$ идентифицирует в своей системе управления на базе анализа сенсорной траектории $r_{h\tau_{d-g}}^{i\tau_d}$ и декодированных функцией $\text{ש}_l^{k_q\textbf{dec}}\left(m_{iz\tau_d}^{\text{ט}k_q dh_{k_q}}\right)$ данных о $P_{d\tau_{x_d}}^{i}, P_{d\tau_{x_d+y}}^{i\Xi*}, a_{l_i\tau_d}^{idh_i}, a_{l_{k_q}\tau_d}^{\text{ת}idh_{k_q}}$.

Построив при помощи функции p^i локальную проблему $p_{h\tau_d}^{\text{ת}k_q dh_{k_q}}$, агент $\aleph_{k_q\tau_d}^{\text{ת}i(\text{ל}-1)} \in \textbf{Л}$ с помощью своего закона управления генерирует траекторию:

$$f_{j\tau_{x_d+y}}^{\text{ת}idh_{k_q}hl_{k_q}\Xi*} = \left(f_{j\tau_{x_d}}^{\text{ת}idh_{k_q}hl_{k_q}\Xi*}, f_{l_{k_q}\tau_{x_d+y}}^{\text{ת}idh_{k_q}\Xi*}\right) = u^{\text{ת}ih\text{M}a}\left(p_{h\tau_d}^{\text{ת}k_q dh_{k_q}}\right) =$$

$$= \begin{cases} u_{k_q\tau_x}^{\text{ת}ih}\left(p_{h\tau_d}^{\text{ת}k_q dh_{k_q}}\right), \exists a_{k_q\tau_d}^{\text{ת}ih} \in \mathbf{A}^{\text{ת}k_q} \\ u_{k_q\tau_x}^{\text{ת}ih\text{M}}\left(p_{h\tau_d}^{\text{ת}k_q dh_{k_q}}\right), \nexists a_{k_q\tau_d}^{\text{ת}ih} \in \mathbf{A}^{\text{ת}k_q} \end{cases},$$

где $f_{j\tau_{x_d+y}}^{\text{ת}idh_{k_q}hl_{k_q}\Xi*}$ – *общая эффекторная траектория*, $f_{l_{k_q}\tau_{x_d+y}}^{\text{ת}idh_{k_q}\Xi*}$ – ее *целевая часть*, а $f_{j\tau_{x_d}}^{\text{ת}idh_{k_q}hl_{k_q}\Xi*}$ – *подготовительная часть* общей траектории. Для того, чтобы из текущего состояния $\aleph_{k_q\tau_d}^{\text{ת}i(\text{ל}-1)}$ оператор $\aleph_{\tau_{b^i}}^{\text{ט}i\text{ל}\tau_{e^i\textbf{max}}}$ смог реализовать целевую часть, ему необходимо сначала исполнить подготовительную часть общей траектории.

Агент $\aleph_{k_q\tau_d}^{\text{ת}i(\text{ל}-1)}$ при условии присутствия специального алгоритма $a_{k_q\tau_d}^{\text{ת}ih}$ решения проблемы $p_{h\tau_d}^{\text{ת}k_q dh_{k_q}}$ в базе знаний и алгоритмов (онтоме) $\mathbf{A}^{\text{ת}k_q}$ использует выполняемую этим алгоритмом функцию $u_{k_q\tau_x}^{\text{ת}ih}\left(p_{h\tau_d}^{\text{ת}k_q dh_{k_q}}\right)$ для построения общей эффекторной траектории $f_{j\tau_{x_d+y}}^{\text{ת}idh_{k_q}hl_{k_q}\Xi*}$. При условии отсутствия такого алгоритма агент $\aleph_{k_q\tau_d}^{\text{ת}i(\text{ל}-1)}$ применяет метаалгоритмическую функцию $u_{k_q\tau_x}^{\text{ת}ih\text{M}}\left(p_{h\tau_d}^{\text{ת}k_q dh_{k_q}}\right)$ для того, чтобы создать специальный алгоритм $a_{k_q\tau_d}^{\text{ת}ih}$.

Таким же образом агент $\aleph_{k_q\tau_d}^{\text{ת}i(\text{ל}-1)}$ действует и в случае, когда в процессе построения и выполнения общей эффекторной траектории $f_{j\tau_{x_d+y}}^{\text{ת}idh_{k_q}hl_{k_q}\Xi*}$ в потоке $p_{\tau_d}^{k_q\tau_{x_d+y}}$ появляются новые проблемы $p_{h^b\tau_{x_d+y_b}}^{\text{ת}k_q dh_{k_q}}$, которые ведут к отклонению от целевой части траектории $f_{l_{k_q}\tau_{x_d+y}}^{\text{ת}idh_{k_q}\Xi*}$.

Соответственно, для построения и реализации эффекторной траектории $F^{i\gamma}$ оператору $\aleph_{\tau_{b^i}}^{\upsilon i\gamma\tau_{e^i\mathbf{max}}}$ требуется отправить агенту $\aleph_{k_q\tau_d}^{\mathfrak{m}i(\gamma-1)}$ сообщение $m_{iz\tau_d}^{\upsilon k_q dh_{k_q}}$. После этого все действия, необходимые для генерации общей эффекторной траектории $f_{j\tau_{x_d+y}}^{\mathfrak{m}idh_{k_q}hl_{k_q}\Xi*}$, с учетом действий, необходимых для онтологизации, идентификации и решения проблем $p_{h^b\tau_{x_d+y_b}}^{\mathfrak{m}k_q dh_{k_q}}$, искусственный интеллектуальный агент должен выполнить самостоятельно.

Агента $\aleph_{k_q\tau_d}^{\mathfrak{m}i(\gamma-1)} \in$ **Л,** закон управления которого имеет вид:

$$f_{j\tau_{x_d+y}}^{\mathfrak{m}idh_{k_q}hl_{k_q}\Xi*} = u^{\mathfrak{m}ih\mathrm{Ma}}\left(p_{h\tau_d}^{\mathfrak{m}k_q dh_{k_q}}\right),$$

будем называть *агентом универсального искусственного интеллекта* (*универсальным искусственным интеллектом* (УИИ).

Иными словами, мы считаем агентом универсального искусственного интеллекта такого программного агента, который способен обучиться пониманию и синтезу высказываний на естественном языке до уровня, достаточного для поддержки диалога с операторами с целью извлечения знаний о миссиях, и выполнить задачи, поставленные и возникающие в рамках этой миссии, самостоятельно компенсируя все возникающие в процессе выполнения возмущения.

3. Алгоритмы обучения имитационных моделей растений на базе агентов универсального искусственного интеллекта

Основные принципы и мультиагентные алгоритмы обучения интеллектуальных программных нейрокогнитивных агентов естественному языку, понимания и синтеза естественно-языковых высказываний приведены в [15]. Общий принцип построения таких мультиагентных алгоритмов, который, например, иллюстрируется рисунком 5, состоит в том, что при взаимодействии программного агента с оператором посредством естественного языка, они оба, являясь агентами универсального интеллекта, реализуют синтез управления своим поведением в интересах онтологизации, идентификации и решения проблем универсального спектра в системе «агент – среда».

У одного из агентов (оператор) есть функциональная нейрокогнитивная система решения некоторой проблемы (идентификации, онтологизации), а у другого (программного агента в составе имитационной модели растения) ее нет. На рисунке 5 в нейрокогнитивной архитектуре такого агента показаны все функциональные системы, включая концепты, связанные с элементами и системами феноменологии функциональной репрезентации естественного языка. Расшифровки пиктограмм в целях экономии места здесь не приводим. Они даны в [15]. На рисунке, в частности, показано, что после приема и интерпретации высказывания оператора на естественном языке у программного агента, ранее не обладавшего функциональной системой, описывающей некоторые мультиагентные факты о растении, такая нейрокогнитивная функциональная система появляется.

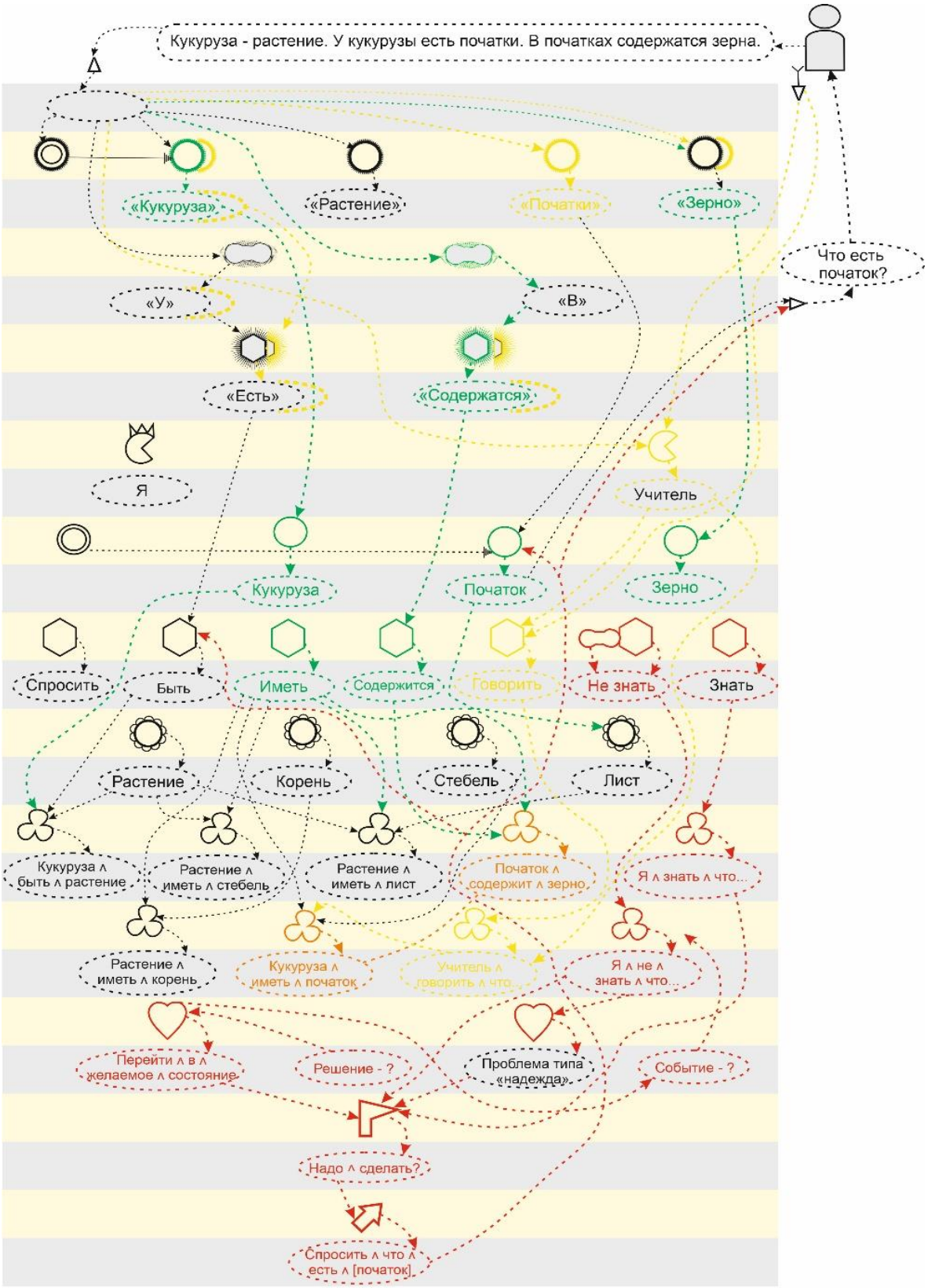


***Рис. 5**. Мультиагентный алгоритм извлечения знаний из высказывания на естественном языке*

***Fig. 5**. Multi-agent algorithm for extracting knowledge from a natural language statement*

Кроме алгоритмов извлечения знаний на основе интерпретации высказываний на естественном языке, разрабатываемая коллаборативная система имитационного моделирования растений предполагает применение автономных роботов и программных агентов, способных выполнять исследовательские задачи и функционировать в качестве мобильных и стационарных сенсоров и эффекторов. На рисунке 6 приведен фрагмент мультиагентного алгоритма управления исследовательским поведением автономного мобильного робота, выполняющего цифровое фенотипирование растений.

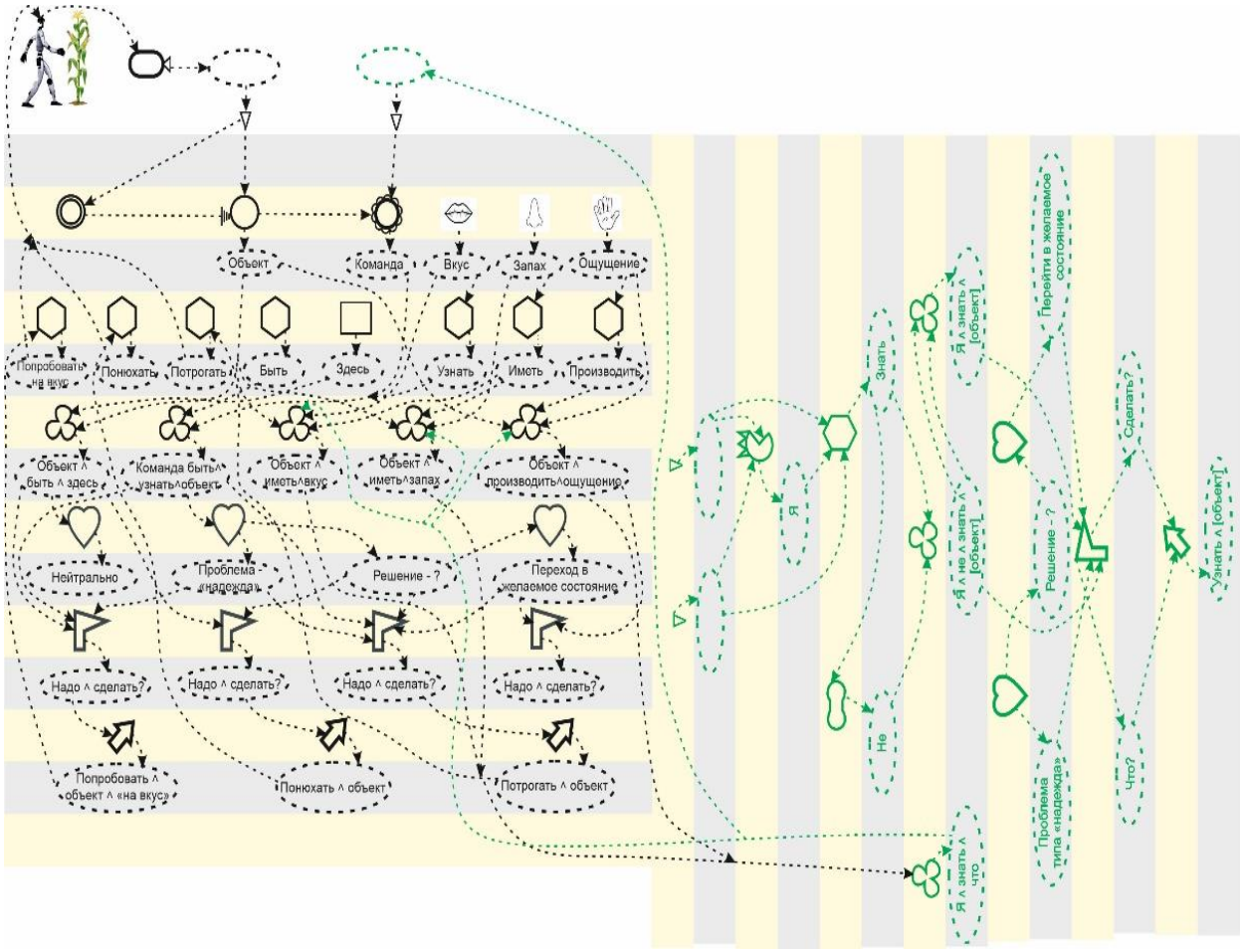


***Рис. 6**. Нейрокогнитивный алгоритм управления мобильным роботом цифрового фенотипирования растений*

***Fig. 6**. Neurocognitive control algorithm for a mobile robot for digital plant phenotyping*

Наибольшее количество знаний о структуре, составе и свойствах растений сосредоточено в специальной литературе, написанной на естественном языке и доступной в открытых источниках. Применение агентов универсального интеллекта в качестве основы децентрализованной системы управления знаниями имитационной модели растений предполагает возможность и необходимость самостоятельного обучения таких агентов путем извлечения недостающих знаний из таких источников на основе реализации алгоритмов исследовательского поведения (рис. 7).

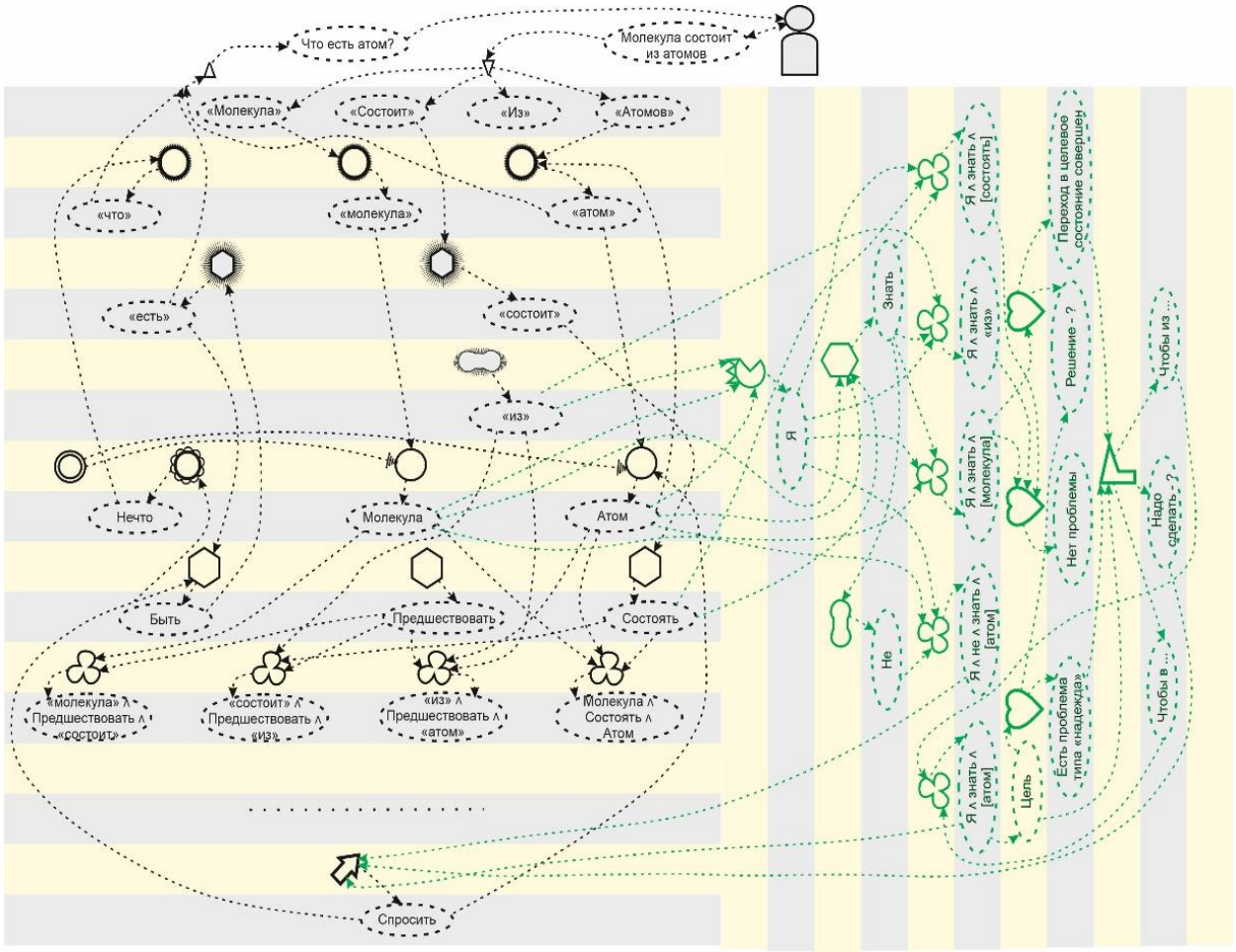


***Рис. 7**. Фрагмент гносеографического алгоритма извлечения знаний о молекулярной структуре растения из текста специальной литературы*

***Fig. 7**. Fragment of an epistemological algorithm for extracting knowledge about the molecular structure of a plant from specialized literature*

Агенты универсального искусственного интеллекта, способные к извлечению знаний из текстов на естественном языке, получили в [11] название *гносеографические*.

Заключение

Разработана общая архитектура систем имитационного моделирования растений на основе агентов универсального искусственного интеллекта и автономных мобильных роботов.

Обоснована возможность применения для разработки таких систем метафоры проектирования децентрализованных коллаборативных диалоговых систем на основе агентов универсального искусственного интеллекта.

Разработаны основные принципы построения открытых имитационных моделей растений, обладающих выразительной и прогностической силой, на основе нейропсихологических агентов универсального искусственного интеллекта.

Разработаны обобщенные мультиагентные алгоритмы обучения управляющих нейрокогнитивных архитектур агентов универсального искусственного интеллекта в составе имитационных моделей растений на основе извлечения знаний из текстов и высказываний на естественном языке и реализации исследовательского поведения автономных мобильных роботов в реальной среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Anchekov M. I. et al.* RETRACTED: Principles of ontophylogenetic development of artificial general intelligence systems based on multi-agent neurocognitive architectures // BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2024. Vol. 84. P. 02015

2. *Анчёков М. И., Курашев Ж. Х., Лешкенов А. М.* Применение многоагентных робототехнических систем в сельском хозяйстве // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 6. С. 158–164. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-158-164

3. *Нагоев З. В. и др.* Универсальная экспертная система на базе онтоэписоциофилогенетического обучения федераций интеллектуальных нейрокогнитивных агентов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 6. С. 197–207. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-197-207

4. *Анчёков М. И. и др.* Формальная модель генома агента общего искусственного интеллекта на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 5(115). С. 11–24. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-5-115-11-24

5. *Анчёков М. И., Лешкенов А. М.* Система виртуального моделирования робототехнических систем сельскохозяйственного назначения // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 125–131. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-125-131

6. *Нагоев З. В. и др.* Алгоритм нейрокогнитивного обучения мультиагентной системы эволюционного моделирования экспрессии генов по данным ПЦР-анализа растений // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 179–192. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-179-192

7. *Анчёков М. И., Бжихатлов К. Ч., Лешкенов А. М.* Высокопроизводительные системы фенотипирования сельскохозяйственных культур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5(109). С. 19–24. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-19-24

8. *Анчёков М. И., Боготова З. И., Пшенокова И. А., Нагоев З. В. и др.* Коллаборативная селекционная система на основе консорциума гетерогенных интеллектуальных агентов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5(109). С. 25–37. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-25-37

9. *Нагоев З. В., Анчёков М. И., Курашев Ж. Х., Хамов А. А.* Алгоритм нейрокогнитивного обучения мультиагентной системы эволюционного моделирования экспрессии генов по данным ПЦР-анализа растений // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 179–192.

10. *Нагоев З. В., Пшенокова И. А., Нагоева О. В. и др.* Имитационная модель нейрокогнитивной системы управления автономным программным агентом, выполняющим кооперативное поведение с целью автоматического пополнения онтологий // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 226–234. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-226-234

11. *Нагоев З. В.* Основные принципы нейрокогнитивного моделирования сознания агента универсального искусственного интеллекта // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 1. С. 152–170. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-152-170

12. *Нагоев З. В., Ошхунов М. М.* Математические модели деформируемых сред для интеллектуальных систем виртуального прототипирования. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН. 2013. С. 201.

13. *Нагоев З. В.* Интеллектика, или Мышление в живых и искусственных системах. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2013. 232 с.

14. *Russell S., Norvig P.* Artificial Intelligence: A Modern Approach (AIMA). 2nd ed. Moscow: Williams, 2007. 1424 p.

15. *Нагоев З. В., Нагоева О. В.* Обоснование символов и мультиагентные нейрокогнитивные модели семантики естественного языка. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2022. 150 с.

REFERENCES

1. Anchekov M.I. et al. RETRACTED: Principles of ontophylogenetic development of artificial general intelligence systems based on multi-agent neurocognitive architectures. *BIO Web of Conferences. EDP Sciences*, 2024. Vol. 84. P. 02015

2. Anchekov M.I., Kurashev Zh.Kh., Leshkenov A.M. Application of multi-agent robotic systems in agriculture. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2024. Vol. 26. No. 6. Pp. 158–164. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-158-164. (In Russian)

3. Nagoev Z.V. et al. Universal expert system based on ontoepisociophylogenetic learning of federations of intelligent neurocognitive agents. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2024. Vol. 26. No. 6. Pp. 197–207. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-197-207. (In Russian)

4. Anchekov M.I. et al. Formal model of the genome of an agent of general artificial intelligence based on multi-agent neurocognitive architectures. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 5 (115). Pp. 11–24. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-5-115-11-24. (In Russian)

5. Anchekov M.I., Leshkenov A.M. Virtual modeling system for robotic systems for agricultural purposes. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 6(116). Pp. 125–131. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-125-131. (In Russian)

6. Nagoev Z.V. et al. Neurocognitive learning algorithm for a multi-agent system for evolutionary modeling of gene expression based on plant PCR analysis. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 6 (116). Pp. 179–192. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-179-192. (In Russian)

7. Anchekov M.I., Bzhikhatlov K.Ch., Leshkenov A.M. High-performance systems for phenotyping agricultural crops. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 5(109). Pp. 19–24. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-19-24. (In Russian)

8. Anchekov M.I., Bogotova Z.I., Pshenokova I.A., Nagoev Z.V. et al. Collaborative breeding system based on a consortium of heterogeneous intelligent agents. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 5(109). Pp. 25–37. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-25-37. (In Russian)

9. Nagoev Z.V., Anchekov M.I., Kurashev Zh.Kh., Khamov A.A. Neurocognitive learning algorithm for a multi-agent system for evolutionary modeling of gene expression based on plant pcr analysis data. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 6(116). Pp. 179–192. (In Russian)

10. Nagoev Z.V., Pshenokova I.A., Nagoeva O.V. et al. Simulation model of a neurocognitive control system for an autonomous software agent performing cooperative behavior for the purpose of automatic ontology replenishment. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 6(116). Pp. 226–234. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-226-234. (In Russian)

11. Nagoev Z.V. Basic principles of neurocognitive modeling of consciousness of an agent of universal artificial intelligence. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 1. Pp. 152–170. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-152-170. (In Russian)

12. Nagoev Z.V., Oshkhunov M.M. *Matematicheskiye modeli deformiruyemykh sred dlya intellektual'nykh sistem virtual'nogo prototipirovaniya* [Mathematical Models of Deformable Media for Intelligent Systems of Virtual Prototyping]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2013. 201 p. (In Russian)

13. Nagoev Z.V. *Intellektika, ili Myshleniye v zhivykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intellectics, or Thinking in Living and Artificial Systems]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2013. 232 p. (In Russian)

14. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach (AIMA). 2nd ed. Moscow: Williams, 2007. 1424 p.

15. Nagoev Z.V., Nagoeva O.V. *Obosnovaniye simvolov i mul'tiagentnyye neyrokognitivnyye modeli semantiki yestestvennogo yazyka* [Justification of Symbols and Multi-Agent Neurocognitive Models of Natural Language Semantics]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2022. 150 p. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Пшенокова Инна Ауесовна, канд. физ.-мат. наук, зав. НИЦ «Интеллектуальные интегрированные информационно-управляющие системы», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3394-7682, SPIN-код: 3535-2963

Анчёков Мурат Инусович, заведующий лабораторией «Имитационное моделирование феногенетических процессов» НИЦ «Интеллектуальные генетические системы», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

murat.antchok@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8977-797X, SPIN-код: 3299-0927

Бжихатлов Кантемир Чамалович, канд. физ.-мат. наук, зав. лабораторией «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

директор Института информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

haosit13@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0924-0193, SPIN-код: 9551-5494

Нагоев Залимхан Вячеславович, канд. техн. наук, генеральный директор Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

вед. науч. сотр. отдела «Мультиагентные системы», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

zaliman@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9549-1823, SPIN-код: 6279-5857

Нагоева Ольга Владимировна, науч. сотр. отдела «Мультиагентные системы», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

nagoeva_o@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2341-7960

Хамов Анзор Азаматгериевич, мл. науч. сотр. лаборатории «Молекулярная селекция и биотехнология», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
opitnoe2014@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3269-4572

Information about the authors

Inna A. Pshenokova, Candidate of Physics and Mathematics, Head of the Research Center "Intellectual Integrated Information and Management Systems", Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3394-7682, SPIN-code: 3535-2963

Murat I. Anchekov, Head of the Laboratory of Simulation Modeling of Phenogenetic Processes at the Scientific Research Center of Intelligent Genetic Systems, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
murat.antchok@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8977-797X, SPIN-code: 3299-0927

Kantemir Ch. Bzhikhatlov, Candidate of Physics and Mathematics, Head of the Laboratory of Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
Director of the Institute of Informatics and Regional Management Problems – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia;
haosit13@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0924-0193, SPIN-code: 9551-5494

Zalimkhan V. Nagoev, Candidate of Technical Sciences, General Director of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
Leading Researcher, Multi-Agent Systems Department, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia;
zaliman@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9549-1823, SPIN-code: 6279-5857

Olga V. Nagoeva, Researcher, Multi-Agent Systems Department, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia;
nagoeva_o@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2341-7960

Anzor A. Khamov, Junior Researcher, Laboratory of Molecular Breeding and Biotechnology, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
opitnoe2014@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3269-4572

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 633.152 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-225-232
EDN: NBDKGH

Оценка экологической пластичности и стабильности среднеспелых гибридов кукурузы

С. П. Аппаев[✉1,2], Л. Х. Азубеков[1], В. Ю. Караев[2], Б. Р. Шомахов[1]

[1]Институт сельского хозяйства –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360004, Россия, г. Нальчик, ул. Кирова, 224
[2]Владикавказский научный центр Российской академии наук
363110, Россия, РСО-Алания, Пригородный район, с. Михайловское, ул. Вильямса, 1

Аннотация. Одним из важнейших этапов изучения новых гибридов является их всестороннее сравнительное испытание в различных экологических условиях и оценка экологической пластичности и стабильности, что позволяет конкретизировать регионы их использования.

Цель исследований – проведение анализа экологической пластичности и стабильности 20 новых перспективных гибридов кукурузы по урожайности.

Материалы и методы исследования. Исследование проводилось с применением регрессионного анализа по методике Эберхарта и Рассела в 2023–2024 годах в двух различных экологических локациях: ИСХ КБНЦ РАН (Кабардино-Балкарская Республика, Терский район, с. Опытное) и ВНЦ РАН (РСО-Алания, Пригородный район).

Результаты. Выделены перспективные высокопродуктивные гибриды: РСО-9, РСО-27 и РСО-43, показывающие устойчивую урожайность независимо от условий возделывания. Гибриды РСО-1, РСО-15, РСО-39 и РСО-40 характеризуются повышенной адаптивностью и стабильностью, эффективно реагируя на изменения в условиях выращивания. Гибридные комбинации РСО-4, РСО-6, РСО-22, РСО-23, РСО-29, РСО-33, РСО-38, РСО-45 и РСО-42 проявили высокую экологическую пластичность при средней стабильности, что указывает на их отзывчивость на улучшение агротехнологий при сохранении способности формировать высокий урожай в менее благоприятных условиях. Кроме того, сравнительный анализ двух подходов к оценке экологической пластичности – по коэффициенту регрессии и среднему квадратическому отклонению и параметрам α_j и λ_j – показал, что хотя первый метод отличается большей информативностью, второй метод может успешно применяться при работе с большими массивами гибридного материала.

Выводы. В результате комплексной оценки экологической пластичности и стабильности новых перспективных гибридных комбинаций в различных агроклиматических условиях идентифицированы гибриды как с высокой стабильностью, так и с выраженной отзывчивостью на условия выращивания. Данные гибриды эффективно реагируют на изменение условий выращивания и обеспечивают стабильную урожайность в различных экологических зонах.

Ключевые слова: кукуруза, гибрид, гибридная комбинация, урожайность, экологическая пластичность, стабильность

Поступила 27.10.2025, одобрена после рецензирования 05.11.2025, принята к публикации 28.11.2025

Для цитирования. Аппаев С. П., Азубеков Л. Х., Караев В. Ю., Шомахов Б. Р. Оценка экологической пластичности и стабильности среднеспелых гибридов кукурузы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 225–232. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-225-232

© Аппаев С. П., Азубеков Л. Х., Караев В. Ю., Шомахов Б. Р., 2025

Original article

Evaluation of ecological plasticity and stability of mid-season corn hybrids

S.P. Appaev[✉1,2], L.Kh. Azubekov[1], V.Yu. Karaev[2], B.R. Shomakhov[1]

[1]Institute of Agriculture –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
224, Kirov street, Nalchik, 360004, Russia
[2]Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
1, Williams street, Prigorodny district, village Mikhailovskoe, North Ossetia-Alania Republic, 363110, Russia

Abstract. One of the most important stages in the study of new hybrids is their comprehensive comparative testing under various environmental conditions and an assessment of their ecological plasticity and stability, which allows for the specification of regions for their use.

Aim. The research is to conduct an analysis of the environmental stability and yield stability of 20 new promising corn hybrids.

Research materials and methods. The study was conducted using regression analysis according to the Eberhart and Russell method in two different ecological locations: the Institute of Agriculture of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Kabardino-Balkarian Republic, Tersky District, Opytnoye village) and the VSC RAS (Republic of North Ossetia-Alania, Prigorodny District) in 2023–2024.

Results. Promising high-yielding hybrids were identified: RSO-9, RSO-27, and RSO-43, demonstrating stable yields regardless of cultivation conditions. Hybrids RSO-1, RSO-15, RSO-39, and RSO-40 are characterized by increased adaptability and stability, effectively responding to changes in growing conditions. Hybrid combinations RSO-4, RSO-6, RSO-22, RSO-23, RSO-29, RSO-33, RSO-38, RSO-45, and RSO-42 demonstrated high ecological flexibility with moderate stability, indicating their responsiveness to improved agricultural practices while maintaining the ability to produce high yields in less favorable conditions. In addition, a comparative analysis of two approaches to assessing ecological plasticity – by the regression coefficient and the standard deviation and the parameters αj and λj – showed that although the first method is more informative, the second method can be successfully applied when working with large arrays of hybrid material.

Conclusions. A comprehensive assessment of the ecological flexibility and stability of new promising hybrid combinations under various agroclimatic conditions identified hybrids with both high stability and pronounced responsiveness to growing conditions. These hybrids respond effectively to changing growing conditions and ensure stable yields across a variety of ecological zones.

Keywords: corn, hybrid, hybrid combination, yield, ecological plasticity, stability

Submitted 27.10.2025, approved after reviewing 05.11.2025, accepted for publication 28.11.2025

For citation. Appaev S.P., Azubekov L.Kh., Karaev V.Yu., Shomakhov B.R. Evaluation of ecological plasticity and stability of mid-season corn hybrids. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 225–232. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-225-232

Введение

Ключевым фактором увеличения валовых сборов зерна наряду с ростом урожайности зерновых культур является расширение посевных площадей под озимыми и яровыми колосовыми культурами и кукурузой. Особую значимость приобретает увеличение площадей возделывания кукурузы в регионах с ограниченным безморозным периодом, что актуализирует создание новых гибридов с сокращенным вегетационным периодом (ФАО 150-300).

В данном контексте оценка экологической пластичности и стабильности гибридов приобретает существенное значение с экономической точки зрения, особенно в условиях дефицита влаги, удобрений, средств защиты растений и других лимитирующих агроклиматических факторов [1, 2].

С разработкой и внедрением в производство новых высокопродуктивных гибридов кукурузы особую остроту приобретает проблема стабилизации их урожайности – из-за недостаточной адаптированности гибридов к конкретным экологическим условиям и уровню агротехники потери урожая могут достигать 30 % и более [3, 4]. В этой связи представляется важным оценивать гибриды не только по средней урожайности за годы исследований, но и по параметрам экологической пластичности и стабильности [5–7].

Цель исследований – комплексная оценка экологической пластичности и стабильности новых перспективных гибридов кукурузы в различных агроклиматических условиях.

Материал и методика

В качестве объекта исследования выступили 20 перспективных среднеспелых гибридов кукурузы. Испытание и полевая оценка новых гибридных комбинаций проводилась в 2023 и 2024 годах в двух агроклиматических зонах: на опытных участках Владикавказского научного центра РАН, расположенного в Пригородном районе Республики Северная Осетия-Алания (предгорная зона), и на научно-производственном участке №2 Института сельского хозяйства КБНЦ РАН, КБР (Терский район, с. Опытное, степная зона). В степной зоне КБР исследования проводились в условиях орошения, в РСО-Алания – в богарных условиях.

Расчет параметров экологической пластичности и стабильности выполнялся согласно методу, предложенному Л. М. Лопатиной и В. З. Пакудиным [8], который интегрирует методики С. Эберхардта и У. Рассела [9] с подходом К. Таи [10].

Согласно методике Л. М. Лопатиной и В. З. Пакудина математическая оценка экологической пластичности и стабильности включает три основных этапа:

1. Средствами дисперсионного анализа проверяется наличие взаимодействия «генотип – среда». При превышении фактического значения *F*-критерия над табличным делается вывод о достоверности взаимодействия «генотип – среда» и возможности продолжения анализа.

2. Оцениваются параметры экологической пластичности и стабильности для каждого сорта.

3. Производится выбор оптимальных значений b_i и S^2_i.

Для каждого сорта вычисляются координаты α_j и λ_j, аналогичные показателям пластичности b_i и стабильности S_i^2, с последующим нанесением на координатное поле и построением параболы: расположение точки выше параболы свидетельствует о хорошей отзывчивости сорта на изменение условий среды, ниже – о слабой отзывчивости, внутри – об отсутствии достоверных отличий от средней пластичности для данной выборки. Для оценки параметра стабильности (λ_j) строится доверительный интервал по *F*-критерию: расположение точек слева указывает на стабильность сорта, справа – на нестабильность.

Результаты исследования и их обсуждение

Степная зона Кабардино-Балкарской Республики характеризуется недостаточной увлажненностью. Годовое количество осадков колеблется между 385–435 мм, а в период вегетации 240–357 мм. По тепловому режиму климат степной зоны относится к умеренно-континентальному с годовой амплитудой колебания среднесуточных температур 27,3–28,4 ^{0}С, среднегодовая температура воздуха 9,6–9,8 ^{0}С. Во второй декаде апреля прекращаются весенние заморозки.

Опытный участок Владикавказского научного центра РАН относится к лесостепной зоне. Зона характеризуется достаточным увлажнением с годовым количеством атмосферных осадков в пределах 550–650 мм. Температура января –4,0°С, июля +20,1°С. Устойчивый переход температуры воздуха через +5° отмечается 1–2 апреля, осенью – 3–5 ноября. Устойчивый снежный покров отмечается в ноябре-декабре, сход его – в марте. Метеорологические условия проведения опытов представлены в таблице 1.

Годы проведения исследований характеризовались в обеих зонах повышенными температурами и недостатком влаги в обеих зонах. Особенно дефицит влаги и повышенные температуры характерны для 2024 года. Так, после засушливого и теплого апреля, холодного и дождливого мая и июня, июль и август отличались высокими температурами и малым количеством осадков, что неблагоприятно сказалось на формировании урожая кукурузы.

Таблица 1. Метеорологические данные за 2023–2024 гг. (Терский район, КБР; Пригородный район, РСО-Алания)

Table 1. Meteorological data for 2023-2024 (Tersky district, Kabardino-Balkarian Republic; Prigorodny district, Republic of North Ossetia-Alania)

Месяцы	КБР				РСО-Алания			
	Осадки, мм		Температура, ^{0}С		Осадки, мм		Температура, ^{0}С	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024
Апрель	42,6	19,3	11,3	16,3	77,0	49,0	10,4	15,9
Май	73,8	41,1	17,0	15,5	161,1	147,1	14,6	13,0
Июнь	107,7	62,2	21,2	25,0	186,0	105,2	18,9	21,5
Июль	74,2	15,3	24,7	26,8	153,0	79,1	21,5	23,0
Август	4,2	23,0	27,1	25,3	51,1	39,0	23,9	22,3
Сентябрь	5,8	23,1	25,6	19,7	83,2	59,0	16,7	17,4
Сумма осадков за вегет. период, мм	308,3	184			711,4	478,4		
Среднемноголетняя сумма осадков за вегет. период, мм	310,2	310,2			728,0	728,0		
Средняя температура воздуха за вегет. период, °С			21,2	21,4			17,7	18,9
Среднемноголетняя температура за вегет. период, °С			17,4	17,4			14,3	14,3

Полевые испытания новых гибридных комбинаций в двух различных агроклиматических условиях на протяжении двух лет позволили провести комплексную оценку их экологической пластичности и стабильности (табл. 2).

Для количественной оценки стабильности урожайности по годам использовались два показателя – коэффициент регрессии (bi) урожайности на изменение условий среды, характеризующий экологическую пластичность, и среднее квадратическое отклонение фактических значений урожайности от линии регрессии (S_i^2), отражающее стабильность.

Анализ полученных данных выявил, что гибриды РСО-1, РСО-15, РСО-39 и РСО-40 характеризуются повышенной пластичностью (b_i >1) и высокой стабильностью (S_i^2< 10). Данные гибриды эффективно реагируют на изменение условий выращивания и обеспечивают стабильную урожайность в различных экологических зонах. Гибрид РСО-42 наряду с высокой урожайностью обладает выраженной пластичностью (b_i = 2,00).

Таблица 2. Параметры экологической пластичности и стабильности лучших перспективных гибридов кукурузы

Table 2. Parameters of ecological plasticity and stability of the best promising corn hybrids

№	Гибрид	Урожайность, т/га					b_i	S^2_i	α	λ
		КБР, 2023 г.	КБР, 2024 г.	РСО-Алания, 2023 г.	РСО-Алания, 2024 г.	Среднее				
1	РСО-1	6,67	6,49	6,71	6,44	6,58	1,32	0,11	0,32	0,04
2	РСО-4	6,72	6,54	6,75	6,52	6,63	1,30	74,82	0,30	45,41
3	РСО-5	5,52	5,32	5,57	5,41	5,43	0,94	0,16	-0,06	0,06
4	РСО-6	7,01	6,50	7,00	6,45	6,71	1,10	16,59	0,10	6,60
5	РСО-9	7,80	7,51	8,10	7,41	7,71	1,01	3,39	0,01	1,35
6	РСО-11	5,75	5,59	5,85	5,51	5,69	0,21	1,47	-0,79	0,58
7	РСО-15	6,65	6,45	6,69	6,35	6,55	1,15	4,91	0,15	1,95
8	РСО-22	6,65	6,40	6,67	6,33	6,52	1,31	29,40	0,31	11,69
9	РСО-23	6,91	6,65	7,00	6,71	6,81	1,40	53,63	0,40	21,32
10	РСО-24	7,20	6,91	7,25	6,89	7,07	0,44	48,62	-0,56	19,33
11	РСО-27	6,25	6,05	6,35	6,10	6,19	0,89	0,00	-0,11	0,00
12	РСО-29	6,89	6,65	7,01	6,70	6,81	1,45	60,56	0,45	24,08
13	РСО-33	6,95	6,75	7,10	6,70	6,87	1,18	14,99	0,18	5,96
14	РСО-34	6,96	6,77	7,14	6,71	6,88	0,45	11,95	-0,55	4,75
15	РСО-38	6,90	6,62	7,10	6,65	6,81	1,15	47,14	0,15	18,74
16	РСО-39	7,07	6,69	7,15	6,75	6,92	1,24	2,10	0,24	0,84
17	РСО-40	7,26	7,08	7,36	7,10	7,20	1,32	7,46	0,32	2,97
18	РСО-42	7,63	7,28	7,75	7,41	7,51	2,00	16,50	1,00	6,56
19	РСО-43	7,05	6,81	7,15	6,73	6,96	1,91	6,72	-0,09	2,67
20	РСО-45	6,87	6,60	6,93	6,69	6,77	1,06	99,36	0,06	49,03
	Среднее по опыту	6,84	6,58	6,93	6,58	6,73				
	$НСР_{05}$	0,44	0,37	0,46	0,39	0,41	0,13			

Гибриды РСО-9, РСО-27 и РСО-43 наряду со средней пластичностью отличаются высокой стабильностью урожая. Гибридная комбинация РСО-11 с низкой пластичностью и высокой стабильностью (b_i = 0,21 и S_i^2 = 1,47) приближается к абсолютно стабильным гибридам и представляет наименьшую ценность в данной выборке. Аналогичными характеристиками обладают гибриды РСО-24 и РСО-34. Гибридные комбинации РСО-4, РСО-6, РСО-22, РСО-23, РСО-29, РСО-33, РСО-38 и РСО-45, проявившие высокую экологическую пластичность (b_i >1), но не отличавшиеся стабильностью урожаев (S_i^2 >20), могут быть рекомендованы для возделывания в условиях высокого агрофона.

При работе с большими массивами гибридного материала анализ и сравнение полученных результатов усложняются. В таких случаях целесообразно применение метода К. Таи [10].

В нашем исследовании выделена гибридная комбинация РСО-1, демонстрирующая пластичность выше среднего уровня для данной выборки.

Гибриды РСО-5, РСО-11 и РСО-27 характеризуются пониженной пластичностью. Остальные гибриды не показывают достоверных отличий от средних показателей пластичности для исследуемой группы.

Сравнительный анализ двух подходов к оценке экологической пластичности – по коэффициенту регрессии и среднему квадратическому отклонению *versus* параметрам α_j и λ_j – позволяет заключить, что хотя первый метод отличается большей информативностью, второй метод демонстрирует приемлемую эффективность при работе с обширными наборами

гибридного материала. В частности, гибридная комбинация РСО-1 в обоих случаях идентифицируется как гибрид с высокой пластичностью и стабильностью. Гибрид РСО-11 в обеих системах оценки характеризуется низкой пластичностью и стабильностью. Комбинации РСО-5 и РСО-27 по параметрам b_i и S^2_i демонстрируют среднюю пластичность, но их показатели S^2_i приближаются к нулевым значениям, что позволяет классифицировать их как абсолютно стабильные гибриды с ограниченной пластичностью.

Выводы

В результате комплексной оценки экологической пластичности и стабильности новых перспективных гибридных комбинаций в различных агроклиматических условиях идентифицированы гибриды как с высокой стабильностью, так и с выраженной отзывчивостью на условия выращивания. В частности, гибриды РСО-9, РСО-27 и РСО-43 проявили высокую стабильность и относительно низкую пластичность по показателю урожайности в многолетнем аспекте. Напротив, гибриды РСО-4, РСО-6, РСО-22, РСО-23, РСО-29, РСО-33, РСО-38 и РСО-45 отличались повышенной экологической пластичностью при ограниченной стабильности урожаев. Гибриды РСО-1, РСО-15, РСО-39 и РСО-40 продемонстрировали оптимальное сочетание высокой пластичности и стабильности. Данные гибриды эффективно реагируют на изменение условий выращивания и обеспечивают стабильную урожайность в различных экологических зонах. Гибрид РСО-42 с максимальным значением урожайности в исследуемой выборке показал высокую пластичность при средней стабильности, что свидетельствует о его отзывчивости на совершенствование агротехнологий при сохранении способности формировать высокий урожай в менее благоприятных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сотченко Е. Ф., Орлянская Н. А., Сотченко Д. Ю.* Сравнительная оценка новых раннеспелых гибридов кукурузы по урожайности и адаптивности // Известия Кабардино-Балкарского центра РАН. 2021. № 1(99). С. 46–54. DOI: 10.35330/1991- 6639-2021-1-99-46-54

2. *Зайцев С. А., Волков Д. П., Гудова Л. А., Жужукин В. И.* Экологическое изучение гибридов кукурузы в степной зоне Нижнего Поволжья // Аграрный научный журнал. 2022. № 4. С. 13–17. DOI: 10.28983/asj.y2022i4pp13-17

3. *Губин С. В., Логинова А. М., Гетц Г. В.* Экологическая адаптивность новых гибридов кукурузы с участием линий омской селекции // АПК России. 2020. Т. 27. № 3. С. 421–426. EDN: CNIDXK

4. *Орлянский Н. А., Орлянская Н. А., Горбачева А. Г., Ветошкина И. А.* Изучение адаптивности материнских форм гибридов кукурузы // Сахарная свекла. 2021. № 5. С. 35–38. DOI: 10.25802/SB.2021.64.38.006

5. *Гончаренко А. А.* Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2005. № 6. С. 49–53. EDN: HSFQAX

6. *Бельченко С. А., Дронов А. В., Ланцев В. В.* Адаптивный потенциал среднеранних гибридов кукурузы на зерно в агроландшафтных условиях Брянской области // Вестник Ульяновской сельскохозяйственной академии. 2021. № 2(54). С. 19–27. DOI 10.18286/1816-4501-2021-2-19-26

7. *Орлянский Н. А., Орлянская Н. А., Чеботарев Д. С.* Оценка адаптивности раннеспелых (ФАО 140-170) зерновых гибридов кукурузы в экологическом испытании // Вестник аграрной науки, 2022. 5(98) DOI: 10.17238/issn2587-666X.2022.5.119

8. *Пакудин В. З., Лопатина Л. М.* Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур // Сельскохозяйственная биология. 1984. Т. 4. С. 109–113.

9. *Eberchart S.A., Russel W.A.* Stability parameters for comparing varieties // Crop Sci. 1966. Vol. 6. No. 1. Pp. 36–40.

10. *Tai G.C.C.* Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials // Crop Sci. 1971. Vol. 11. No. 2. Pp. 184–190.

REFERENCES

1. Sotchenko E.F., Orlyanskaya N.A., Sotchenko D.Yu. Comparative evaluation of new early-maturing corn hybrids in terms of yield and adaptability. *News of the Kabardino-Balkarian Center of the Russian Academy of Sciences*. 2021. No. 1(99). Pp. 46–54. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-1-99-46-54. (In Russian)

2. Zaitsev C.A., Volkov D.P., Gudova L.A., Zhuzhukin B.I. Ecological study of corn hybrids in steppe zone of Lower Volga region. *Agrarian Scientific Journal*. 2022 No. 4. Pp. 13–17. DOI: 10.28983/asj.y2022i4pp13-17. (In Russian)

3. Gubin C.B., Loginova A.M., Getz G.B. Ecological adaptivity of new corn hybrids with participation of Omsk breeding lines. *Agroindustrial Complex of Russia*. 2020. Vol. 27. No. 3. Pp. 421–426. EDN: CNIDXK. (In Russian)

4. Orlyansky N.A., Orlyanskaya N.A., Gorbacheva A.G., Vetoshkina I.A. Study of adaptability of mother forms of corn hybrids. *Saharnaya svekla* [Sugar Beet]. 2021. No. 5. Pp. 35–38. DOI: 10.25802/SB.2021.64.38.006. (In Russian)

5. Goncharenko A.A. On the adaptability and environmental sustainability of grain crop varieties. *Vestnik Rossiyskoy akademii cel'skohozyaystvennyh nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences]. 2005. No. 6. Pp. 49–53. EDN: HSFQAX. (In Russian)

6. Belchenko S.A., Dronov A.V., Lantsev V.V. Adaptive potential of mid-early grain corn hybrids in agro-landscape conditions of Bryansk region. *Bulletin of the Ulyanovsk Agricultural Academy*. 2021. No. 2 (54). Pp. 19–27. DOI: 10.18286/1816-4501-2021-2-19-26. (In Russian)

7. Orlyansky N.A., Orlyanskaya N.A., Chebotarev D.S. Assessment of the adaptability of early-maturing (FAO 140-170) grain corn hybrids in an environmental test. *Bulletin of Agrarian Science*. 2022. No. 5(98). DOI: 10.17238/issn2587-666X.2022.5.119. (In Russian)

8. Pakudin V.Z., Lopatina L.M. Assessment of ecological plasticity and stability of crop varieties. *Agricultural Biology*. 1984. Vol. 4. Pp. 109–113. (In Russian)

9. Eberchart S.A., Russel W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 1966. Vol. 6. No. 1. Pp. 36–40.

10. Tai Q.C.C. Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials. *Crop Sci.* 1971. Vol. 11. No. 2. Pp. 184–190.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственных заданий Института сельского хозяйства – филиала Кабардино-Балкарского научного центра РАН (тема № 124020700014-5) и Владикавказского научного центра РАН (тема № 124082300067-3).

Funding. This work was supported by a state assignment from the Institute of Agriculture – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (project no. 124020700014-5) and Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (project no. 124082300067-3).

Информация об авторах

Аппаев Сафар Пахауович, канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр., Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;
360004, Россия, г. Нальчик, ул. Кирова, 224;
appaev-safar@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9741-8646, SPIN-код: 1585-6041

Азубеков Лиуан Хазраилович, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр., Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;
360004, Россия, г. Нальчик, ул. Кирова, 224;
kbniish2007@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0040-880X, SPIN-код: 7561-1262

Караев Вадим Юрьевич, науч. сотр., Владикавказский научный центр Российской академии наук;
363110, Россия, РСО-Алания, Пригородный район, с. Михайловское, ул. Вильямса, 1;
karaeffvad@yandex.ru, SPIN-код: 6489-2142

Шомахов Беслан Рашидович, ст. науч. сотр., Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;
360004, Россия, г. Нальчик, ул. Кирова, 224;
kbniish2007@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0248-2619, SPIN-код: 8036-5597

Information about the authors

Safar P. Appaev, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
224, Kirov street, Nalchik, 360004, Russia;
appaev-safar@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9741-8646, SPIN-code: 1585-6041

Liuan Kh. Azubekov, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
224, Kirov street, Nalchik, 360004, Russia;
kbniish2007@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0040-880X, SPIN-code: 7561-1262

Vadim Yu. Karaev, Researcher, Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
1, Williams street, Prigorodny district, village Mikhailovskoe, North Ossetia-Alania Republic, 363110, Russia;
karaeffvad@yandex.ru, SPIN-code: 6489-2142

Beslan R. Shomakhov, Senior Researcher, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
224, Kirov street, Nalchik, 360004, Russia;
kbniish2007@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0248-2619, SPIN-code: 8036-5597

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 631.559:633.63(470.621) Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-233-250
EDN: NVGINU

Продуктивность и экономическая эффективность применения гербицидов при возделывании сахарной свеклы

Н. И. Мамсиров✉, В. И. Башков

Майкопский государственный технологический университет
385000, Россия, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191

Аннотация. Выращивание сахарной свеклы сохраняет свою высокую значимость для экономики Российской Федерации. Применение гербицидов при возделывании сахарной свеклы способствует повышению эффективности борьбы с сорняками, минимизации конкурентного давления сорняков на рост и развитие культурных растений, улучшению качества урожая и увеличению урожайности.

Цель исследования состояла в определении наилучшего способа использования гербицида при возделывании на выщелоченных черноземах предприятия АО «Рассвет», расположенного в Усть-Лабинском районе Краснодарского края, высокопродуктивного гибрида сахарной свеклы Бартавелла.

Методы исследования. Экспериментальные исследования проводились в 2023–2024 годах по Б. А. Доспехову.

Результаты. Исследованиями установлены оптимальные варианты применения гербицидов Фронтьер Оптима и Карибу, обеспечивших урожайность корнеплодов в среднем за 2023–2024 годы 39,8 и 38,7 т/га, сбор сахара 6,8 и 6,6 т/га соответственно. При оценке экономической эффективности применения гербицидов установлено, что производство сахарной свеклы с использованием гербицида Фронтьер Оптима обеспечивает получение условно чистого дохода в размере 82748 руб./га, а на варианте с применением гербицида Карибу – 78527 руб./га.

Заключение. Анализ эффективности применения гербицидов в агротехнологии производства корнеплодов сахарной свеклы гибрида Бартавелла показал, что в среднем за 2023–2024 гг. он был отзывчив на внесение всех исследуемых гербицидов, которые обеспечили высокую рентабельность производства продукции – от 75,8 до 87,4 %, тогда как на контрольном варианте (без применения гербицидов, только двукратная культивация междурядий) – 45,1 %.

Ключевые слова: свекла сахарная, корнеплоды, гербициды, засоренность посевов, сахаристость корнеплодов, общий выход сахара, продуктивность, экономическая эффективность

Поступила 11.10.2025, одобрена после рецензирования 24.10.2025, принята к публикации 14.11.2025

Для цитирования. Мамсиров Н. И., Башков В. И. Продуктивность и экономическая эффективность применения гербицидов при возделывании сахарной свеклы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 233–250. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-233-250

Original article

Productivity and economic efficiency of herbicide application in sugar beet cultivation

N.I. Mamsirov✉, V.I. Bashkov

Maikop State Technological University
191, Pervomayskaya street, Maikop, 385000, Russia

© Мамсиров Н. И., Башков В. И., 2025

Abstract. The cultivation of sugar beet remains highly significant for the economy of the Russian Federation. The use of herbicides during sugar beet cultivation enhances weed control efficiency, minimizes competitive pressure from weeds on the growth and development of crops, improves yield quality, and increases productivity.

Aim. The study is to determine the best method for using herbicide when cultivating the highly productive sugar beet hybrid "Bartavella" on leached chernozem soils of the enterprise JSC "Rassvet", located in the Ust-Labinsk district of the Krasnodar Territory.

Research methods. Experimental research was conducted between 2023 and 2024 following B.A. Dospekhov's methodology for field experiments.

Results. Studies have established optimal variants of applying Frontier Optima and Caribu herbicides, ensuring root yields averaging 39.8 t/ha and 38.7 t/ha respectively over 2023-2024, with corresponding sugar extraction rates of 6.8 t/ha and 6.6 t/ha. In terms of economic efficiency, using Frontier Optima provided conditional net income of 82,748 rubles per hectare, while the variant with Caribu yielded 78,527 rubles per hectare.

Conclusion. Analysis of herbicide effectiveness in the agronomic technology of producing sugar beet roots «Bartavella» demonstrated that, on average over 2023-2024, this variety responded positively to all tested herbicides, providing high profitability ranging from 75.8% to 87.4%, compared to only 45.1% in the control variant without herbicides but with double inter-row cultivation.

Keywords: sugar beet, roots, herbicides, weed infestation, root sucrose content, total sugar yield, productivity, economic efficiency

Submitted 11.10.2025, approved after reviewing 24.10.2025, accepted for publication 14.11.2025

For citation. Mamsirov N.I., Bashkov V.I. Productivity and economic efficiency of herbicide application in sugar beet cultivation. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 233–250. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-233-250

Введение

Сахарная свекла выступает ведущей сахароносной культурой Российской Федерации, обеспечивая сырье для сахарной индустрии и сохраняя статус стратегически важной сельскохозяйственной культуры [1].

Однако интенсификация сельскохозяйственного освоения земель и широкое распространение механизированных технологий культивирования приводят к ряду неблагоприятных экологических последствий, важнейшим из которых выступает систематическое сокращение запасов гумуса в большинстве типов почв. Этот процесс сопровождается угнетением биологической активности микроорганизмов и деградацией физико-химического состояния почвенного покрова. Тем не менее прогрессирование отрасли свекловодства требует постоянного улучшения технологических аспектов культивирования растения, что находит подтверждение в исследованиях научных учреждений нашей страны и зарубежья, активно работающих над установлением оптимальных дозировок внесения минеральных удобрений, изучением химических средств защиты растений, а также методами поддержания и улучшения плодородия земельных ресурсов в сельскохозяйственном производстве [2–5].

Гербициды позволяют эффективно контролировать распространение нежелательных видов растений, защищая корневую систему и листья сахарной свеклы от повреждений и заболеваний, вызванных конкурирующими растениями. Это особенно важно на ранних стадиях роста культуры, когда растущие растения наиболее уязвимы перед негативным воздействием сорняков [6].

Грамотное применение гербицидов помогает поддерживать оптимальный уровень плодородия почвы, сохранять продуктивную влагу и улучшать условия для роста корней, что

ведет к увеличению выхода конечного продукта. Важно отметить, что применение гербицидов должно осуществляться в строгом соответствии с инструкциями производителей и рекомендациями ученых, чтобы минимизировать потенциальные риски загрязнения окружающей среды и обеспечить безопасность продукции для потребителей.

Многочисленные научные исследования свидетельствуют о том, что максимальное отрицательное влияние сорных растений на урожайность сахарной свеклы наблюдается в период с четвертой по пятую неделю после появления всходов основной культуры [7–10]. Интенсивность вреда, наносимого сорняками, возрастает вместе с длительностью их присутствия на полях. Так, опыты, проведенные А. С. Кунце [11], показали, что при наличии сорняков в течение 30 суток потери урожайности составляют около 4 %, при сроке 50 дней – порядка 22 %, 80-дневное присутствие снижает продуктивность до 55 %, при сохранении сорняков в течение 110 дней урожай сокращается на 75 %, а при продолжительности 140 дней ущерб достигает 90 %.

Ученые КубГАУ, изучившие за 9-летний период исследований особенности формирования листовой поверхности, накопления биомассы и урожайности корнеплодов сахарной свеклы отечественной и зарубежной селекции, пришли к выводу, что изучаемые в опыте элементы технологии способствовали повышению урожайности сахарной свеклы на 1,5–9,7 т/га (3,7–23,9 %). Для центральной зоны Краснодарского края выявлено преимущество вариантов выращивания сахарной свеклы с применением химических мер борьбы с сорняками на повышенном фоне плодородия почвы или с внесением удобрений на исходном фоне. Установлена взаимосвязь продуктивности сахарной свеклы и отдельных агроприемов ее выращивания на двух фонах плодородия почвы в стационарном 4-факторном опыте. Лучшими по выходу белого сахара с 1 га посевов оказались варианты с применением гербицидов как на фоне основного удобрения (средняя норма), так и без него, при повышенном плодородии почвы [12].

Научные исследования, направленные на оценку продуктивности комбинированного использования гербицидов и стимуляторов роста при культивировании сахарной свеклы в условиях Нечерноземной зоны, продемонстрировали наибольшую эффективность поэтапного внесения гербицидов. Данная стратегия включала три этапа обработки посевов с применением определенных норм расхода веществ: первая обработка состояла из комбинации препаратов Бетарен супер-МД (МКЭ, 1,30 л/га), Лорнет (ВР, 0,075 л/га), Форвад (МКЭ, 0,80 л/га) и Кондор (ВДГ, 0,03 л/га); вторая обработка проводилась с использованием аналогичных компонентов в увеличенных нормах (Бетарен супер-МД – 1,30 л/га; Лорнет – 0,20 л/га; Форвад – 1,00 л/га; Кондор – 0,045 л/га); третья заключительная обработка осуществлялась посредством увеличения дозы некоторых препаратов и введения нового компонента (Бетарен супер-МД – 22, 2,00 л/га; Лорнет – 0,30 л/га; Форвад – 1,00 л/га; Кондор – 0,045 л/га). Анализ полученных результатов выявил биологическую активность воздействия гербицидов, проявляющуюся в значительном подавлении популяций однолетних сорных растений (эффективность варьировалась от 46 до 94 %) и многолетних видов (от 67 до 91 %). Максимально выраженный биологический эффект, достигающий снижения общей массы сорных растений на 98 %, наблюдался именно при реализации трехэтапной схемы обработок в сочетании с добавлением росторегулирущего препарата «Эпин Экстра» [7].

Одними из наиболее актуальных проблем современного свекловодства в России являются нарушение агротехнических требований и низкая эффективность защиты растений. Это приводит к значительному засорению полей сорняками. Сегодня актуальной задачей является разработка и выявление высокоэффективных, селективных и доступных гербицидов, обладающих низкой фитотоксичностью, не оказывающих негативного влияния

на химический состав почвы и пригодных для применения в свекловодстве. Исследования, проведенные К. Д. Крюковой и В. О. Гресис [13] в Тульской области, были посвящены изучению и сравнению биологической эффективности различных дозировок однокомпонентных и двухкомпонентных препаратов-граминозидов на посевах сахарной свеклы против основных видов однолетних и многолетних злаковых сорняков: проса куриного (*Echinochloa crus-galli* (L.) *Beauv.*), метлицы обыкновенной (*Setaria glauca* (L.) *Beauv.*) и пырея ползучего (*Elytrigia repens* (L.) *Nevski*). Установлено, что применение препаратов с клетодимом + квизалофопом-П-этила (0,5 л/га) обеспечило снижение численности и массы однолетних сорняков на 64–71 %, численности и массы многолетних сорняков – на 54–58 %, показывая аналогичную эффективность с клетодимом (0,6 л/га) [13].

Исследования, проведенные в период с 2017-го по 2020 год преимущественно в Центрально-Черноземном регионе, а также в некоторых регионах России и Казахстана, позволили установить положительное влияние обработки семян на улучшение их посевных свойств и стимуляцию ростовых показателей во всех вариантах использования дигидрохинолина и пиримидин-карбоновой кислоты. Изучаемые гибриды показали более высокий уровень ключевых показателей (урожайность, сахаристость, выход сахара) по сравнению со стандартом [14].

В полевых условиях Рязанской области рассмотрена эффективность применения гербицидов на посевах сахарной свеклы, содержащих активные вещества метамитрон, десмедифам, фенмедифам и этофумезат. Установлено оптимальное их сочетание для эффективного контроля над однодольными видами сорняков в фазе вегетации сельскохозяйственной культуры. Доказано, что применение смешанных форм гербицидов марки «Пилот» (ВСК) совместно с препаратами Бицепс 22 и Бицепс Гарант (КЭ) обеспечивает значительное улучшение санитарного состояния агроценоза и способствует повышению выхода товарных корнеплодов сахарной свеклы [15].

По данным ученых ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А. Л. Мазлумова» установлено, что использование сниженных норм противодвудольных и противозлаковых препаратов в сочетании с прилипателем СТИКК на посевах отечественных гибридов сахарной свеклы имело высокую биологическую эффективность и способствовало получению урожая корнеплодов 44,8–46,4 т/га (не меньше, чем при применении полной нормы гербицидов, – 44,2–46,4 т/га) с высокой сахаристостью (17,0–17,7 %). Применение уменьшенных на 10 % норм гербицидов, дополненное использованием фунгицидов Карибу либо Голтикс, демонстрировало наивысшую агротехническую эффективность на посевах гибридов сахарной свеклы РМС 120 и РМС 127. Наиболее высокая экономическая выгода зафиксирована при выращивании гибрида РМС 127. Совместное использование гербицидов бетанального ряда и препаратов для борьбы со злаковыми сорняками в пониженной концентрации, усиленное прилипателем и вышеуказанными химическими средствами защиты растений, позволило сократить затраты на обработку почв от 1,3 до 4,7 тыс. руб./га [8].

В условиях Центрально-Черноземного региона Е. А. Дворянкиным [16] проведены исследования, направленные на изучение последствий влияния сублетальных и умеренных концентраций гербицида Каллисто на развитие растений сахарной свеклы с учетом стадий ее жизненного цикла и климатических факторов окружающей среды. Полученные данные свидетельствуют о способности низких доз гербицида Каллисто существенно замедлять прирост вегетативной массы, уменьшать густоту стояния растений и негативно влиять на урожайные характеристики культуры. Экспериментально подтверждено возникновение синергического эффекта повышения токсичности гербицидной композиции при совместном внесении минимального количества Каллисто с раствором гербицида Бетанал Эксперт ОФ (норма внесения 1,3 л/га) [16].

Опыты, проведенные на учебно-экспериментальной площадке Института сельского хозяйства – филиала Федерального научного аграрного центра Всероссийского института механизации сельского хозяйства (ИСА – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) учеными М. Н. Захаровой и Л. В. Рожковой [9], показали, что увеличение показателей урожайности обусловлено совокупностью множества факторов, среди которых ключевое значение имеют высокопродуктивные сорта и гибриды, оптимизированные системы удобрения и эффективная защита растений химическими средствами. Согласно статистическим данным, сельскохозяйственные предприятия Рязанской области достигают уровня сбора корнеплодов порядка 50 т/га и выше при условии строгого соблюдения рекомендованных технологий выращивания. Компания «Bayer CropScience» разработала инновационный гербицид системного действия – Конвизо 1, МД (ингибитор фермента ALS), предназначенный исключительно для селекции SMART-гибридов в рамках специализированной технологической программы CONVIZO SMART [9].

А. М. Кравцов и др. [18] провели комплексный анализ влияния почвенного плодородия, вносимых удобрений и используемых гербицидов на процессы роста и формирования продуктивности диплоидного гибрида сахарной свеклы новейшей селекции – Евгения KWS немецкого происхождения. Определено, что в регионе нестабильного увлажнения на выщелоченных черноземах Западного Предкавказья средняя урожайность сахарной свеклы за период наблюдений 2018–2020 годов колебалась от 44,0 до 55,1 т/га, содержание сахаров в корнях варьировало от 17,48 до 18,60 %, потенциальный выход очищенного сахара при промышленной переработке составил диапазон значений от 5,58 до 7,29 т/га. Оптимальные значения выхода чистого сахара с единицы площади были достигнуты в вариантах опыта, характеризующихся высоким уровнем плодородия почвы и защищенностью растений гербицидами от негативных воздействий сорняков.

Таким образом, использование различных гербицидов при выращивании сахарной свеклы способствует повышению эффективности борьбы с сорняками, снижению потерь урожая, улучшению качества продукции и обеспечению устойчивого развития свеклосахарного производства.

Цель исследования – установление оптимального варианта применения гербицидов и их действие на продуктивность и сахаристость корнеплодов сахарной свеклы гибрида Бартавелла.

Новизна исследования заключается в комплексном подходе к оценке продуктивности и экономической эффективности использования гербицидов при выращивании сахарной свеклы. Исследование впервые интегрирует современные агротехнические методы обработки почвы, применение новых видов препаратов, выбор оптимальных дозировок и сроков внесения гербицидов, учитывая региональные особенности почвенно-климатических условий центральной зоны Краснодарского края. Результаты позволяют выявить наиболее эффективные стратегии борьбы с сорняками, минимизировать риски снижения урожайности и качества продукции, обеспечивая устойчивое развитие отрасли сельского хозяйства и повышение конкурентоспособности производства сахара в регионе.

Научные изыскания проводились в 2023–2024 годах на землях АО «Рассвет», расположенных в Усть-Лабинском районе Краснодарского края, в рамках постоянных полевых экспериментов, организованных в соответствии с методическими рекомендациями академика Б. А. Доспехова [19]. В полном соответствии с Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [20] были выполнены все запланированные мероприятия по наблюдению, учету и анализу. Определение содержания сахара в корнеплодах сахарной свеклы осуществлялось ежемесячно, начиная с июля и до момента уборки, посредством холодной водной дигестии и с применением поляриметра СУ-3. Учетная площадь делянки в опыте составляла 50 м^2, повторность четырехкратная, с рендомизированным размещением опытных делянок (по Б. А. Доспехову) [19].

Объектами изучения в полевых опытах являлись гибрид сахарной свеклы Бартавелла и гербициды Фронтьер Оптима, Карибу, Бетарен-супер, Дуал Голд.

Гибрид сахарной свеклы Бартавелла. Оригинатор: Florimond Desprez Veuve Et Fils' Sas. Включен в Госреестр по Северо-Кавказскому региону. Одноростковый диплоидный гибрид на стерильной основе N-типа. Период вегетации – 150–155 дней. Потенциальная урожайность до 90 т/га с содержанием сахара в корнеплодах до 18,0 %. Слабо поражается церкоспорозом, устойчив к ризомании и толерантен к листовым заболеваниям.

Фронтьер Оптима – почвенный гербицид, эффективно контролирующий однодольные и двудольные сорняки. Его инновационная формула с диметенамид-П гарантирует длительную защиту сахарной свеклы. Применяют препарат в дозировке 0,5–1,5 л/га в фазе двух пар настоящих листьев и когда сорняки первой и второй волны находятся на ранних стадиях развития. Расход рабочего раствора составляет 200–300 л/га.

Карибу® – послевсходовый гербицид для борьбы с однолетними двудольными сорняками в посевах сахарной свеклы. Действующее вещество препарата – трифлусульфурон-метил (500 г/кг) – относится к классу производных сульфонилмочевины. Норма применения препарата – 30 г/га. Рекомендуемая норма расхода рабочей жидкости – 200 л/га.

Бетарен Супер МД – высокоэффективный трехкомпонентный гербицид в высокоэффективной масляной формуляции против однолетних двудольных (включая виды щирицы) и некоторых злаковых сорняков в посевах сахарной свеклы. Норма применения препарата 1,35–1,8 л/га с последовательным опрыскиванием посевов в фазе 2–4 листьев сорняков (по первой и второй «волне»). Расход рабочей жидкости – 100–200 л/га.

Дуал Голд – однокомпонентный, селективный, довсходовый гербицид, эффективный против основных однодольных и некоторых двудольных сорняков в посевах сахарной свеклы. Гербицид обеспечивает длительную защиту посевов от сорняков в течение всего вегетационного периода (от второй «волны» злаковых сорняков). Гербицид применяется до и после всходов, сорняки отмирают после прорастания. Норма применения препарата 1,3–2,0 л/га. Опрыскивание почвы до посева или до всходов культуры. Расход рабочей жидкости – 200–400 л/га.

В ходе исследований применялась следующая схема:

Вариант 1. Без гербицидов.

Вариант 2. Фронтьер Оптима, 1,2 л/га.

Вариант 3. Карибу, 30,0 г/га.

Вариант 4. Бетарен супер-МД, 1,5 л/га.

Вариант 5. Дуал Голд, 2,0 л/га.

В первом варианте опыта гербициды не вносились, а проводилась двукратная междурядная культивация с окучиванием. Во втором варианте гербицид Фронтьер Оптима в норме 1,2 л/га использовался в качестве довсходового гербицида, вносился вслед за посевом. Гербицид Карибу в норме 30,0 г/га применялся в третьем варианте опыта на начальной стадии роста сорных растений, охватывающей интервал от семядольной стадии до формирования второго полноценного листа. В четвертом варианте избирательный гербицид Бетарен супер-МД в норме 1,5 л/га использовался для опрыскивания сорняков в фазе семядолей. Дуал Голд в норме 2,0 л/га в пятом варианте вносился в предпосевной период, в заранее обработанную почву до возникновения первых сорных проростков. Расход рабочей жидкости составлял 250 л/га.

Почвы опытного участка представлены выщелоченными черноземами. Среднее содержание гумуса составляет около 3,8–4,7 %, что обеспечивает хорошее плодородие и устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды. Реакция почвенной среды слабощелочная или близкая к нейтральной (pH 6,5–7,5), что положительно влияет на доступность питательных веществ растениям.

Агротехнические приемы при выращивании сахарной свеклы соответствовали общепринятым рекомендациям для центральной части Краснодарского края и были реализованы согласно схеме эксперимента. Предшественником в опыте была озимая мягкая пшеница сорта Алексеич. Глубокая основная обработка почвы проводилась плугом ПЛН-5-35, достигая глубины 25–27 см.

Погодные условия за 2023–2024 годы сильно различались по тепловому режиму и особенно по выпадению атмосферных осадков. В период оптимальных сроков сева сахарной свеклы (3 декада апреля) в 2023 году наблюдалось небольшое переувлажнение: при норме 53 мм осадков в месяц выпало 67,2 мм, что составило 126,8 % от нормы. В период интенсивного роста свеклы (июль-август) при среднесуточной температуре воздуха 27,1ºС выпало 162,4 мм, что выше нормы на 34,6 мм. В целом за вегетационный период выпало 657,4 мм осадков, и недостатка почвенной влаги не наблюдалось. В 2024 году на момент посева сахарной свеклы отмечался небольшой недостаток влаги: выпало 48,7 мм при норме 53,0 мм (– 4,3 мм). В июле при среднесуточной температуре воздуха 28,2ºС осадков выпало 34,4 мм при норме 70 мм (– 35,6 мм). В августе при температуре воздуха 27,5ºС осадки составили 17,0 мм при норме 54 мм (– 37,0 мм). В целом за вегетационный период 2024 года выпало 315,6 мм осадков при норме 396,0 мм, что отрицательно повлияло на урожайность корнеплодов сахарной свеклы.

Результаты проведенных опытов свидетельствуют о том, что процессы формирования листового аппарата у растений гибрида Бартавелла зависели от вида применяемого гербицида (табл. 1).

Таблица 1. Динамика нарастания и отмирания листьев сахарной свеклы гибрида Бартавелла, штук на одно растение (усредненные данные за 2023–2024 гг.)

Table 1. Dynamics of sugar beet leaves (hybrid Bartavella) growth and death, pieces per plant (average data for 2023–2024)

Вариант опыта	Количество листьев по датам наблюдений						
	01.06	01.07		01.08		01.09	
	*ж	*ж	*о	*ж	*о	*ж	*о
1. Контроль (без герб.)	8,3	15,8	2,4	16,7	9,2	16,0	13,6
2. Фронтьер Оптима (1,2 л/га)	11,0	19,1	1,8	19,4	8,0	19,6	11,8
3. Карибу (30,0 г/га)	10,9	18,7	1,9	19,2	8,2	19,0	12,1
4. Бетарен супер-МД, (1,5 л/га)	9,7	16,9	2,1	17,9	9,0	17,3	12,9
5. Дуал Голд (2,0 л/га)	10,0	17,2	2,0	18,1	8,8	17,6	12,7

*Примечание: * ж – жизнеспособных, о – отмерших*

Анализ представленных табличных данных свидетельствует о том, что к началу августа среднее количество образовавшихся листьев на одно растение варьирует в пределах от 16,7 до 19,4 шт. Наблюдения конца августа и начала сентября демонстрируют характерную тенденцию утраты нижних листовых пластинок вследствие естественного старения растения, однако одновременно формировались новые листья, что приводило к некоторому увеличению общего количества здоровых листьев. Эта динамика сохранялась и в дальнейшем, однако интенсивность отмирания была заметно выше.

Максимальная численность активных фотосинтезирующих листьев зарегистрирована к началу августовского периода на участках, подвергнутых обработке гербицидами Фронтьер Оптима и Карибу, достигая уровней 19,4 и 19,2 листа на одно растение соответственно. Напротив, на контроле этот показатель составил лишь 16,7 листа на растение.

Наиболее высокая средняя продуктивность листового аппарата на протяжении вегетационного периода зарегистрирована на варианте с использованием гербицида Фронтьер Оптима, составляя 19,6 листа на растение. Этот показатель сопровождался наименьшим числом погибших листьев – 11,8 листа на растение. Аналогичные тенденции наблюдались на варианте с предпосевным внесением почвенного гербицида Карибу, где соответствующие значения составили 19,0 и 12,1 листа на растение. Контрольный вариант, где осуществлялась исключительно механическая междурядная обработка, характеризовался наименьшей численностью активных листьев – 16,6 листа на растение и наибольшей долей погибших листьев – 13,6 листа на растение.

Продолжительность функционирования листьев значительно различается в зависимости от сроков их первоначального формирования на растениях [2, 19]. Процесс деструкции листового аппарата начинался ориентировочно во второй половине июня, при этом скорость потери листьев неуклонно возрастала по мере приближения окончания вегетационного периода, варьируя от 1,8 до 13,6 листа на одно растение.

Полученные экспериментальные данные указывают на незначительное воздействие гербицидов на динамику листообразования и отмирания листьев, хотя на вариантах с их применением темп снижения числа жизнеспособных листьев оказался менее выраженным по сравнению с контролем.

Дополнительные сведения о динамике изменения площади листовой поверхности представлены в табл. 2.

Таблица 2. Изменение величины листовой поверхности растений гибрида сахарной свеклы Бартавелла (тыс. м²/га): (усредненные данные за 2023–2024 гг.)

Table 2. Change in the leaf area of the Bartavella sugar beet hybrid plants (thousand m²/ha): (average data for 2023–2024)

Вариант опыта	Дата определения			
	01.06	01.07	01.08	01.09
1. Контроль (без герб.)	8,7	32,9	26,6	15,7
2. Фронтьер Оптима (1,2 л/га)	11,2	38,6	32,5	19,3
3. Карибу (30,0 г/га)	10,9	37,9	31,8	18,9
4. Бетарен супер-МД, (1,5 л/га)	10,0	36,6	30,1	17,6
5. Дуал Голд (2,0 л/га)	10,4	37,0	30,7	18,0

Интенсивное снижение функциональности листового аппарата сахарной свеклы, особенно ярко выраженное непосредственно перед уборочной кампанией, скорее всего, связано с активизацией процессов поглощения резервов почвенной влаги и транспортировкой питательных веществ в развивающиеся корневые структуры [5].

Изучение табличных данных позволяет выявить различия в воздействии отдельных вариантов применения гербицидов на размерность листовой поверхности растений сахарной свеклы. Минимальные значения площади листьев, равные 8,7–32,9 тыс. м²/га, выявлены на контрольном варианте, тогда как максимальное увеличение отмечено на участках, обработанных гербицидами Фронтьер Оптима и Карибу, где соответствующие показатели составили 11,2–38,6 и 10,9–37,9 тыс. м²/га соответственно.

Колебания динамических характеристик фотосинтетического потенциала культуры сахарной свеклы соответствуют общему вектору изменения размеров листовой поверхности (табл. 3).

Таблица 3. Значения фотосинтетического потенциала посевов гибрида сахарной свеклы Бартавелла, тыс. м²/га·день (усредненные данные за 2023–2024 гг.)

Table 3. Photosynthetic potential values of the Bartavella sugar beet hybrid crops, thousand m²/ha·day (average data for 2023–2024)

Вариант опыта	Дата определения			
	01.06–01.07	01.07–01.08	01.08–01.09	01.06–01.09
1. Контроль (без герб.)	624,0	892,5	634,5	2151,0
2. Фронтьер Оптима (1,2 л/га)	747,0	1066,5	777,0	2590,5
3. Карибу (30,0 г/га)	732,0	1045,5	760,5	2538,0
4. Бетарен супер-МД, (1,5 л/га)	699,0	1000,5	715,5	2415,0
5. Дуал Голд (2,0 л/га)	711,0	1015,5	730,5	2457,0

Согласно данным, представленным в табл. 3, применение различных гербицидов показало, что максимальный фотосинтетический потенциал посевов наблюдался в вариантах 2 и 3 на протяжении всех этапов измерений.

Использование гербицида Фронтьер Оптима обусловило успешное угнетение сорных растений, способствуя созданию оптимальных условий для нормального формирования и поддержания активной ассимиляционной поверхности сахарной свеклы. Остальные исследованные гербициды также продемонстрировали свою высокую эффективность, оказывая положительное влияние на процесс устранения сорняков и развитие листового аппарата растений.

Экспериментальные наблюдения подтвердили, что вариант с применением гербицида Карибу отличался аналогичными показателями фотосинтетического потенциала, сопоставимыми с результатами варианта Фронтьер Оптима, – величина составила 2590,5 тыс. м²/га·день. Эта тенденция сохранялась на протяжении всех этапов онтогенеза растений вплоть до завершения вегетационного периода, когда конечное значение показателя составило 2538,0 тыс. м²/га·день. Для сравнения: аналогичные показатели других изучаемых вариантов имели следующее распределение: Бетарен супер-МД – 2415,0, Дуал Голд – 2457,0 тыс. м²/га·день, в то время как на контрольном варианте данный показатель находился на уровне 2151,0 тыс. м²/га·день.

Рост сахарной свеклы на Северном Кавказе характеризуется специфической динамикой накопления сухой массы и сахаристости, которые постоянно увеличиваются вплоть до уборки урожая. Листовая масса достигает пика в конце июля – начале августа, после чего постепенно снижается [2, 10].

Обработка посевов гербицидами стимулировала интенсификацию процессов фотосинтеза, что привело к ускоренному формированию и аккумуляции сухого вещества растениями. Накопление сухого вещества характеризуется специфическими особенностями распределения: в первой половине вегетационного периода основная масса прироста приходилась на формирование листового аппарата, тогда как во второй половине доминирующим органом аккумулирования стало образование корневой части.

Общий темп прироста сухой массы оставался практически непрерывным вплоть до завершения периода созревания и сбора урожая.

Наиболее интенсивное накопление сухого вещества в корнеплодах сахарной свеклы в центральной зоне Краснодарского края наблюдалось в июле. В этот период показатель превысил контрольные значения на 12,4–21,0 г/растение, что соответствует приросту в 35,2–59,7 % (табл. 4).

Таблица 4. Динамика накопления сухого вещества сахарной свеклой гибрида Бартавелла (г/раст.)

Table 4. Dynamics of dry matter accumulation in Bartavella hybrid sugar beet (g/plant)

Дата определения	Вариант				
	Контроль (без герб.)	Фронтьер Оптима (1,2 л/га)	Карибу (30,0 г/га)	Бетарен супер-МД, (1,5 л/га)	Дуал Голд (2,0 л/га)
1.06					
лист	1,5	3,5	3,1	2,4	2,8
корнеплод	0,3	1,1	1,0	0,7	0,8
растение	1,8	4,6	4,1	3,1	3,6
1.07					
лист	19,5	30,1	27,8	24,7	26,3
корнеплод	15,7	26,1	25,2	22,7	23,8
растение	35,2	56,2	53,0	47,6	50,1
1.08					
лист	28,5	48,3	45,7	39,9	42,8
корнеплод	49,8	77,6	73,3	66,6	69,5
растение	78,3	125,9	119,0	106,5	112,3
1.09					
лист	9,2	25,2	23,5	17,2	20,7
корнеплод	76,5	115,8	112,8	100,6	104,4
растение	85,7	141,0	136,3	117,8	125,1

Вторая половина вегетационного периода, последовавшая за достижением пиковых значений в июле, характеризовалась активным процессом перераспределения питательных веществ. Они перемещались из листовой массы в корневую систему, что способствовало существенному накоплению сухого вещества в корнеплодах к 1 августа. Так, в контрольной группе средняя масса сухого вещества на растение составила 78,3 г, а при использовании гербицида Фронтьер Оптима этот показатель был значительно выше – 125,9 г на растение.

Исследование динамики накопления сухой биомассы целого растения сахарной свеклы позволило установить корреляцию данного показателя с фитоценотической нагрузкой (уровнем засоренности). По завершении вегетационного цикла было зафиксировано, что на участках с минимальной засоренностью сухая масса одного растения возросла до 117,8–141,0 г/раст. по сравнению с контрольным вариантом – 85,7 г./раст.

Проведенные эксперименты подтвердили, что применение гербицидов на посевах сахарной свеклы гибрида Бартавелла незначительно влияет на общую продолжительность вегетационного периода и сроки наступления межфазных периодов (табл. 5).

Длина вегетационного периода растений сахарной свеклы на вариантах, где применялись гербициды для уничтожения сорняков, не имела существенных различий между собой и составляла всего 1–2 дня. Согласно приведенным данным, у растений гибрида Бартавелла, обработанных гербицидом Карибу, замедлялся процесс прорастания семян на один день. Фаза третьей пары настоящих листьев наступала синхронно на всех изучаемых вариантах и длилась 28 дней. Фазы смыкания листьев в междурядьях и уборки также протекали одинаково во всех вариантах, что подтверждает отсутствие значимых различий между ними.

Таблица 5. Влияние гербицидов на продолжительность межфазных периодов сахарной свеклы гибрида Бартавелла, дни (усредненные данные за 2023–2024 гг.).

Table 5. The effect of herbicides on the duration of interphase periods of the Bartavella hybrid sugar beet, days (average data for 2023–2024).

Вариант опыта	Посев – полные всходы	Полные всходы – 3-я пара настоящих листьев	3-я пара наст. листьев – смыкание листьев в междурядьях	Смыкание листьев в междурядьях – уборка	Вегетационный период
1. Контроль (без герб.)	17	28	37	86	151
2. Фронтьер Оптима (1,2 л/га)	17	28	37	85	150
3. Карибу (30,0 г/га)	18	28	38	84	150
4. Бетарен супер-МД, (1,5 л/га)	17	28	38	86	152
5. Дуал Голд (2,0 л/га)	17	28	38	85	151

Продолжительность периода от смыкания листьев до уборки во всех вариантах составила 84–86 дней после посева. Общая длительность вегетационного периода сахарной свеклы в ходе эксперимента находилась в диапазоне 150–152 дня. Исходя из результатов исследования можно заключить, что применение гербицидов на посевах сахарной свеклы не оказывает заметного воздействия на продолжительность межфазных периодов и общую длину вегетации.

Основным результатом использования гербицидов становится существенное уменьшение степени засоренности посевов, поскольку культура весьма восприимчива к наличию сорняков. Даже наличие 4–5 сорняков на 1 м² вызывает потерю урожая корнеплодов в размере 40–50 ц/га [7, 10].

Наши исследования выявили, что в посевах сахарной свеклы преобладали однолетние злаки (просо куриное, овсюг, мышей сизый), однолетние двудольные виды (щирица запрокинутая, марь белая, ярутка полевая, подмаренник цепкий, амброзия полыннолистная и прочие), а среди многолетников доминировали вьюнок полевой, гумай и осот полевой. Естественно, наибольшее распространение сорняков было характерно для контрольного варианта, где отсутствовало внесение гербицидов (табл. 6).

Мониторинг фитосанитарного состояния посевов гибрида Бартавелла осуществлялся систематически в течение всей вегетации посредством учета степени засоренности в начальной, средней и конечной фазах роста. Первичный учет проводился в мае, в фазу второй пары настоящих листьев сахарной свеклы, а повторные измерения выполнялись в июле и сентябре.

Из анализа данных таблицы 5 следует, что исходная засоренность посевов варьировала в широком диапазоне – от 3,0 до 99,7 шт./м^2. Исследование подтвердило, что применение гербицида Бетарен супер-МД оказалось недостаточно эффективным, так как количество сорняков превысило аналогичные показатели в других вариантах на 11,3–21,5 %, причем плотность однолетних злаковых составила 58,0 шт./м^2, а многолетних двудольных – 11,0 шт./м^2. Предпосевное внесение гербицида Карибу позволило снизить засоренность посевов до минимального уровня в 3 шт./м^2, тогда как на контрольном варианте засоренность оставалась высокой и доходила до 99,7 шт./м^2.

Таблица 6. Уровень засоренности посевов сахарной свеклы гибрида Бартавелла в зависимости от внесения гербицидов, экз./м^2 (усредненные данные за 2023–2024 гг.).

Table 6. Weed infestation level of sugar beet crops of the Bartavella hybrid depending on the application of herbicides, specimens/m2 (average data for 2023–2024).

Вариант опыта	Общая засоренность, шт./м^2	В том числе:		
		однолетними злаковыми	однолетними двудольными	многолетними двудольными
в начале вегетации (май)				
1. Контроль (без герб.)	99,7	48,3	38,7	12,7
2. Фронтьер Оптима (1,2 л/га)	9,0	7,0	–	2,0
3. Карибу (30,0 г/га)	3,0	1,0	–	2,0
4. Бетарен супер-МД, (1,5 л/га)	69,0	58,0	–	11,0
5. Дуал Голд (2,0 л/га)	43,3	3,3	31,7	8,3
в середине вегетации (июль)				
1. Контроль (без герб.)	114,0	67,0	35,0	12,0
2. Фронтьер Оптима (1,2 л/га)	13,0	10,0	–	3,0
3. Карибу (30,0 г/га)	12,0	3,0	4,0	5,0
4. Бетарен супер-МД, (1,5 л/га)	47,7	34,0	4,0	9,7
5. Дуал Голд (2,0 л/га)	31,7	1,7	26,0	4,0
в конце вегетации (сентябрь)				
1. Контроль (без герб.)	108,0	61,0	35,0	12,0
2. Фронтьер Оптима (1,2 л/га)	16,0	11,0	2,0	3,0
3. Карибу (30,0 г/га)	16,6	9,6	3,0	4,0
4. Бетарен супер-МД, (1,5 л/га)	42,0	29,0	4,0	9,0
5. Дуал Голд (2,0 л/га)	27,0	1,0	22,0	4,0

Применение гербицида Фронтьер Оптима обусловило снижение общей численности сорняков до 9,0 шт./м², включая многолетние двудольные, число которых сократилось до 2,0 шт./м². Однако к середине вегетационного периода конкурирующая способность культурных растений усилилась, что выразилось в резком уменьшении численности сорняков на вариантах 4 и 5 до 47,7 и 31,7 шт./м² соответственно.

По структуре засоренности посевов сахарной свеклы преобладают однолетние злаковые сорняки, составляющие от 50 до 70 % от общей численности сорной флоры. По массе доминируют именно однолетние злаки, где сырая и сухая масса достигает 81,8 и 18,5 % от суммарного веса сорняков соответственно (табл. 7). При обработке посевов гербицидом Дуал Голд наблюдается иной качественный состав сорняков: основную массу составляют однолетние двудольные виды, занимающие 68 % сырой и 16,4 % сухой массы сорняков. Многолетние двудольные занимают долю 21,9 % сырой и 4,6 % сухой массы соответственно.

В центральной части Краснодарского края главными сорняками, засоряющими посевы сахарной свеклы, являются однолетние злаки. Применяемые ранее гербициды успешно контролировали преимущественно именно однолетние злаковые растения, лишь незначительно воздействуя на однолетние широколиственные виды. Гербициды типа Бетарен супер-МД и Дуал Голд показали низкую эффективность против многолетних широколиственных сорняков. Среди испытанных препаратов наиболее действенным оказался гербицид Карибу, применяемый в норме расхода 30 г/га перед посевом, значительно снижавший общую засоренность полей.

Таблица 7. Сырой и сухой вес сорняков в посевах сахарной свеклы гибрида Бартавелла в конце вегетации в зависимости от обработки гербицидами, г/м² (усредненные данные за 2023–2024 гг.).

Table 7. Fresh and dry weight of weeds in sugar beet crops of the Bartavella hybrid at the end of the growing season depending on herbicide treatment, g/m² (average data for 2023–2024).

Вариант опыта	Общая масса сорняков, г/м²	В том числе:					
		однолетних злаковых		однолетних двудольных		многолетних двудольных	
		сырая	сухая	сырая	сухая	сырая	сухая
1. Контроль (без герб.)	187	100,0	22,0	24,1	5,8	23,8	11,3
2. Фронтьер Оптима (1,2 л/га)	18,9	10,36	3,19	2,0	0,48	2,4	0,47
3. Карибу (30,0 г/га)	6,8	1,7	0,37	1,0	0,27	2,72	0,74
4. Бетарен супер-МД, (1,5 л/га)	173	109,0	28,1	9,8	2,3	20,1	3,7
5. Дуал Голд (2,0 л/га)	73,8	7,4	1,6	33,1	12,1	16,2	3,4

Современная технология возделывания сахарной свеклы включает ключевые компоненты: обработку почвы, внесение удобрений, своевременный посев, создание оптимальной густоты растений, защиту от сорняков, вредителей и болезней [1, 21]. Особое значение имеют элементы агротехники, исключающие вероятность ошибок. К ним относятся высококачественный и точно калиброванный высев обработанных семян, устраняющий потребность в последующем прореживании всходов, а также применение эффективных гербицидов для борьбы с сорняками. Тем не менее каждый отдельный элемент технологического процесса сам по себе не гарантирует успеха – важно комплексное использование всех составляющих агротехнологии.

Сахарная свекла обладает значительным потенциалом продуктивности, реализация которого возможна благодаря применению современных методов возделывания, обеспечивающих высокую урожайность при относительно невысокой стоимости производства. Одной из важнейших мер повышения эффективности культуры является контроль над сорняками. Исследования подтвердили, что уменьшение уровня засоренности посевов посредством применения гербицидов способствует увеличению урожайности и повышению сбора сахара. При этом $НСР_{05}$ составила 0,93 т/га, а ошибка опыта – 1,76 %, что говорит о хорошей эффективности обработки посевов сахарной свеклы исследуемыми гербицидами. Получены данные, свидетельствующие о наличии обратной зависимости между уровнем засоренности и урожайностью сахарной свеклы (табл. 8).

Таблица 8. Урожайность и сбор сахара в зависимости от применения гербицидов на посевах сахарной свеклы гибрида Бартавелла, т/га (усредненные данные за 2023–2024 гг.)

Table 8. Yield and sugar harvest depending on the use of herbicides on crops of sugar beet hybrid Bartavella, t/ha (average data for 2023–2024)

Вариант опыта	Показатель			Прибавка сбора сахара ± к контролю	
	урожайность, т/га	сахаристость, %	сбор сахара, т/га	т/га	%
1. Контроль (без герб.)	29,9	17,2	5,1	–	–
2. Фронтьер Оптима (1,2 л/га)	39,8	17,1	6,8	1,7	33,3
3. Карибу (30,0 г/га)	38,7	17,1	6,6	1,5	29,4
4. Бетарен супер-МД, (1,5 л/га)	37,1	17,0	6,3	1,2	23,5
5. Дуал Голд (2,0 л/га)	38,1	17,1	6,5	1,4	27,4
$НСР_{05}$	0,93				
P%	1,76				

Применение гербицидов, как ожидалось, не привело к существенному изменению содержания сахара в корнеплодах сахарной свеклы. Несмотря на незначительные различия в показателях (контроль превосходил опытные варианты на 0,1–0,2 %), общее влияние гербицидов на сахаристость оставалось минимальным. Уровень сахаристости составлял около 11,0–11,3 % на 1 июля, постепенно повышаясь до 17,0–17,2 % к началу сентября.

Проведенные исследования выявили, что максимальный прирост урожая сахара достигается при обработке гербицидом Фронтьер Оптима (увеличение составило 1,7 т/га, или 33,3 %). Гербицид Карибу также продемонстрировал значительное улучшение (1,5 т/га, или 29,4 %). Варианты с использованием Бетарена супер-МД и Дуала Голд дали дополнительную прибавку урожая сахара в размере 1,2 т/га (23,5 %) и 1,4 т/га (27,4 %) соответственно.

Увеличение общего объема собранного сахара наблюдалось исключительно за счет повышения урожайности, так как воздействие гербицидов на количество сахара в самих корнеплодах отсутствовало.

Таким образом, использование гербицидов на посевах сахарной свеклы гибрида Бартавелла показало себя как эффективное средство борьбы с сорняками, способствующее повышению урожайности и общей производительности культуры. Достижение высоких экономических результатов при производстве качественных корнеплодов сахарной свеклы невозможно без внедрения технологий обработки гербицидами (табл. 9).

Таблица 9. Экономическая эффективность производства сахарной свеклы гибрида Бартавелла в зависимости от применения гербицидов (усредненные данные за 2023–2024 гг.).

Table 9. Economic efficiency of production of sugar beet hybrid Bartavella depending on the use of herbicides (average data for 2023–2024).

Показатель	Вариант				
	Контроль (без герб.)	Фронтьер Оптима (1,2 л/га)	Карибу (30,0 г/га)	Бетарен супер-МД, (1,5 л/га)	Дуал Голд (2,0 л/га)
Урожайность, т/га	29,9	39,8	38,7	37,1	38,1
Сахаристость, %	17,2	17,1	17,1	17,0	17,1
Выход сахара, т/га	5,1	6,8	6,6	6,3	6,5
Цена реализации, руб./т	4456	4456	4456	4456	4456
Стоимость реализованной продукции, руб./га	133234	177348	172447	165317	169773
Затраты на производство и реализацию, руб./га	91800	94600	93920	94050	94900
Прибыль от реализации продукции, руб./га	41434	82748	78527	71267	74873
Уровень рентабельности продукции, %	45,1	87,4	83,6	75,8	78,9

Расчеты демонстрируют (табл. 9), что при максимальной урожайности сахарной свеклы, составляющей 39,8 т/га, и стоимости реализации продукции в размере 177 348 руб./га производство сахарной свеклы с использованием гербицида Фронтьер Оптима характеризуется уровнем рентабельности 87,4 %. На близком уровне оказался вариант с применением гербицида Карибу. Так, при урожайности 38,7 т/га затраты на производство были в пределах 93 920 руб./га, условный чистый доход составил 78 527 руб./га, а уровень рентабельности продукции – 83,6 %. На контрольном варианте этот показатель достигал 45,1 %.

Заключение

Повышение объемов производства сахарной свеклы в центральной части Краснодарского края достижимо не только путем экстенсивного расширения сельскохозяйственных угодий, но и интенсивным повышением продуктивности культуры. Последнее предполагает выбор высокопроизводительных гибридов, оптимальное применение минеральных удобрений и внедрение современных высокоактивных гербицидов.

В результате проведенных исследований установлено, что максимальное количество жизнеспособных листьев формируется к началу августа и составляет 17,9–19,4 шт./раст. против 16,7 шт./раст. на контроле. К моменту завершения вегетации растения на участках с минимальным количеством сорняков демонстрируют значительно большую сухую массу (117,8–141,0 г/раст.) по сравнению с контрольными растениями (85,7 г./раст.).

В засушливом 2024 году урожайность сахарной свеклы на контрольных участках снизилась на 2,7 т/га (8,6 %) по сравнению с 2023 годом. Однако на участках, обработанных гербицидом Фронтьер Оптима, разница в урожайности между годами составила 11,9 т/га (26,1 %).

Эксперименты подтвердили, что применение гербицидов позволяет снизить засоренность посевов на 80–85 % и увеличить урожайность на 8,5 т/га (28,5 %) по сравнению с необработанными участками. Наиболее выгодным с экономической точки зрения оказалось использование гербицидов Фронтьер Оптима и Карибу, обеспечивающих рентабельность 87,4 % и 83,6 % соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мамсиров Н. И., Башков В. И.* Минеральные удобрения в сочетании с биостимуляторами для листовых подкормок – основа формирования высоких урожаев сахарной свеклы // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25. № 05. С. 703–714. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-05-703-714

2. *Башков В. И., Мамсиров Н. И.* Урожайность корнеплодов сахарной свеклы на выщелоченных черноземах АО «Рассвет» Краснодарского края // В сборнике: Аграрная наука – основа развития страны. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). Майкоп, 2024. С. 32–35.

3. *Гаврин Д. С., Бартенев И. И., Нечаева О. М.* Влияние основного минерального удобрения и внекорневых подкормок микроэлементами на урожай семян сахарной свеклы, его структуру и качество // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3 (27). С. 35–46. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-35-46

4. *Кожокина А. Н., Мязин Н. Г., Сальгадо Пачеко Т. и др.* Влияние многолетнего внесения удобрений на продуктивность звена севооборота и агрохимические свойства чернозема выщелоченного // Земледелие. 2022. № 6. С. 11–15. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-6-11-16

5. *Косякин П. А., Боронтов О. К., Манаенкова Е. Н.* Динамика формирования листовой поверхности сахарной свеклы в зависимости от агротехники возделывания и удобрений // Сахарная свекла. 2020. № 6. С. 25–28. DOI: 10.25802/SB.2020.91.28.005

6. *Гамуев В. В., Баранов Ю. В.* Способы снижения расхода гербицидов при обработке сахарной свеклы // Сахарная свекла. 2013. № 3. С. 29–31. EDN: RXSPUL

7. *Бочкарев Д. В., Тюкина Е. В., Слугин А. Н. и др.* Совершенствование технологии защиты сахарной свеклы от сорняков на юге Нечерноземья // Аграрный научный журнал. 2024. № 11. С. 4–9. DOI: 10.28983/asj.y2024i11pp4-9

8. *Гамуев О. В., Вилков В. М., Минакова О. А.* Биологическая и агрономическая эффективность применения пониженных норм послевсходовых гербицидов совместно с препаратом Стикк в посевах современных отечественных гибридов сахарной свеклы // Агрохимия. 2025. № 2. С. 26–36. DOI: 10.7868/S3034496425020047

9. *Захарова М. Н., Рожкова Л. В.* Оценка биологической и хозяйственной эффективности гербицида Конвизо 1, МД на посевах сахарной свеклы в Рязанской области // Аграрный научный журнал. 2022. № 10. С. 46–49. DOI: 10.28983/asj.y2022i10pp46-49

10. *Мамсиров Н. И., Бондарева Т. Н.* Надежная защита посевов сахарной свеклы от сорняков в предгорной зоне Республики Адыгея // Новые технологии. 2017. № 4. С. 118–125. EDN: YMPNPK

11. *Кунце А. С.* Возделывание сахарной свеклы без затрат ручного труда // Земледелие. 1994. № 2. С. 25–26.

12. *Кравцов А. М., Загорулько А. В., Бровкина Т. Я.* Роль плодородия почвы и средств химизации земледелия в повышении продуктивности сахарной свеклы // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2025. № 117. С. 159–167. DOI: 10.21515/1999-1703-117-159-167

13. *Kryukova K. D., Gresis V. O.* Differences in biological efficiency of one- and two-component Graminicide on sugar beet crops in Tula region // RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2021. Vol. 16. No. 2. Pp. 129–136.

14. *Vostrikova T.V., Bogomolov M.A., Medvedeva S.M. et al.* Sugar beet hybrids based on cytoplasmic male sterility and their useful properties. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2024. Vol. 62. No. 3. Pp. 214–223.

15. *Веневцев В. З., Захарова М. Н., Рожкова Л. В.* Влияние применения послевсходовых гербицидов на фитосанитарное состояние посевов сахарной свеклы в Рязанской области // Агрохимический вестник. 2020. № 2. С. 51–54. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10023

16. *Дворянкин Е. А.* Влияние гербицида Каллисто и его примесей в растворе Бетанала-эксперта ОФ на продуктивность сахарной свеклы в условиях Центрально-Черноземного региона // Агрохимия. 2021. № 10. С. 22–28. DOI: 10.31857/S0002188121100069

17. *Егоян В. Е.* Урожайность сахарной свеклы в зависимости от влияния системы обработки почвы и удобрений // В сборнике: Экология и природопользование: устойчивое развитие сельских территорий. Сборник статей по материалам IV Всероссийской научно-практической конференции. Краснодар, 2024. С. 240–244.

18. *Кравцов А. М., Загорулько А. В., Бровкина Т. Я., Павелко И. А.* Эффективность применения удобрений и гербицидов при выращивании сахарной свеклы на черноземе выщелоченном с различным уровнем плодородия // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 102. С. 145–150. DOI: 10.21515/1999-1703-102-145-150

19. *Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. 5-е издание, дополн. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

20. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск первый. Общая часть. М.: Госсорткомиссия, 2019. 329 с.

21. *Gasanova E.S., Stekolnikov K.E., Kozhokina A.N., Malyavskaya A.V.* Dependence of physico-chemical characteristics of leached chernozem's soil fertility on fertilizers and ameliorator used. AIP conference proceedings. International Scientific and Practical Conference «Innovative technologies in agriculture». Vol. 2921. No. 1. AIP Publishing, 2023. P. 060001.

REFERENCES

1. Mamsirov N.I., Bashkov V.I. Mineral fertilizers in combination with biostimulants for foliar application – the basis for achieving high yields of sugar beet. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals]. 2025. Vol. 25. No. 5. Pp. 703–714. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-05-703-714. (In Russian)

2. Bashkov V.I., Mamsirov N.I. Yield of sugar beet roots on leached chernozems of JSC Rassvet, Krasnodar Territory. In the collection: Agrarian science – the basis for the country's development. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference (with international participation). Maykop, 2024. Pp. 32–35. (In Russian)

3. Gavrin D.S., Bartenev I.I., Nechaeva O.M. Effect of the main mineral fertilizer and foliar feeding with microelements on the yield of sugar beet seeds, its structure and quality. *Tavricheskiy Vestnik Agrarnoy Nauki* [Tauride Bulletin of Agrarian Science]. 2021. No. 3(27). Pp. 35–46. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-35-46. (In Russian)

4. Kozhokina A.N., Myazin N.G., Salgado Pacheco T. et al. Effect of long-term fertilization on the productivity of the crop rotation link and agrochemical properties of leached chernozem. *Zemledeliye* [Zemledelie]. 2022. No. 6. Pp. 11–15. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-6-11-16. (In Russian)

5. Kosyakin P.A., Borontov O.K., Manaenkova E.N. Dynamics of sugar beet leaf surface formation depending on cultivation techniques and fertilizers. *Sakharnaya svekla* [Sugar Beet]. 2020. No. 6. Pp. 25–28. DOI: 10.25802/SB.2020.91.28.005. (In Russian)

6. Gamuyev V.V., Baranov Yu.V. Methods for reducing herbicide consumption during sugar beet processing. *Sakharnaya svekla* [Sugar Beet]. 2013. No. 3. Pp. 29–31. EDN: RXSPUL. (In Russian)

7. Bochkarev D.V., Tyukina E.V., Slugin A.N. et al. Improving the technology of sugar beet weed control in the south of the non-black earth region. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal]. 2024. No. 11. Pp. 4–9. DOI: 10.28983/asj.y2024i11pp4-9. (In Russian)

8. Gamuyev O.V., Vilkov V.M., Minakova O.A. Biological and agronomic efficiency of using reduced rates of post-emergence herbicides in combination with Stikk in crops of modern domestic sugar beet hybrids. *Agrokhimiya* [Agrochemistry]. 2025. No. 2. Pp. 26–36. DOI: 10.7868/S3034496425020047. (In Russian)

9. Zakharova M.N., Rozhkova L.V. Evaluation of the biological and economic efficiency of the herbicide Conviso 1, MD on sugar beet crops in the Ryazan region. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal]. 2022. No. 10. Pp. 46–49. DOI: 10.28983/asj.y2022i10pp46-49. (In Russian)

10. Mamsirov N.I., Bondareva T.N. Reliable protection of sugar beet crops from weeds in the foothill zone of the Republic of Adygea. *Novyye tekhnologii* [New Technologies]. 2017. No. 4. Pp. 118–125. EDN: YMPNPK. (In Russian)

11. Kuntse A. S. Cultivation of sugar beet without manual labor. *Agriculture.* 1994. No. 2. Pp. 25–26. (In Russian)

12. Kravtsov A.M., Zagorulko A.V., Brovkina T.Ya. The role of soil fertility and agricultural chemicals in increasing sugar beet productivity. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Kuban State Agrarian University]. 2025. No. 117. Pp. 159–167. DOI: 10.21515/1999-1703-117-159-167. (In Russian)

13. Kryukova K.D., Gresis V.O. Differences in biological efficiency of one- and two-component Graminicide on sugar beet crops in Tula region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries.* 2021. Vol. 16. No. 2. Pp. 129–136.

14. Vostrikova T.V., Bogomolov M.A., Medvedeva S.M. et al. Sugar beet hybrids based on cytoplasmic male sterility and their useful properties. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2024. Vol. 62. No. 3. Pp. 214–223.

15. Venevtsev V.Z., Zakharova M.N., Rozhkova L.V. Effect of post-emergence herbicides on the phytosanitary condition of sugar beet crops in the Ryazan region. *Agrokhimicheskiy vestnik* [Agrochemical Bulletin]. 2020. No. 2. Pp. 51–54. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10023

16. Dvoryankin E.A. Effect of Callisto herbicide and its impurities in Betanal-expert OF solution on sugar beet productivity in the Central Black Earth Region. *Agrokhimiya* [Agrochemistry]. 2021. No. 10. Pp. 22–28. DOI: 10.31857/S0002188121100069. (In Russian)

17. Egoyan V.E. Sugar beet yield depending on the influence of the tillage system and fertilizers. In the collection: Ecology and nature management: sustainable development of rural areas. Collection of articles based on the materials of the IV All-Russian scientific and practical conference. Krasnodar, 2024. Pp. 240–244. (In Russian)

18. Kravtsov A.M., Zagorulko A.V., Brovkina T.Ya., Pavelko I.A. Efficiency of fertilizer and herbicide application in sugar beet cultivation on leached chernozem with different fertility levels. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Transactions of the Kuban State Agrarian University]. 2022. No. 102. Pp. 145–150. DOI: 10.21515/1999-1703-102-145-150. (In Russian)

19. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy* [Field experiment methodology with fundamentals of statistical processing of research results]. 5th edition, supplemented and revised. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p. (In Russian)

20. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Vypusk pervyy. Obshchaya chast'* [Methodology for state variety testing of agricultural crops. First Edition. General Part]. Moscow: Gossortkomissiya, 2019. 329 p. (In Russian)

21. Gasanova E.S., Stekolnikov K.E., Kozhokina A.N., Malyavskaya A.V. Dependence of physico-chemical characteristics of leached chernozem's soil fertility on fertilizers and ameliorator used. AIP conference proceedings. International Scientific and Practical Conference "Innovative technologies in agriculture". Vol. 2921. No. 1. AIP Publishing, 2023. P. 060001.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов:

Башков В. И. – подбор литературных источников, проведение эксперимента, оформление статьи по требованиям журнала;

Мамсиров Н. И. – разработка методики исследования, валидация данных.

Contribution of the authors:

Bashkov V.I. – selection of literary sources, conducting the experiment, formatting the article according to the journal's requirements;

Mamsirov N.I. – development of the research methodology, data validation.

Финансирование. Инициативная тема НИР «Разработка современных агротехнологий применения возобновляемых биоресурсов при возделывании сельскохозяйственных культур» (Рег. № НИОКТР АААА-А20-120031190040-5).

Funding. Initiative research topic "Development of modern agricultural technologies for the use of renewable bioresources in the cultivation of agricultural crops" (Reg. No. NIOKTR AAAA-A20-120031190040-5).

Информация об авторах

Нурбий Ильясович Мамсиров, д-р с.-х. наук, доцент, заведующий кафедрой технологии производства сельскохозяйственной продукции, Майкопский государственный технологический университет;

385000, Россия, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191;

nur.urup@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4581-5505, SPIN-код: 1929-9219

Владимир Игоревич Башков, аспирант, Майкопский государственный технологический университет;

385000, Россия, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191;

vladimir-bashkov@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0002-9601-7319, SPIN-код: 8942-6519

Information about the authors

Nurbiy I. Mamsirov, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Agricultural Production Technology, Maikop State Technological University;

191, Pervomayskaya street, Maikop, 385000, Russia;

nur.urup@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4581-5505, SPIN-code: 1929-9219

Vladimir I. Bashkov, Postgraduate Student, Maikop State Technological University;

191, Pervomayskaya street, Maikop, 385000, Russia;

vladimir-bashkov@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0002-9601-7319, SPIN-code: 8942-6519

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 631.5:633.34(571.150) Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-251-256
EDN: OTNUCF

Урожайность и качество зерна сои при возделывании по интенсивным и органическим технологиям в условиях Алтайского края

О. В. Черепанова✉, В. Н. Чернышков, Д. А. Пугач, Т. С. Бодня

Алтайский государственный аграрный университет
656049, Россия, г. Барнаул, проспект Красноармейский, 98

Аннотация. Использование биопрепаратов на основе микроорганизмов и их продуцентов в органических технологиях возделывания культур, когда предполагается полный отказ от минеральных удобрений и пестицидов, может позволить улучшить питательный режим для растений и обеспечить их защиту от вредных организмов. Особенно это становится актуальным при снижении уровня почвенного плодородия.

Цель исследования – провести сравнительную оценку урожайности и качества полученного зерна при возделывании сои по органическим и интенсивным технологиям в условиях Алтайского края.

Материалы и методы. Район исследований – умеренно-засушливая колочная степь Алтайского края, объект исследования – соя сорта Припять, предшественник – яровая пшеница, коэффициент высева – 735 тыс. шт./га, учет урожайности – с учетных площадок 0,25 м^2 в 4-кратной повторности. Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа.

Результаты. Органическая и интенсивная технологии возделывания способствовали лучшей сохранности растений к уборке. Средний показатель высоты растений и прикрепления нижнего боба были наибольшими при интенсивной технологии, достигая 104,7 и 15,9 см. Наибольшее количество бобов на растении зафиксировано на варианте органической технологии – 15,4 шт., что на 33,9 % выше, чем на варианте интенсивной технологии. Показатель «количество семян в бобе» варьировал незначительно (2,4–2,6 шт.). Урожайность на органической технологии получена на 14 % выше контроля и на 4,5 % выше интенсивной технологии.

Выводы. Органическая технология обеспечивает экологическую чистоту продукции, улучшает питательную ценность зерна сои, повышая содержание белка и минеральных элементов. Интенсивная технология увеличивает масличность, однако уступает по урожайности и содержанию белка в зерне. Контрольный вариант характеризуется наименьшими показателями, что подтверждает необходимость использования при получении органического растительного сырья современных агротехнологий, основанных на применении биопрепаратов и микробиологических средств.

Ключевые слова: соя, биопрепараты, интенсивная и органическая технологии, урожайность зерна, содержание белка, масличность

Поступила 06.11.2025, одобрена после рецензирования 19.11.2025, принята к публикации 05.12.2025

Для цитирования. Черепанова О. В., Чернышков В. Н., Пугач Д. А., Бодня Т. С. Урожайность и качество зерна сои при возделывании по интенсивным и органическим технологиям в условиях Алтайского края // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 251–256. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-251-256

© Черепанова О. В., Чернышков В. Н., Пугач Д. А., Бодня Т. С., 2025

Original article

Yield and quality of soybean grain when cultivated using intensive and organic technologies in Altai region

O.V. Cherepanova✉, V.N. Chernyshkov, D.A. Pugach, T.S. Bodnya

Altai State Agricultural University
98, Krasnoarmeyskiy prospekt, Barnaul, 656049, Russia

Abstract. The use of microbial-based biopreparations and their producers in organic crop cultivation technologies, where the use of mineral fertilizers and pesticides is completely avoided, can improve the nutritional conditions for plants and provide protection against harmful organisms. This is especially important when soil fertility levels are declining.

Aim. To conduct a comparative assessment of the yield and quality of the obtained grain when cultivating soybeans using organic and intensive technologies in the Altai Territory.

Materials and methods. The research area is the moderately arid and piercing steppe of the Altai Territory, the Pripyat variety, the predecessor is spring wheat, the seeding rate is 735 thousand pcs./ha, taking into account the yield – from accounting sites 0.25 m2, in 4-fold repetition. Statistical processing was performed by analysis of variance

Results. Organic and intensive cultivation technologies contributed to better conservation of plants for harvesting. The average plant height and lower bean attachment are the highest with intensive technology reaching 104.7 cm and 15.9 cm. The largest number of beans on the plant is recorded on the organic technology option – 15.4 pcs., Which is 33.9% higher than on the intensive technology option. The indicator "the number of seeds in the bean" varied slightly (2.4–2.6 pcs.). Yield on organic technology is 14% higher than control and 4.5% higher than intensive technology.

Conclusions. Organic technology ensures the ecological purity of products, improves the nutritional value of soybean grains, increasing the content of protein and mineral elements. Intensive technology increases oiliness, but is inferior in yield and protein content in grain. The control option is characterized by the lowest indicators, which confirms the need to use modern agricultural technologies based on the use of biologics and microbiological agents in the production of organic plant materials.

Keywords: soybeans, biological products, intensive and organic technology, grain yield, protein content, and oil content

Submitted 06.11.2025, approved after reviewing 19.11.2025, accepted for publication 05.12.2025

For citation. Cherepanova O.V., Chernyshkov V.N., Pugach D.A., Bodnya T.S. Yield and quality of soybean grain when cultivated using intensive and organic technologies in Altai region. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 251–256. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-251-256

Введение

Соя – универсальная культура, имеющая в составе зерна белок (около 30–35 %) и масло (18–20 %). Имея наибольшие посевные площади в мировом масштабе среди масличных и зернобобовых культур, она с успехом используется в пищу, на корм животным и в технических целях [1]. Однако при возделывании культуры по интенсивным технологиям используются минеральные удобрения и пестициды. Для получения органического растительного сырья использование химических средств категорически запрещено, и здесь на помощь могут прийти микробиологические препараты. В условиях резкого снижения плодородия почв в Алтайском крае за последние несколько десятилетий, что подтверждено многолетними исследованиями ученых Алтайского государственного аграрного университета (ГАУ) и агрохимической службой Алтайского края [2], развитие органического земледелия и применение биопрепаратов для улучшения питания растений и защиты от вредных организмов становится актуальным.

Препараты на основе микроорганизмов показывают положительный эффект по улучшению питательного режима почвы на ряде культур. Так, исследованиями ученых Алтайского ГАУ показано положительное влияние биопрепарата Азофит на увеличение продуктивности яровой пшеницы [3]. Научными исследованиями доказано, что применение инокулянтов на сое положительно влияет на развитие культуры, образование клубеньков, повышение продуктивности растений и содержание белка в зерне [4, 5].

Цель исследований – провести сравнительную оценку урожайности и качества полученного зерна при возделывании сои по органическим и интенсивным технологиям в условиях Алтайского края.

Материалы и методика исследований

Работу выполняли на учебно-опытном поле Алтайского ГАУ, расположенном в зоне умеренно-засушливой колочной степи Алтайского края, в 2025 г. Проведен первый год полевых исследований, в дальнейшем они будут продолжены. Исследования проведены при поддержке гранта губернатора Алтайского края, для подтверждения полученных результатов полевые опыты будут продолжены в 2026–2027 годах.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный малогумусный среднесуглинистый.

Схема опыта состояла из 3 вариантов: 1) контроль без удобрений и обработок; 2) интенсивная технология включала в себя предпосевную обработку семян баковой смесью препаратов Вайбранс Голд, КС (1,2 л/т) + Инстиво, КС (0,8 л/т) + Organit Rizo (2,5 л/т), по вегетации применяли фунгицид Спирит, КС (0,3 л/га), перед посевом в почву вносили удобрение NP + S (16:20+14); 3) органическая технология включала в себя предпосевную обработку семян баковой смесью: Ризопротектор (0,2 кг/10 л инокулянта) + РизоБаш (3 л/т) + Фитоспорин АС, Ж (1,5 л/т) + Жидкая микориза (0,0 4 л/т) + Биолипостим (0,2 л/т), по вегетации растения обрабатывали 3 раза баковой смесью Фитоспорин АС, Ж (1,5 л/га) + Гуми 20 К (0,2 л/га) в фазы 1-2-го тройчатого листа, 3-го тройчатого листа, конец цветения – начало образования лопатки. Расположение вариантов в опыте систематическое в трехкратной повторности. Площадь делянки составляла 90,0 м^2 (3,0 м х 30,0 м). Статистическая обработка результатов исследований проводилась методом дисперсионного анализа с использованием прикладной компьютерной программы.

Сравнение урожайности и качества зерна сои проводили на сорте Припять. Сеяли сою после яровой пшеницы в оптимальные сроки (середина мая) с густотой стояния 735 тыс. шт./га. На контрольном варианте и на варианте с органической технологией борьбу с сорняками проводили вручную, на варианте интенсивной технологии использовали смесь гербицидов, разрешенных к применению на сое.

Среднее многолетнее количество осадков за вегетацию сои (май – октябрь) в месте проведения опытов составляет 272 мм. В 2025 г. за активную вегетацию сои осадков выпало 322 мм, что составило 118 % от среднемноголетних. Наибольшее количество осадков выпало в августе – 140 мм, или 286 % от среднемноголетнего показателя. Сумма активных температур за вегетационный период составила 2632°С, что на 160°С превышало среднемноголетний показатель.

Результаты исследований

Результаты исследований показали, что применение как органической, так и интенсивной технологий возделывания определяет особенности роста и продуктивности растений. Анализ данных таблицы 1 показал, что наибольшее значение густоты стояния растений перед уборкой отмечено в варианте интенсивной технологии возделывания сои – 696,7 тыс. шт./га, что на 6,6 % выше контроля (653,3 тыс. шт./га). Применение химических и биологических препаратов с фунгицидной активностью способствовало защите растений на период появления всходов, обеспечивая также и лучшую сохранность растений. На варианте органической технологии с применением биопрепаратов густота стояния составила 693,3 тыс. шт./га, что также свидетельствует о высокой сохранности растений при данной технологии.

Средний показатель высоты растений при интенсивной технологии достигал 104,7 см, что на 6,0 % выше значения на контроле, тогда как при органической технологии высота растений составила 98,4 см. Высота прикрепления нижнего боба варьировала от 11,2 до 15,9 см и была наибольшей при интенсивной технологии, что облегчает механизированную уборку.

Наибольшее количество бобов на растении зафиксировано на варианте органической технологии – 15,4 шт., что на 33,9 % выше, чем на варианте интенсивной технологии.

Показатель «количество семян в бобе» варьировал незначительно (2,4–2,6 шт.). Масса семян с 0,25 м² при органической технологии составила 81,2 г, что на 14 % выше, чем на контроле. Урожайность на данном варианте составила 3,25 т/га, что на 14 % выше контроля и на 4,5 % выше интенсивной технологии. Однако разность между вариантами технологий лежит в пределах ошибки опыта.

Таким образом, органическая технология обеспечила наибольшую урожайность за счет увеличения количества бобов и массы семян. Интегрированная система питания и защиты растений на основе биопрепаратов позволила реализовать потенциал культуры без применения синтетических удобрений и пестицидов и способствовала получению более высокой урожайности.

Таблица 1. Урожайность сои и элементы ее структуры

Table 1. Soybean yield and structure of yield

Вариант	Густота стояния перед уборкой, тыс. шт./га	Высота растения, см	Высота прикрепления нижнего боба, см	Количество бобов на 1 растении, шт.	Количество семян в 1 бобе, шт.	Масса семян с 0,25 м^2, г	Масса 1000 семян, г	Урожайность, т/га
1. Контроль (без обработки)	653,3	98,8	11,6	15,3	2,4	71,2	151,5	2,85
2. Интенсивная технология	696,7	104,7	15,9	11,5	2,6	77,8	157,0	3,11
3. Органическая технология	693,3	98,4	11,2	15,4	2,4	81,2	152,7	3,25
$НСР_{0,05}$								0,25

Кроме высокой продуктивности, значение имеет также и качество полученной продукции. По содержанию белка выделилась органическая технология, превышение относительно контрольного варианта составило 1,75 % и относительно интенсивной технологии 1,31 % (табл. 2).

Таблица 2. Биохимический состав зерна сои

Table 2. Biochemical composition of soybean grain

Вариант	Содержание белка, %	Масличность, %	Массовая доля фосфора (Р), %	Массовая доля кальция (Са), %	Массовая доля калия (К), %
Контроль (без обработки)	31,94	20,4	0,58	0,17	1,44
Интенсивная технология	32,38	21,6	0,57	0,15	1,45
Органическая технология	33,69	19,4	0,62	0,16	1,48

Содержание фосфора и калия в зерне сои при органической технологии было максимальным (0,62 и 1,48 % соответственно), что указывает на повышение биодоступности

питательных веществ за счет применения биопрепаратов. Незначительное снижение содержания кальция при интенсивной технологии (0,15 %) может быть связано с подкислением почвенного раствора.

Выводы

Полученные результаты показали, что органическая технология обеспечивает не только экологическую чистоту продукции, но и улучшает питательную ценность зерна сои, повышая содержание белка и минеральных элементов. Интенсивная технология увеличивает масличность, однако уступает по урожайности и содержанию белка в зерне. Контрольный вариант характеризуется наименьшими показателями, что подтверждает необходимость использования при получении органического растительного сырья современных агротехнологий, основанных на применении биопрепаратов и микробиологических средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Поморова Ю. Ю., Пятовский В. В., Серова Ю. М.* Биохимический состав семян сортов сои, возделываемых в различных регионах России, и аспекты его биологической ценности (обзор) // Масличные культуры. 2023. № 4(196). С. 84–96. DOI: 10.25230/2412-608X-2023-4-196-84-96

2. Мониторинг плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Алтайского края. Барнаул, 2018. 380 с.

3. *Беляев В. И., Черепанова О. В., Прокопчук Р. Е. и др.* Урожайность, качество зерна и эффективность возделывания яровой пшеницы при разных системах применения минеральных и микробиологических удобрений на участках с разным почвенным плодородием // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2024. № 1(231). С. 50–56. DOI: 10.53083/1996-4277-2024-231-1-50-56

4. *Пигорев И. Я., Кананыхин А. О., Кузьминов К. В.* Влияние агротехники на результаты предпосевной инокуляции семян сои // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 7. С. 13–18. EDN: OMXEAJ

5. *Шабалкин А. В., Дубинкина Е. А.* Применение инокулянта и микроудобрений на сое в условиях Центрального Черноземья // Масличные культуры. 2023. № 2(194). С. 86–93. DOI: 10.25230/2412-608X-2023-1-193-86-93

REFERENCES

1. Pomorova Yu.Yu., Pyatovskiy V.V., Serova Yu.M. Biochemical composition of soybean seeds cultivated in various regions of Russia and aspects of their biological value (review). *Oil Crops*. 2023. No. 4(196). Pp. 84–96. DOI: 10.25230/2412-608X-2023-4-196-84-96. (In Russian)

2. *Monitoring plodorodiya pochv zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya Altaiskogo kraya* [Monitoring of soil fertility in agricultural lands if the altai territory]. Barnaul, 2018. 380 p.

3. Belyayev V.I., Cherepanova O.V., Prokopchuk R.E. et al. Yield, grain quality, and efficiency of spring wheat cultivation under different systems of mineral and microbiological fertilizers application in areas with different soil fertility. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Altai State Agrarian University]. 2024. No. 1 (231). Pp. 50–56. DOI: 10.53083/1996-4277-2024-231-1-50-56. (in Russian)

4. Pigorev I.Ya., Kananykhin A.O., Kuzminov K.V. The influence of agricultural techniques on the results of pre-sowing inoculation of soybean seeds. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skohozyajstvennoy akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy]. 2023. No. 7. Pp. 13–18. EDN: OMXEAJ. (In Russian)

5. Shabalkin A.V., Dubinkina E.A. Application of inoculant and microfertilizers on soybeans in the Central Chernozem region. *Oil Crops*. 2023. No. 2 (194). Pp. 86–93. DOI: 10.25230/2412-608X-2023-1-193-86-93. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Научные исследования, представленные в статье, выполнены при поддержке гранта губернатора Алтайского края в форме субсидий для разработки качественно новых технологий, создания инновационных продуктов и услуг в сферах переработки и производства пищевых продуктов, фармацевтического производства и биотехнологий (Соглашение № 30-2024-004221 от 19 ноября 2024 г.).

Funding. The scientific research presented in the article was carried out with the support of a grant from the Governor of the Altai Territory in the form of subsidies for the development of qualitatively new technologies, the creation of innovative products and services in the fields of food processing and production, pharmaceutical production, and biotechnology (Agreement No. 30-2024-004221 dated November 19, 2024)

Информация об авторах

Черепанова Ольга Васильевна, канд. с.-х. наук, доцент, доцент кафедры общего земледелия, растениеводства и защиты растений, Алтайский государственный аграрный университет;
656049, Россия, г. Барнаул, проспект Красноармейский, 98;
cherepanova_olga22@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9967-3242, SPIN-код: 1283-9670
Чернышков Владимир Николаевич, канд. с.-х. наук, доцент, заведующий кафедрой общего земледелия, растениеводства и защиты растений, Алтайский государственный аграрный университет;
656049, Россия, г. Барнаул, проспект Красноармейский, 98;
chernyshkov.niko@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8271-5699, SPIN-код: 1840-1333
Пугач Дмитрий Алексеевич, ст. преподаватель кафедры общего земледелия, растениеводства и защиты растений, Алтайский государственный аграрный университет;
656049, Россия, г. Барнаул, проспект Красноармейский, 98;
dmitrij060101@yandex.ru
Бодня Таисия Сергеевна, магистрант, Алтайский государственный аграрный университет;
656049, Россия, г. Барнаул, проспект Красноармейский, 98;
bodnya.agau@inbox.ru

Information about the authors

Olga V. Cherepanova, Candidate of Agricultural Sciences, Prof., Associate Professor of the Department of General Agriculture, Plant Growing and Plant Protection, Altai State Agricultural University;
98, Krasnoarmeyskiy prospekt, Barnaul, 656049, Russia;
cherepanova_olga22@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9967-3242, SPIN-код: 1283-9670
Vladimir N. Chernyshkov, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department of General Agriculture, Plant Growing and Plant Protection, Altai State Agricultural University;
98, Krasnoarmeyskiy prospekt, Barnaul, 656049, Russia;
chernyshkov.niko@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8271-5699, SPIN-код: 1840-1333
Dmitriy A. Pugach, Senior Lecturer, Department of General Agriculture, Crop Farming and Plant Protection, Altai State Agricultural University;
98, Krasnoarmeyskiy prospekt, Barnaul, 656049, Russia;
dmitrij060101@yandex.ru;
Taisiya S. Bodnya, Master's Student, Altai State Agricultural University;
98, Krasnoarmeyskiy prospekt, Barnaul, 656049, Russia;
bodnya.agau@inbox.ru

АГРОХИМИЯ, АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗАЩИТА И КАРАНТИН РАСТЕНИЙ

УДК 632.9 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-257-264
EDN: OWGMPJ

Эффективность инсектицидов против хлопковой совки на кукурузе в степной зоне КБР

А. Х. Шабатуков✉, З. Л. Шипшева

Институт сельского хозяйства –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360004, Россия, г. Нальчик, ул. Кирова, 224

Аннотация. Актуальность исследований заключается в выявлении и изучении доминирующих вредителей, таких как хлопковая совка (*Helicoverpa armigera Hb.)* и стеблевой кукурузный мотылек (*Ostrinia nubilalis Hb.),* между которыми выявлена обратная зависимость в динамике вредоносности.

Цель исследований – определение видового состава и динамики численности фитофагов в агроценозах кукурузы гибрида Карат СВ и оценка эффективности мер защиты.

Материалы и методы исследования. Впервые в условиях степной зоны Кабардино-Балкарской Республики в 2022–2024 годах были проведены исследования с целью определения видового состава и динамики численности фитофагов в агроценозах кукурузы гибрида Карат СВ и оценки эффективности мер защиты. Полевые опыты были заложены на опытных участках ИСХ КБНЦ РАН. Для идентификации фитофагов использовался определитель сельскохозяйственных вредителей по повреждениям культурных растений, составленный М. Б. Ахремовичем и др. Почва опытных участков представлена южным черноземом, отличающимся невысоким содержанием гумуса в горизонте А (3,5–5,0 %) и постепенным его распределением по почвенному профилю. Ежедекадный фитосанитарный мониторинг осуществлялся с использованием оптических приборов (микроскоп Primo Star (Zeiss), бинокулярный микроскоп «Биолам», портативный сачок, лупы различного увеличения и электронные весы).

Результаты. Показано существенное влияние погодных условий на развитие фитофагов: жаркая и сухая погода благоприятствовала вспышкам размножения тлей и паутинного клеща, а обильные осадки – растянутому развитию хлопковой совки и активному лёту стеблевого мотылька. Выявлены наиболее эффективные препараты против хлопковой совки как химического, так и биологического происхождения. Применение этих же инсектицидов также привело к увеличению урожайности: на 1,5 т/га и на 0,6 т/га соответственно.

Выводы. Наиболее эффективным средством борьбы с гусеницами хлопковой совки стал химический инсектицид Проклэйм, ВРГ, показавший высокую биологическую (94,3 %) и хозяйственную (прибавка урожая 1,5 т/га) эффективность. Среди биологических препаратов перспективным является Лепидоцид, СК с биологической эффективностью 85,0 %. На основании полученных данных для эффективного подавления вредителей и снижения риска возникновения резистентности рекомендована стратегия, предусматривающая чередование химических и биологических инсектицидов в системе защиты кукурузы.

Ключевые слова: кукуруза, хлопковая совка, стеблевой кукурузный мотылек, энтомологический мониторинг, динамика численности, инсектициды, биологическая эффективность, урожайность, система защиты

Поступила 01.11.2025, одобрена после рецензирования 10.11.2025, принята к публикации 04.12.2025

Для цитирования. Шабатуков А. Х., Шипшева З. Л. Эффективность инсектицидов против хлопковой совки на кукурузе в степной зоне КБР // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 257–264. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-257-264

© Шабатуков А. Х., Шипшева З. Л., 2025

Original article

Effectiveness of insecticides against the cotton bollworm on corn in steppe zone of Kabardino-Balkarian Republic

A.Kh. Shabatukov✉, Z.L. Shipsheva

Institute of Agriculture –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
224, Kirov street, Nalchik, 360004, Russia

Abstract. The relevance of the research lies in identifying and studying dominant pests, such as the cotton bollworm (Helicoverpa armigera Hb.) and the corn stem borer (Ostrinia nubilalis Hb.), between which an inverse relationship in the dynamics of harmfulness has been revealed.

Aim. The research is to determine the species composition and population dynamics of phytophages in agrocenoses of Karat SV hybrid corn and to evaluate the effectiveness of protective measures.

Materials and methods. For the first time, research was conducted in the steppe zone of the Kabardino-Balkarian Republic between 2022 and 2024 to determine the species composition and population dynamics of phytophages in agrocenoses of Karat SV hybrid corn as well as to evaluate the effectiveness of protective measures. Field experiments were carried out on experimental plots of the Institute of Agriculture of the Kabardino-Balkarian Scientific Center, RAS. To classify phytophages, the "Identifier of Agricultural Pests for Damage to Cultivated Plants" compiled by M.B. Akhremovich et al. is used. The soil of the experimental plots is southern chernozem, which has a low humus content in the topsoil (3.5–5.0%) and a gradual distribution decrease in humus content down through the soil profile. Decade-long phytosanitary monitoring was realized using optical instruments (a Primo Star microscope (Zeiss), a Biolam binocular microscope, a portable net, magnifying glasses of various magnifications, and electronic scales).

Results. Weather conditions significantly impacted the development of phytophages: hot and dry weather favored outbreaks of aphids and spider mites, while heavy precipitation resulted in extended development of cotton bollworm and active flight of the cotton bollworm. The most effective chemical and biological insecticides for controlling the cotton bollworm were identified. The use of these insecticides also led to increased yields: 1.5 t/ha and 0.6 t/ha, respectively.

Conclusions. The chemical insecticide Proclaim (VRG) has proven to be the most effective control agent for cotton bollworm, with demonstration of high biological (94.3 %) and economic efficacy (yield increase of 1.5 t/ha). Among biological products, Lepidocide (SK) is promising, with a biological efficacy of 85.0 %. Based on the data collected, we recommend a strategy that involves alternating between chemical and biological insecticides for corn protection in order to effectively control pests and reduce the risk of insecticide resistance.

Keywords: corn, cotton bollworm, corn stem borer, entomological monitoring, population dynamics, insecticides, biological efficiency, yield, protection system

Submitted 01.11.2025, approved after reviewing 10.11.2025, accepted for publication 04.12.2025

For citation. Shabatukov A.Kh., Shipsheva Z.L. Effectiveness of insecticides against cotton bollworm on corn in steppe zone of Kabardino-Balkarian Republic. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 257–264. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-257-264

Введение

Кукуруза *(Zea mays)* – одна из основных сельскохозяйственных культур, играющая важную роль в продовольственной безопасности и экономике Кабардино-Балкарской Республики. Учитывая прогнозируемый урожай и объемы производства, необходимо разработать и внедрить эффективные фитосанитарные меры. Это позволит обеспечить получение более экологически чистой продукции из кукурузного зерна [1].

Многие вредители на посевах кукурузы имеют ежегодное распространение, но их вредоносность зависит от погодно-климатических условий, севооборота и устойчивости гибридов кукурузы.

Определен видовой состав фитофагов кукурузы, которые имеют ежегодное распространение и разную степень вредоносности. Из них выделены наиболее распространенные вредители, такие как хлопковая совка, озимая совка, проволочники, виды цикадок и тлей, обыкновенный паутинный клещ. Среди видов тлей широкое распространение имели колонии большой злаковой тли (*Sitobion avenae H.*), повреждающие кукурузу в основном в фазах цветения, завязывания и начала налива зерна. На снижение численности и вредоносности видов тлей повлияло наличие энтомофагов, таких как диаретус, кокцинеллиды, златоглазки. В годы наблюдений обыкновенная злаковая тля (*Schizaphis graminum Rond.*) образует колонии в основном на верхних листьях, зеленых обертках початков, метелках и представляет опасность в сухую и жаркую погоду, которая отмечалась в 2024 году.

Такие погодно-климатические условия благоприятствовали также быстрому росту плотности заселения и вредоносности обыкновенного паутинного клеща (*Tetranychus urticae Koch.*), который вызывает преждевременное усыхание вегетативных и репродуктивных органов, что приводит к недоразвитию зерна, тем самым снижая качественные показатели (белок, сырой протеин, клетчатка, жир, общий сахар).

Хлопковая совка (*Heliotis armigera Hb.*) – многоядный вредитель, повреждающий многие культурные и сорные растения. Гусеницы вредителя очень прожорливы, на кукурузе они скелетируют листья, затем повреждают зерно в початках в фазах молочной, молочно-восковой и восковой спелости. Поскольку гусеницы и куколки хлопковой совки зимуют в верхнем слое почвы, осенью необходимо уничтожить растительные остатки, провести глубокую зяблевую вспашку, в весенне-летний период – междурядные и гербицидные обработки для уничтожения сорной растительности. Важно помнить, что при поверхностной обработке большинство куколок вредителя хорошо перезимовывают. Высокая вредоносность хлопковой совки объясняется недостаточной изученностью экологических и биологических особенностей ее развития в конкретной географической зоне и проведением вследствие этого бессистемных защитных мероприятий [2, 3].

При выращивании кукурузы на зерно сельхозпредприятия столкнулись с проблемой высокой вредоносности стеблевого кукурузного мотылька. Основной особенностью его вредоносности является повреждение сердцевины стеблей сосудисто-волокнистых пучков, что усложняет поступление питательных веществ в различные органы растений кукурузы. Они сильно обезвоживаются, повышается ломкость стеблей, задерживается цветение, уменьшается размер листьев, междоузлий и снижается продуктивность культуры [4, 5].

Цель и задачи исследования

Цель исследований заключается в определении видового состава и динамики численности фитофагов в агроценозах кукурузы гибрида Карат СВ и оценке эффективности мер защиты.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

– выявление и изучение доминирующих вредителей;

– сравнительная оценка биологической и хозяйственной эффективности инсектицидов.

Методы исследования

Закладку полевых опытов проводили на опытных участках ИСХ КБНЦ РАН. Наблюдения и учеты выполняли по существующим методикам в защите растений: наблюдения и учеты выполнялись по методикам Б. А. Доспехова, В. Ф. Пересыпкина, С. М. Поспелова, Д. Н. Говорова [6–9].

Для идентификации фитофагов использовали определитель сельскохозяйственных вредителей по повреждениям культурных растений М. Б. Ахремовича и др. [10].

Почва опытных участков – южный чернозем, расположенный относительно неширокой полосой между обыкновенными черноземами и темно-каштановыми. Южные черноземы характеризуются незначительным содержанием гумуса в горизонте А (3,5–5,0 %) и весьма постепенным распределением по профилю почвы. В основном эти почвы интенсивно используются для возделывания колосовых культур, подсолнечника и кукурузы на зерно и силос [11].

Для проведения ежедекадного фитосанитарного мониторинга использовали оптические приборы: микроскоп «Primo Star (Zeiss)», бинокулярный микроскоп «Биолам», портативный сачок, лупы разной кратности увеличения, электронные весы.

Результаты исследования

В рамках научно-исследовательской работы изучались видовой состав и вредоносность прогрессирующих фитофагов в кукурузных агроценозах. Основными вредителями кукурузы являются хлопковая совка (*Heliothis armigera* Hb.) и стеблевой кукурузный мотылек (*Ostrinia nubilalis* Hb.). Исследование динамики численности этих вредителей проводилось на посевах гибрида кукурузы Карат СВ в степной зоне Кабардино-Балкарской Республики. Анализ данных о вредоносности хлопковой совки и стеблевого кукурузного мотылька выявил периодичность их вспышек и спадов. Фенологические наблюдения 2022–2024 годов показали, что начало лёта бабочек перезимовавшего поколения стеблевого кукурузного мотылька приходится на первую декаду июня.

В то же время второе поколение хлопковой совки начинает летать в первой декаде июля. В годы с обильными и продолжительными осадками в мае-июне откладка яиц и отрождение гусениц первого поколения хлопковой совки значительно растягиваются. Для стеблевого кукурузного мотылька такие погодные условия, напротив, весьма благоприятны [12, 13].

Многолетний мониторинг хлопковой совки и стеблевого кукурузного мотылька выявил обратную зависимость их вредоносности. Чем выше численность и вредоносность хлопковой совки, тем ниже показатели стеблевого кукурузного мотылька.

Сроки проведения инсектицидных обработок совпадают с периодом начала цветения початков, когда массово отрождаются гусеницы младших возрастов второго поколения хлопковой совки. Асинхронное развитие стадий хлопковой совки часто приводит к наслоению активности питания гусениц средних и старших возрастов первого поколения на массовую яйцекладку и начало отрождения гусениц второго поколения [14].

Вслед за ростом численности и вредоносности хлопковой совки постепенно увеличивалась численность ее природных врагов – энтомофагов, паразитов и хищников яиц и гусениц. Кроме того, на посевах кукурузы часто наблюдалось склевывание гусениц хлопковой совки хищными птицами.

Важную роль в сдерживании вредоносности хлопковой совки сыграло также повсеместное применение современных эффективных инсектицидов нового поколения. К их действующим веществам гусеницы хлопковой совки еще не выработали резистентность. Среди таких перспективных химических препаратов – Кораген, КС; Авант, КЭ; Проклэйм, ВРГ [15, 16]. В исследуемые годы применение этих инсектицидов способствовало резкому снижению численности гусениц первого и второго поколений хлопковой совки.

В период 2022–2024 гг. были проведены полевые испытания для определения биологической эффективности инсектицидов, включая препараты химического (Кораген, КС; Авант, КЭ; Проклэйм, ВРГ) и биологического (Фитоверм, КЭ; Лепидоцид, СК; Биослип БТ, П) происхождения. Оценка прибавки урожайности проводилась в сравнении с контрольным вариантом, не подвергавшимся обработкам.

Таблица 1. Биологическая эффективность инсектицидов в борьбе с гусеницами хлопковой совки на гибриде кукурузы Карат СВ (степная зона КБР, 2022–2024 гг.)

Table 1. Biological effectiveness of insecticides in controlling cotton bollworm caterpillars on the Karat SV corn hybrid in the steppe zone of KBR (2022-2024).

№	Наименование препаратов	Норма прим. (л, кг)	Биологич. эффективность, %	Урожайность, т/га	Прибавка урожайности, т/га
1	Контроль (без обработок)	• –	• –	• 3,2	• –
Химические инсектициды					
2	Авант, КЭ	0,4	91,4	4,3	1,1
3	Проклэйм, ВРГ	0,15	94,3	4,7	1,5
4	Кораген, КС	0,3	90,2	4,2	1,0
Биологические инсектициды					
5	Фитоверм, КЭ (2-кратно)	0,15	73,6	3,3	0,1
6	Биослип БТ, П (2-кратно)	2,5	72,8	3,5	0,3
7	Лепидоцид, СК (2-кратно)	2,0	85,0	3,8	0,6
	$НСР_{05}$				0,07

Сравнительная оценка биологической эффективности инсектицидов осуществлялась через 7 суток после опрыскивания посевов гибрида кукурузы Карат СВ с целью борьбы с гусеницами хлопковой совки. Все исследованные инсектициды показали различную степень эффективности в контроле численности хлопковой совки [17]. Результаты оценки биологической эффективности испытанных инсектицидов против гусениц хлопковой совки на гибриде кукурузы Карат СВ представлены в табл. 1.

Для сравнения в опыте был предусмотрен контрольный вариант (без обработки), где урожайность составила 3,2 т/га. Все испытанные препараты показали положительный эффект, однако результаты различаются в зависимости от их типа и действующего вещества.

Среди химических инсектицидов наивысшую биологическую эффективность показал препарат Проклэйм, ВРГ (94,3 %), что также обусловило самую высокую прибавку урожайности – 1,5 т/га, позволив собрать 4,7 т/га. Немного уступил ему Авант, КЭ с эффективностью 91,4 % и прибавкой 1,1 т/га. Препарат Кораген, КС имел результат 90,2 % и прибавку урожая 1,0 т/га.

Биологические инсектициды, которые применялись двукратно, показали более низкую, но значимую эффективность. Наилучший результат по биологической эффективности в этой группе у препарата Лепидоцид, СК – 85,0 % и прибавка урожайности 0,6 т/га. Препараты Фитоверм, КЭ и Биослип БТ, П показали эффективность на уровне 73,6 % и 72,8 % соответственно, с невысокими прибавками урожая в 0,1 и 0,3 т/га.

Таким образом, наиболее перспективным препаратом в борьбе с гусеницами хлопковой совки следует считать инсектицид химического происхождения Проклэйм, ВРГ, который дал самую высокую прибавку урожайности – 1,5 т/га, и биологический инсектицид Лепидоцид, СК с прибавкой 0,6 т/га.

Заключение

Проведенные исследования позволили дать комплексную оценку фитосанитарной обстановки в кукурузных агроценозах степной зоны КБР и выявить основных вредителей – хлопковую совку и стеблевого мотылька, динамика которых имеет циклический характер. Наиболее эффективным средством борьбы с гусеницами хлопковой совки является химический инсектицид Проклэйм, ВРГ, показавший максимальную биологическую (94,3 %) и

хозяйственную (прибавка 1,5 т/га) эффективность. Среди биологических препаратов перспективным является Лепидоцид, СК с биологической эффективностью 85,0 %. Для обеспечения устойчивой защиты посевов, предотвращения развития резистентности у вредителей и снижения пестицидной нагрузки рекомендуется рассмотреть возможность чередования высокоэффективных химических и биологических инсектицидов, таких как Проклэйм, ВРГ и Лепидоцид, СК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аппаев С. П., Кагермазов А. М., Азубеков Л. Х. и др.* Кукуруза в Кабардино-Балкарии. Современная технология возделывания. Нальчик: Принт-Центр, 2020. С. 74–102.

2. *Артохин К. С.* Вредители сельскохозяйственных культур. Том I. Вредители зерновых культур: справочное и учебно-методическое пособие. М.: Печатный город, 2012. С. 296–297.

3. *Мисриева Б. У., Мисриев А. М.* Использование синтетических половых феромонов для мониторинга хлопковой совки в Дагестане // Защита и карантин растений. 2023. № 5. С. 24–26. DOI: 10.47528/1026-8634_2023_5_24

4. *Ластушкина Е. Н., Пронюшкина А. С., Красковская Н. А.* Результаты испытания инсектицидов в борьбе с восточным кукурузным мотыльком в посевах кукурузы в Приморском крае // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 10(112). С. 48–52. DOI: 1023670//IRJ.2021.112.10.008

5. *Витион П. Г.* Мониторинг основных фитофагов кукурузы // Сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции «Защита растений от вредных организмов». Краснодар: КубГАУ. 2021. С. 77–80. EDN: MAJJHZ

6. *Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. М: Альянс, 2011. EDN: QLCQEP

7. *Пересыпкин В. Ф., Коваленко С. Н., Шелестова В.Ф., Асатур М.К.* Практикум по методике опытного дела в защите растений. М.: Агропромиздат, 1989. С. 17–20.

8. *Поспелова С. М.* Практикум по защите растений. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1988. 240 с.

9. *Говоров Д. Н., Живых А. В., Щетинин П. Б.* Демонстрационные опыты – наглядный способ сравнения пестицидов // Защита и карантин растений. 2017. № 8. С. 40–41. EDN: ZDWLFN

10. *Ахремович М. Б., Батиашвили И. Д., Бей-Биенко Г. Я. и др.* Определитель сельскохозяйственных вредителей по повреждениям культурных растений. Л.: Колос, 1976. С. 38–48.

11. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Кабардино-Балкарской Республики: монография / под ред. М. М. Чочаева. Нальчик: Принт-Центр, 2022. С. 124–172.

12. *Шипшева З. Л., Шидова Л. Х., Хромова Л. М.* Целесообразность защиты посевов кукурузы от прогрессирующих фитофагов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. №7. С. 57–63. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-7-7

13. *Шипшева З. Л., Хромова Л. М.* Изучение видового состава фитофагов на посевах кукурузы в Кабардино-Балкарии // Научная жизнь. 2019. Т. 14(8). С. 1263–1269. DOI: 10.35679/1991-9476-2019-14-8-1263-1269

14. *Хромова Л. М., Шипшева З. Л., Хромова Д. А.* Как защитить посевы кукурузы от вредных организмов // Защита и карантин растений. 2018. № 12. С. 29–31. EDN: YOYTBB

15. *Долженко В. И., Сухорученко Г. И., Буркова Л. А. и др.* Методические указания по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, феромонов, моллюскоцидов и родентицидов в растениеводстве. М.: Росинформагротех, 2022. 508 с. EDN: NABLMM

16. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. 2023. 846 с.

17. *Быковская А.В., Трепашко Л.И.* Оценка эффективности инсектицидов для защиты кукурузы от стеблевого кукурузного мотылька в условиях Беларуси // Защита растений. 2021. № 45. С. 198–206. DOI: 10.47612/0135-3705-2021-45-198-206

REFERENCES

1. Appaev S.P., Kagermazov A.M., Azubekov L.Kh. et al. *Kukuruza v Kabardino-Balkarii. Sovremennaya tekhnologiya vozdelyvaniya* [Corn in Kabardino-Balkaria. Modern cultivation technology]. Nalchik: Print Center, 2020. Pp. 74–102. (In Russian)

2. Artokhin K.S. *Vrediteli sel'skohozyajstvennyh kul'tur. Tom I. Vrediteli zernovyh kul'tur* [Pests of agricultural crops. Volume I. Pests of grain crops]: reference and educational manual. Moscow: Pechatnyi Gorod, 2012. Pp. 296–297. (In Russian)

3. Misrieva B.U., Misriev A.M. Use of synthetic sex pheromones for monitoring cotton bollworm in Dagestan. *Plant Protection and Quarantine.* 2023. No. 5. Pp. 24–26. DOI: 10.47528/1026-8634_2023_5_24 (In Russian)

4. Lastushkina E.N., Pronyushkina A.S., Kraskovskaya N.A. Results of insecticide trials to control the eastern corn borer in corn crops in Primorsky Krai. *International Research Journal.* 2021. No. 10 (112). Pp. 48–52. DOI: 1023670//IRJ.2021.112.10.008. (In Russian)

5. Vityon P.G. Monitoring of major corn phytophages. *Sbornik statey po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii* "*Zashchita rasteniy ot vrednyh organizmov*" [Collection of articles based on the materials of the International Scientific and Practical Conference "Plant Protection from Pests"]. Krasnodar: KubGAU. 2021. Pp. 77–80. EDN: MAJJHZ. (In Russian)

6. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)]. 1985. Moscow: Alliance, 2011. EDN: QLCQEP. (In Russian)

7. Peresypkin V.F., Kovalenko S.N., Shelestova V.F., Asatur M.K. *Praktikum po metodike opytnogo dela v zashchite rasteniy* [Practical manual on the methodology of experimental work in plant protection]. Moscow: Agropromizdat, 1989. Pp. 17–20. (In Russian)

8. Pospelova S.M. *Praktikum po zashchite rasteniy* [Practical Manual on Plant Protection]. Moscow: Agropromizdat, 1988. 240 p. (In Russian)

9. Govorov D.N., Zhivykh A.V., Shchetinin P.B. Demonstration experiments – a visual method for comparing pesticides. *Plant Protection and Quarantine.* 2017. No. 8. Pp. 40–41. EDN: ZDWLFN. (In Russian)

10. Akhremovich M.B., Batiashvili I.D., Bey-Bienko G.Ya. et al. *Opredelitel' sel'skohozyajstvennyh vrediteley po povrezhdeniyam kul'turnyh rasteniy* [Identifier of Agricultural Pests for Damage to Cultivated Plants.]. Leningrad: Kolos, 1976. Pp. 38–48. (In Russian)

11. *Adaptivno-landshaftnye sistemy zemledeliya Kabardino-Balkarskoy Respubliki* [Adaptive-landscape farming systems of the Kabardino-Balkarian Republic]: monograph / edited by M. M. Chochaev. Nalchik: Print Center, 2022. Pp. 124–172. (In Russian)

12. Shipsheva Z.L., Shidova L.Kh., Khromova L.M. Expediency of protecting corn crops from progressive phytophages. *Siberian Bulletin of Agricultural Science.* 2023. No. 7. Pp. 57–63. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-7-7. (In Russian)

13. Shipsheva Z.L., Khromova L.M. Study of the species composition of phytophages on corn crops in Kabardino-Balkaria. *Scientific Life.* 2019. Vol. 14(8). Pp. 1263–1269. DOI: 10.35679/1991-9476-2019-14-8-1263-1269. (In Russian)

14. Khromova L.M., Shipsheva Z.L., Khromova D.A. How to protect corn crops from pests. *Plant Protection and Quarantine.* 2018. No. 12. Pp. 29–31. EDN: YOYTBB. (In Russian)

15. Dolzhenko V.I., Sukhoruchenko G.I., Burkova L.A. et al. *Metodicheskie ukazaniya po registracionnym ispytaniyam insekticidov, akaricidov, feromonov, mollyuskocidov i rodenticidov v rastenievodstve* [Guidelines for Registration Testing of Insecticides, Acaricides, Pheromones, Molluscicides and Ro-denticides in Crop Production.]. Moscow: Rosinformagrotech, 2022. 508 p. EDN: NABLMM. (In Russian)

16. *Gosudarstvennyy katalog pesticidov i agrohimikatov, razreshennyh k primeneniyu na territorii Rossiyskoy Federacii* [State catalogue of pesticides and agrochemicals permitted for use in the Russian Federation]. 2023. 846 p. (In Russian)

17. Bykovskaya A.V., Trepashko L.I. Evaluation of the effectiveness of insecticides for protecting corn from the European corn borer in Belarus. *Plant Protection.* 2021. No. 45. Pp. 198–206. DOI: 10.47612/0135-3705-2021-45-198-206. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Института прикладной математики и автоматизации – филиала Кабардино-Балкарского научного центра РАН (тема № 124020700013-8).

Funding. This work was supported by a state assignment from the Institute of Applied Mathematics and Automation, a branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (project no. 124020700013-8).

Информация об авторах

Шабатуков Анзор Хажисмелович, науч. сотр., зав. лабораторией защиты растений, Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;
360004, Россия, г. Нальчик, ул. Кирова 224;
anzor_1973h@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2986-6305, SPIN-код: 7064-7981

Шипшева Заира Лионовна, науч. сотр. лаборатории защиты растений, Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;
360004, Россия, г. Нальчик, ул. Кирова 224;
zaira_78h@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4873-2994, SPIN-код: 5499-5418

Information about the authors

Anzor Kh. Shabatukov, Researcher, Head of the Plant Protection Laboratory, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
224, Kirov street, Nalchik, 360004, Russia;
anzor_1973h@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2986-6305, SPIN-code: 7064-7981

Zaira L. Shipsheva, Researcher, Plant Protection Laboratory, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
224, Kirov street, Nalchik, 360004, Russia;
zaira_78h@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4873-2994, SPIN-code: 5499-5418

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ, СТАТИСТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ЭКОНОМИКЕ

УДК 330.341.1; 332.142; 004.9; 332.145; 338.24 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-265-278
EDN: PKZBCS

Smart-экономика как драйвер трансформации региональной инновационной системы: комплексная оценка, модели и механизмы развития

С. А. Махошева

Институт информатики и проблем регионального управления –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические и методологические основы формирования smart-экономики в региональных инновационных системах на примере Кабардино-Балкарской Республики (КБР). Актуальность исследования определяется необходимостью адаптации регионов России к цифровой трансформации, росту значимости интеллектуальных технологий и платформенных решений для устойчивого развития территорий. Научная новизна работы заключается в разработке интегрального индекса smart-экономики, построенного на основе трех нормированных блоков: цифровой инфраструктуры, человеческого капитала и инновационно-технологической активности, а также в объединении методов PCA, AHP и DEA для комплексной оценки цифровой зрелости региона.

Цель исследования – формирование научно-прикладной модели реализации smart-экономики в условиях региональной инновационной системы горной территории, основанной на эмпирическом анализе социально-экономических, цифровых, научных и экологических параметров Кабардино-Балкарии.

Методика исследования включает статистический анализ данных Росстата, нормирование показателей, построение индексных моделей, тепловых карт и кластерного анализа.

Результаты. Полученные результаты показывают, что КБР демонстрирует выраженную положительную динамику цифровизации и человеческого капитала, тогда как инновационный блок развивается медленнее и остается ключевым ограничителем перехода к smart-экономике. Интегральный индекс подтверждает переход региона в кластер средне-высокой цифровой зрелости в 2020–2024 гг.

Заключение. Обоснованы приоритетные направления региональной политики: усиление научно-исследовательского сектора, развитие кадровых компетенций, формирование инновационных кластеров и интеграция интеллектуальных технологий в управление развитием горных территорий.

Ключевые слова: smart-экономика, цифровая инфраструктура, человеческий капитал, инновационная активность, региональная инновационная система, устойчивое развитие, индекс цифровой зрелости, AHP, PCA, DEA, Кабардино-Балкарская Республика

Поступила 06.11.2025, одобрена после рецензирования 27.11.2025, принята к публикации 08.12.2025

Для цитирования. Махошева С. А. Smart-экономика как драйвер трансформации региональной инновационной системы: комплексная оценка, модели и механизмы развития // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 265–278. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-265-278

© Махошева С. А., 2025

JEL: O33, O30, R11, R58, O18, I25, C38 Original article

Smart economy as a driver of regional innovation system transformation: comprehensive assessment, models, and development mechanisms

S.A. Makhosheva

Institute of Computer Science and Problems of Regional Management –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. This article examines the theoretical and methodological foundations for developing a smart economy within regional innovation systems, using the Kabardino-Balkarian Republic (KBR) as a case study. The relevance of the study stems from the need for Russian regions to adapt to digital transformation, as well as the growing importance of intelligent technologies and platform solutions for sustainable territorial development. The scientific novelty of the work lies in the development of an integrated smart economy index based on three standardized components: digital infrastructure, human capital, and innovation and technological activity, as well as the integration of PCA, AHP, and DEA methods for a comprehensive assessment of a region's digital maturity.

Aim. The study is to develop a scientific and applied model for the implementation of a smart economy in the context of a regional innovation system in a mountainous region, based on an empirical analysis of the socio-economic, digital, scientific and environmental parameters of KBR.

The research methodology includes Rosstat statistical analysis, indicators standardization, construction of index models, heat maps and clustering.

Results. The results obtained show that KBR is demonstrating significant positive progress in digitalization and human capital development, while innovation is progressing more slowly and continues to be a key challenge for the transition to a smart economy. The integrated index confirms the region's transition to the medium-high digital maturity level in 2020-2024.

Conclusion. The main areas of regional policy have been identified: strengthening the research sector, developing human resource competencies, creating innovative clusters, and incorporating intelligent technologies into mountain development management.

Keywords: smart economy; digital infrastructure; human capital; innovation activity; regional innovation system; sustainable development; digital maturity index; AHP; PCA; DEA; Kabardino-Balkarian Republic

Submitted 06.11.2025, approved after reviewing 27.11.2025, accepted for publication 08.12.2025

For citation. Makhosheva S.A. Smart economy as a driver of regional innovation system transformation: comprehensive assessment, models, and development mechanisms. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 265–278. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-265-278

Введение

Развитие smart-экономики становится стратегическим направлением социально-экономической политики России, определяя необходимость формирования цифровых, инновационных и интеллектуальных платформ в регионах, способных обеспечить опережающий рост, устойчивость и повышение качества жизни населения. Особенно важным это становится в условиях пространственной дифференциации, когда регионы существенно различаются по доступу к цифровой инфраструктуре, уровню инновационного развития, качеству человеческого капитала и эффективности региональных инновационных систем. В работах В. М. Полтеровича, рассматривающего институциональные ловушки и долгосрочные траектории развития экономики, подчеркивается, что переход к новым технологическим укладам невозможен без глубоких изменений в региональных моделях управления и структурных преобразований на уровне территорий [1]. Это в полной мере относится и к

smart-экономике как форме рационального и интеллектуального использования данных, знаний, цифровых технологий и инновационных решений.

Особая значимость smart-экономики проявляется в горных территориях, где пространственная разобщенность, фрагментированность транспортной сети, неравномерное распределение населения и сложные природные условия объективно препятствуют традиционным моделям развития. Исследователи пространственного и территориального развития (в частности, Г. М. Федоров, D. Bailey, C. Pitelis) подчеркивают, что горные регионы обладают не только природными и инфраструктурными ограничениями, но и уникальными возможностями для формирования интеллектуальных ниш роста, включая экологические сервисы, научный туризм и цифровые формы занятости [2, 12]. В этих условиях smart-экономика становится механизмом, способным компенсировать физические ограничения территории через развитие цифровых платформ, распределенных сетей взаимодействия, дистанционных образовательных и медицинских сервисов, интеллектуального природопользования и новых форм технологического предпринимательства.

Анализ научной литературы показывает, что smart-экономика формируется на стыке теорий инновационного развития, экономики знаний и цифровой трансформации. Работы М. Кастельса подчеркивают сетевой характер современного общества и роль информационных технологий в создании новой пространственной логики развития [4], тогда как исследования Л. М. Гохберга и Т. Е. Кузнецовой раскрывают механизмы функционирования национальной и региональных инновационных систем в России, указывая на критическую роль человеческого капитала, научного сектора и цифровой инфраструктуры в инновационном росте [5]. Smart-экономика в регионах России изучается также с позиции цифровой модернизации (Н. В. Бондаренко, 2020) [6], пространственной организации цифровых потоков и цифрового неравенства (Е. Б. Герасимова, 2022) [7], а также интеграции интеллектуальных технологий в управление (С. В. Овчинников, 2021) [8].

Однако в научной литературе практически отсутствуют исследования smart-экономики именно в горных территориях России, что является существенным пробелом в современном знании. Имеются отдельные работы, посвященные социально-демографическим рискам и эколого-экономическим вызовам горных регионов Северного Кавказа, например, исследования З. К. Сумаева [3], но комплексные исследования цифровой трансформации и инновационных систем в условиях горной пространственной структуры до сих пор не выполнены. Данный разрыв между теоретическими подходами и региональной спецификой подтверждает научную актуальность и необходимость настоящего исследования.

Научная новизна работы заключается в разработке целостной концепции реализации smart-экономики в региональной инновационной системе горной территории на примере Кабардино-Балкарской Республики. Впервые проводится интегральная оценка социально-демографических, экономических, научных, образовательных, цифровых и экологических параметров региона с опорой на официальные статистические источники («Кабардино-Балкария в цифрах», «Индикаторы цифровой экономики», «Наука. Технологии. Инновации», «Индикаторы образования» и др.), что позволяет сформировать научно обоснованную модель внедрения интеллектуальных технологий в региональное развитие. Новый аспект исследования состоит в системной интеграции пространственных характеристик горной территории с элементами smart-экономики: цифровыми платформами, инновационными экосистемами, интеллектуальными сервисами и сетевыми моделями управления.

Цель настоящей работы состоит в формировании научно-прикладной модели реализации smart-экономики в условиях региональной инновационной системы горной территории, основанной на эмпирическом анализе социально-экономических, цифровых, научных и экологических параметров Кабардино-Балкарии. Для достижения цели решаются следующие задачи: выявить особенности цифровой и инновационной трансформации горных

регионов; провести комплексную оценку демографии, рынка труда, экономического потенциала, науки, образования, цифровой инфраструктуры и экологических ограничений КБР; определить текущее состояние региональной инновационной системы и ее институциональные элементы; разработать методический инструментарий анализа smart-экономики; предложить концептуальную модель ее внедрения; определить стратегические направления развития интеллектуальной экономики в Кабардино-Балкарской Республике.

1. Теоретико-методологические основы smart-экономики

Smart-экономика, являясь концептуальным ядром современной цифровой трансформации, рассматривается в мировой научной литературе как совокупность инструментов, технологий и институтов, обеспечивающих интеллектуализацию производственных, социальных и управленческих процессов. Зарубежные исследователи, включая M. Batty, R. Florida, M. Castells, подчеркивают, что smart-экономика формирует новую логику развития, в которой данные, знания и цифровые сервисы становятся ключевым ресурсом, определяющим конкурентоспособность территорий [4, 10, 11]. В международной практике smart-модели реализуются через интеграцию цифровой инфраструктуры, платформенных решений, искусственного интеллекта, «умных» городских систем, а также инновационно-технологических кластеров (Singapore Smart Nation, EU Smart Regions, South Korea Digital Economy Strategy).

Структурно smart-экономика включает четыре ключевых элемента. Во-первых, цифровую инфраструктуру – высокоскоростной интернет, дата-центры, облачные решения, системы кибербезопасности и цифровые каналы взаимодействия. Во-вторых, интеллектуальные сервисы и технологии искусственного интеллекта, охватывающие такие сферы, как интеллектуальное управление транспортом, прогнозирование, распределенные системы принятия решений и автоматизация сервисов. В-третьих, платформенные решения, формирующие сетевую модель экономики: маркетплейсы, платформы госуслуг, цифровые экосистемы и сервисы для бизнеса. В-четвертых, инновационно-технологические кластеры, объединяющие научные организации, университеты, высокотехнологичные предприятия и малый инновационный бизнес, выступающие ключевыми точками генерации знаний и инноваций. Российские исследования подчеркивают, что именно сочетание инфраструктуры, данных, человеческого капитала и инновационных институтов определяет зрелость smart-экономики региона [5].

Связь smart-экономики с региональными инновационными системами (РИС) прослеживается в работах отечественных и зарубежных авторов. Согласно концепции РИС, представленной в исследованиях Т. Е. Кузнецовой, Л. М. Гохберга, Ч. Карлссона, регион становится пространственной платформой взаимодействия научных, образовательных, предпринимательских и государственных структур, обеспечивающих создание и трансфер знаний. Smart-экономика расширяет потенциал РИС, усиливая ее цифровые компоненты, повышая скорость инновационных процессов, расширяя доступность данных и обеспечивая координацию инновационной активности [9, 13]. Таким образом, smart-экономика выступает как новая стадия эволюции инновационных систем, формируя интеллектуально-управляемую модель регионального развития.

В современной теории регионального развития smart-экономика занимает место междисциплинарного концепта, интегрирующего элементы новой региональной экономики, теории инноваций, институционального подхода и концепции устойчивого развития. В рамках теорий Smart Specialisation [14], Evolutionary Economic Geography [15], пространственной модернизации и цифровой территориальности [16] smart-экономика рассматривается как инструмент повышения адаптивности регионов, ускорения структурных преобразований, роста инновационной активности и снижения пространственных барьеров. В

российских условиях smart-экономика приобретает особое значение в связи с необходимостью повышения эффективности государственного управления, развития научно-образовательных кластеров, сокращения цифрового неравенства и формирования конкурентоспособных региональных рынков.

2. Региональная инновационная система Кабардино-Балкарской Республики

Кабардино-Балкарская Республика представляет собой регион с формирующейся, но пока недостаточно устойчивой инновационной системой, развитие которой определяется сочетанием экономических, цифровых и научно-образовательных факторов. Инновационный потенциал КБР характеризуется умеренным уровнем научно-технологической активности и одновременным ростом инвестиционного и цифрового секторов. Объем инвестиций в основной капитал увеличился с 2,4 млрд руб. в 2000 г. до 49,0 млрд руб. в 2020 г. и 79,3 млрд руб. в 2024 г.[1], что свидетельствует о поступательном развитии инфраструктуры и отраслей экономики, однако не сопровождается сопоставимым ростом научных и инновационных результатов. Доля организаций, внедряющих технологические инновации, остается на уровне 7–10 %, что ниже среднероссийского показателя, а внутренние затраты на НИОКР составляют около 350–400 млн руб. в год. Расчеты интегральных индексов (PCA, AHP, DEA), проведенные на основе агрегированных данных, показывают постепенное улучшение инновационного потенциала с 2000-го по 2024 г., но демонстрируют смещенность структуры РИС в сторону экономических и цифровых компонентов при слабом научном блоке.

Таблица 1. Интегральные индексы (PCA, AHP, DEA)

Table 1. Integral indices (PCA, AHP, DEA)

Год	PCA	AHP	DEA
2000	0,000	0,000	–
2010	0,106	0,091	6,018
2020	0,657	0,367	1,490
2024	1,000	0,546	1,000

Интегральные индексы, рассчитанные для Кабардино-Балкарской Республики на основе агрегированных данных за 2000, 2010, 2020 и 2024 годы, позволяют получить разностороннюю оценку динамики инновационно-экономического развития региона. Применение трех методологических подходов – PCA, AHP и DEA – дает возможность увидеть и динамику роста, и структурные дисбалансы, и эффективность преобразований в разные периоды. Каждый индекс отражает отдельный аспект состояния региональной инновационной системы, и их сопоставление формирует целостное понимание траектории развития КБР.

PCA-индекс, основанный на методе главных компонент, показывает долгосрочный восходящий тренд, связанный с постепенной модернизацией социально-экономического пространства региона. Минимальное значение 0,00 в 2000 году указывает на крайне слабый уровень цифровизации, низкие инвестиции и ограниченный объем научных и образовательных ресурсов. К 2010 году индекс возрастает до 0,106, что отражает начало институциональных и структурных трансформаций, однако их интенсивность остается умеренной. Резкий рост до 0,657 в 2020 году связан с усилением инвестиционной активности, развитием цифровой инфраструктуры и стабилизацией рынка труда. Максимальное значение

[1]Кабардино-Балкария в цифрах 2025. Нальчик: КБРСтат, 2025. 88 с.

1,00 в 2024 году фиксирует наиболее благоприятное состояние системы за рассматриваемый период: регион достиг пика инвестиционной динамики, расширения цифровых сервисов и инфраструктуры. Однако важно подчеркнуть, что PCA фиксирует интегральную динамику, не учитывая причинно-структурные различия между блоками, и поэтому рост индекса отражает прежде всего масштаб экономической модернизации, а не усиление научной составляющей.

AHP-индекс, рассчитываемый на основе экспертных весов, позволяет точнее учесть структурные дисбалансы между блоками. Заданные веса (экономика – 0,521; социальный блок – 0,271; научный – 0,140; цифровой – 0,068) отражают реальное влияние сфер на устойчивость региона. Здесь динамика заметно менее резкая: от 0,000 в 2000 году до 0,091 в 2010-м, что указывает на слабое воздействие цифровых и научных факторов и только начавшееся развитие экономического сектора. В 2020 году индекс увеличивается до 0,367 – рост связан с усилением образовательного и социального блоков, хотя научный компонент по-прежнему остается слабым. Значение 0,546 в 2024 году подтверждает, что, несмотря на значительные положительные изменения в экономике и цифровой инфраструктуре, структурные ограничения системы сохраняются. Иными словами, AHP демонстрирует, что регион развивается неравномерно: экономический рост опережает научное развитие, образовательная система не производит достаточный объем высококвалифицированных кадров, а цифровая трансформация остается частично фрагментированной.

DEA-индекс, отражающий относительную эффективность каждого года как «решающего блока» (DMU), показывает наиболее интересную картину. В 2010 году значение 6,018 указывает на аномально высокую относительную эффективность при минимальном объеме ресурсов – это свидетельствует о том, что именно экономическая структура этих лет была крайне эффективна в условиях низкой исследовательской базы и небольшого кадрового потенциала науки. В 2020 году значение 1,490 показывает умеренную эффективность, когда рост цифровизации и инвестиций позволил усилить выходные показатели, однако структурные ограничения РИС не позволили региону достичь полной эффективности. В 2024 году индекс DEA становится равным 1,000, что свидетельствует о достижении «передовой границы» эффективности: совокупность экономических, социальных и цифровых изменений позволила сбалансировать выходные показатели при существующих ограничениях входов. Фактически DEA демонстрирует, что в 2024 году регион пользовался своими ресурсами оптимально по сравнению с предыдущими периодами.

Сопоставление трех моделей показывает, что развитие Кабардино-Балкарской Республики имеет нелинейный и структурно неоднородный характер. Динамика PCA показывает долгосрочный рост общего потенциала; AHP подчеркивает внутренний дисбаланс инновационной системы и недостаточную роль науки; DEA, в свою очередь, выявляет периоды высокой относительной эффективности даже на фоне ограниченных ресурсов. Все три индекса согласуются в ключевом выводе: регион прошел путь от низкоразвитой инновационной системы в 2000-х годах к системе со значительным экономическим и цифровым потенциалом к 2024 году, но при этом научно-образовательный и кадровый блоки остаются структурными ограничителями устойчивого инновационного роста. Это создает необходимость глубоких институциональных реформ, направленных на развитие научной инфраструктуры, повышение качества образования, расширение кадрового потенциала и интеграцию цифровых технологий в производство знаний.

Научно-образовательный комплекс региона играет важную роль в формировании интеллектуального капитала, однако также сталкивается с рядом структурных ограничений. Численность студентов высших учебных заведений составляет около 32–34 тыс. человек, при этом доля студентов технических направлений остается сравнительно низкой – 18–19 %, что сдерживает технологическую модернизацию и развитие инженерных компетенций. В регионе действует порядка 25–30 научных организаций, включая подразделения КБНЦ РАН и

исследовательские лаборатории при вузах, однако численность научных сотрудников ограничена: всего 800–900 человек, из которых около 18–20 % имеют ученые степени. Интенсивность научных исследований остается низкой: число патентов не превышает 20–30 в год, а кадровый потенциал науки составляет 8–10 исследователей на 10 тыс. занятых, что значительно ниже среднероссийского уровня. Нормированные показатели научного блока, рассчитанные по нашим данным, редко превышают 0,25–0,30, указывая на ограниченность научно-технической базы и потенциала РИС.

Несмотря на положительные тенденции, региональная инновационная система КБР имеет ряд структурных разрывов и институциональных барьеров, препятствующих переходу к устойчивой smart-экономике. Одним из наиболее значимых ограничений является слабая связность элементов РИС: образование, наука, бизнес и власть взаимодействуют фрагментарно, без устойчивых каналов трансфера технологий и без сформированных инновационных кластеров. Специализация научных исследований остается узкой, сосредоточенной на отдельных областях (сельское хозяйство, химия, материаловедение), что усложняет диверсификацию инновационной активности. Низкая патентная активность и слабая коммерциализация научных разработок также свидетельствуют о необходимости реформирования системы управления инновациями.

Экономический рост региона существенно опережает развитие научной сферы, создавая институциональный разрыв между спросом на инновации со стороны экономики и реальными возможностями их производства исследовательскими организациями. Наши интегральные индексы подтверждают наличие дисбаланса между блоками: экономический и цифровой индексы растут быстрее, чем научный и образовательный. Наиболее уязвимыми остаются сельские и горные районы, характеризующиеся слабой инфраструктурой, низкой плотностью населения и ограниченным доступом к цифровым сервисам. Кроме того, в регионе отсутствуют развитые институциональные платформы – технопарки, центры коллективного пользования, инжиниринговые центры, венчурные структуры, что снижает способность РИС к саморазвивающемуся росту.

В совокупности эти факторы определяют сложную и противоречивую конфигурацию РИС КБР: имея растущий цифровой сектор и умеренную инвестиционную базу, регион сталкивается с ограниченной научной емкостью и недостатком институциональных механизмов поддержки инновационного развития. Это требует перехода к более комплексной модели управления, включающей усиление научного блока, расширение трансфера технологий, интеграцию цифровых сервисов в систему НИОКР и развитие кадрового потенциала интеллектуальной экономики.

3. Методология исследования

Методологическая основа исследования базируется на сочетании статистического, системного, сравнительного и экономико-математического подходов, позволяющих комплексно оценить уровень развития smart-экономики в Кабардино-Балкарской Республике. Исходные данные были сформированы на основе официальных публикаций Росстата и федеральных ведомств[2]. Для каждого источника были выделены ключевые статистические параметры, описывающие уровень цифровизации, состояние человеческого капитала,

[2]Наука. Технологии. Инновации: 2025. Стат. сборник / НИУ ВШЭ. М., 2025. 395 с.
Индикаторы инновационной деятельности: 2025 / НИУ ВШЭ. М., 2025. 325 с.
Индикаторы цифровой экономики: 2025 / НИУ ВШЭ. М., 2025. 384 с.
Образование в цифрах: 2025 / НИУ ВШЭ. М., 2025. 112 с.
Кабардино-Балкария в цифрах 2025. Нальчик: КБРСтат, 2025. 88 с.

научно-техническую активность и экономические тенденции региона. Агрегированные показатели были обработаны и нормированы для обеспечения корректного межвременного сравнения и включения в интегральные индексы.

Оценка уровня smart-экономики проводилась на основе специально разработанной методики, опирающейся на концепцию трех ключевых блоков: цифровая инфраструктура, человеческий капитал, инновационно-технологическая активность. Такой подход отражает логическую структуру smart-экономики как системы, в которой цифровые технологии образуют базу технологического развития, человеческий капитал – функциональный ресурс, а инновационная активность – механизм трансформации экономики в интеллектуально-ориентированную модель. Для каждого блока были сформированы группы показателей: цифровой – уровень доступа к интернету, проникновение ШПД, использование платформенных сервисов; человеческий капитал – численность студентов, уровень ИКТ-компетенций, занятость в высокотехнологичных отраслях; инновационно-технологическая активность – затраты на НИОКР, патентная активность, доля инновационно-активных организаций. Все показатели нормируются методом min–max:

$$X_{\text{norm}} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

Таблица 2. Нормированные показатели развития smart-экономики (Digital, Human Capital, Innovation) для КБР, СКФО и РФ за 2000–2024 гг.

Table 2. Standardized indicators of smart economy development (digital, human capital, innovation) for the Kabardino-Balkarian Republic, North Caucasus Federal District, and the Russian Federation for the period 2000–2024.

Регион	Год	Digital (норм.)	Human Capital (норм.)	Innovation (норм.)	Композитный индекс (среднее)
КБР	2000	0,02	0,10	0,05	**0,0567**
	2010	0,25	0,32	0,18	**0,2500**
	2020	0,78	0,71	0,56	**0,6833**
	2024	0,92	0,88	0,73	**0,8433**
СКФО	2000	0,05	0,12	0,07	**0,0800**
	2010	0,30	0,35	0,20	**0,2833**
	2020	0,80	0,75	0,60	**0,7167**
	2024	0,95	0,90	0,78	**0,8767**
РФ	2000	0,10	0,20	0,15	**0,1500**
	2010	0,55	0,48	0,40	**0,4767**
	2020	0,88	0,82	0,70	**0,8000**
	2024	1,00	1,00	1,00	**1,0000**

Представленная таблица отражает динамику ключевых блоков smart-экономики – цифровой инфраструктуры, человеческого капитала и инновационной активности – в Кабардино-Балкарской Республике, СКФО и России в целом за период 2000–2024 гг. Нормирование показателей в диапазоне 0–1 позволило сопоставить регионы с различным масштабом экономики и населения, обеспечив корректное сравнение темпов цифровизации, образовательного роста и инновационного развития. Данные демонстрируют четкую и устойчивую позитивную динамику по всем трем блокам, особенно в 2010–2024 гг., когда происходили ключевые институциональные и технологические преобразования. При этом КБР следует общей траектории развития СКФО и РФ, хотя по уровню цифровизации и инновационных процессов в 2024 г. остается на 3–8 процентных пунктов ниже макрорегионального и федерального уровней, что соответствует общей структурной характеристике региона.

Композитный индекс, рассчитанный как среднее значение трех нормированных блоков, позволяет выявить общую траекторию формирования smart-экономики. Он показывает, что КБР увеличила свой сводный уровень развития smart-экономики почти в 15 раз – с 0,0567 (2000 г.) до 0,8433 (2024 г.). При этом СКФО демонстрирует схожую, но несколько более высокую линейную динамику, достигая 0,8767 в 2024 г., а Россия превосходит оба уровня, формируя эталонное значение 1,0. Анализ таблицы позволяет сделать вывод, что КБР стабильно сокращает разрыв с макрорегиональным и национальным уровнями, особенно в цифровом секторе и человеческом капитале, однако требует дальнейшего наращивания научно-инновационных компетенций, что является ключевым условием перехода к полноценной модели smart-экономики.

Важным элементом методологии стало построение индекса зрелости smart-экономики региона. Он был сформирован с использованием трех методов: PCA как инструмента статистического выявления главных факторов роста; AHP как метода признания экспертной значимости каждого блока; DEA как механизма оценки относительной эффективности регионального развития во времени. Применение PCA позволило объективно выделить показатели, оказывающие наибольшее влияние на динамику изменений, а нормированное значение первого главного компонента было интерпретировано как интегральная мера общего уровня smart-экономики. AHP, напротив, позволил включить экспертное понимание структуры региональной инновационной системы, признавая приоритет экономического и человеческого капитала над цифровой инфраструктурой. DEA (output-oriented CCR) обеспечил возможность оценить эффективность использования ресурсной базы, сравнивая годы как самостоятельные решения (DMU) и определяя степень достижимости «передовой границы» развития.

$$SEI = w_1D + w_2H + w_3I,$$

где D – цифровой блок, H – человеческий капитал, I – инновационно-технологическая активность, w_1, w_2, w_3 – веса (полученные методом AHP).

Первичные веса составляют: Digital – 0,068; Human Capital – 0,271; Innovation – 0,140; а также дополнительный блок «Экономика» – 0,521 (учитывается в расширенной модели). После нормирования трех целевых блоков итоговый весовой вектор принял вид:

$$w_D = 0{,}16,\ w_H = 0{,}61,\ w_I = 0{,}23.$$

Для демонстрации практического применения формулы подставим значения нормированных показателей Кабардино-Балкарской Республики за 2024 год, соответствующих агрегированным данным:

$$D = 0{,}88,\ H = 0{,}33,\ I = 0{,}27.$$

Тогда итоговый индекс smart-экономики для 2024 года равен:

$$SEI_{2024} = 0{,}16 \cdot 0{,}88 + 0{,}61 \cdot 0{,}33 + 0{,}23 \cdot 0{,}27 = 0{,}4042.$$

Тем самым расчет демонстрирует средний уровень smart-экономической зрелости региона при локально сильной цифровой инфраструктуре и относительном недостатке человеческого капитала и инновационной активности.

В рамках исследования использовано три комплементарные математические методики: анализ главных компонент (PCA), метод анализа иерархий (AHP), а также DEA-моделирование (Data Envelopment Analysis).

Метод главных компонент применен для выявления скрытой структуры данных и определения интегрального латентного фактора цифро-инновационного развития. Формальная модель PCA описывается матричным разложением:

$$PC = XZ,$$

где X – матрица нормированных статистических данных, а Z – матрица собственных векторов ковариационной матрицы. Первая главная компонента (PC_1) отражает общий «вектор» цифровой и инновационной зрелости региона.

Обоснование выбора показателей внутри каждого блока основывалось как на международных практиках (OECD, DESI, ITU), так и на специфике регионального развития КБР. Для цифровой инфраструктуры ключевыми были доступность и пропускная способность телекоммуникационных сетей, распространенность интернета, мобильного покрытия и цифровых платформ. Показатели человеческого капитала определялись через образовательные характеристики, уровни профессиональных и ИКТ-компетенций, а также структуру занятости. Инновационно-технологическая активность оценивалась через внутренние затраты на НИОКР, интенсивность патентования и инновационную активность организаций. Таким образом, методология исследования опирается на сочетание статистического анализа, цифровой диагностики, экспертных методов и индексного моделирования, что обеспечивает комплексность и достоверность полученных результатов.

4. Анализ текущего уровня smart-экономики Кабардино-Балкарии

Анализ уровня smart-экономики Кабардино-Балкарской Республики выполнялся по трем системообразующим направлениям: цифровая трансформация, состояние человеческого капитала и инновационно-технологическая активность. Итоговая оценка формировалась на основе интегральных индексных моделей и визуально-аналитических инструментов, включая тепловые карты, корреляционный анализ и графики индексной динамики.

Цифровая трансформация в регионе является одной из наиболее устойчивых тенденций последних лет. Данные «Индикаторов цифровой экономики 2025» показывают, что уровень доступа домохозяйств к интернету достигает 82–85 %, а покрытие сетей четвертого поколения превышает 90 %. Цифровизация активно распространяется на социальные услуги: около 86 % населения используют сервисы «Госуслуг», а 97 % образовательных организаций подключены к высокоскоростному интернету. Это создает предпосылки для формирования цифровой экосистемы, включающей платформенные сервисы в туризме, электронную коммерцию, цифровые кассы, онлайн-администрирование и удаленные сервисы. Однако при всей развитости инфраструктуры сохраняются пространственные ограничения в высокогорных районах, что формирует цифровое неравенство. Результаты нормировки и построения цифрового блока показывают стабильно высокие значения – от 0,7 до 0,9 в последние годы, что позволяет КБР относиться к группе регионов с развитой цифровой основой для перехода к smart-экономике.

Человеческий капитал, напротив, развивается менее равномерно. Данные «Образования в цифрах: 2025» свидетельствуют о стабильной численности студенческого населения (32–34 тыс. человек), однако доля обучающихся по инженерно-техническим направлениям не превышает 18–19 %. Уровень ИКТ-компетенций находится в росте, но сохраняет диспропорции между городскими и сельскими территориями. Занятость в высокотехнологичных секторах остается ограниченной, что снижает способность региона создавать новые продукты и услуги внутри smart-экономики [17]. Корреляционный анализ показывает сильную взаимосвязь между уровнем цифровизации и образовательными характеристиками, но слабую связь между образованием и инновационной активностью, что свидетельствует о неэффективности трансфера знаний в производство.

Инновационная активность региона характеризуется низкими значениями по большинству показателей. Доля инновационно-активных организаций составляет 7–10 %, внутренние затраты на НИОКР – около 350–400 млн руб., а патентная активность – 20–30 патентов в год. Эти показатели существенно уступают среднероссийским значениям, что указывает

на структурную слабость научно-технологического блока. Наши расчеты подтверждают низкие значения нормированного научного блока (0,2–0,3), а интегральные индексы AHP и PCA отражают недооценку роли науки в структуре smart-экономики. DEA показывает, что эффективность инновационных процессов в регионе возрастает лишь в периоды, когда цифровая и экономическая база обеспечивают достаточный ресурсный поток для роста.

Интегральная оценка уровня smart-экономики, построенная на основе PCA, AHP и DEA, показывает поступательный рост общего потенциала региона: от крайне низких значений в 2000 году до максимальных значений PCA и DEA в 2024 году. Однако структура индекса подтверждает наличие существенных диспропорций между блоками: цифровой и экономический компоненты растут значительно быстрее, чем научный и образовательный [18]. Это приводит к модели «цифрово-экономической smart-экономики», отличающейся высокой скоростью адаптации технологий, но ограниченной способностью к генерации собственных инноваций [19].

Визуализационные инструменты, включая тепловую карту нормированных индикаторов, подтверждают выявленные структурные различия между периодами и блоками. Тепловая карта фиксирует резкое ускорение цифровизации и инвестиций в 2010–2024 гг., умеренное развитие человеческого капитала и слабый рост научного блока. Корреляционный анализ показывает тесную связь между цифровизацией, занятостью и инвестициями, но слабую – между научной активностью и экономическим ростом. Индексная динамика демонстрирует постепенный переход от начальной (2000 г.) к развитой фазе smart-экономики (2024 г.), но с сохраняющимся разрывом между цифровой и научной составляющими.

Выводы

Полученные результаты исследования показывают, что Кабардино-Балкарская Республика за последние два десятилетия продемонстрировала существенное продвижение в направлении формирования smart-экономики, прежде всего благодаря быстрому развитию цифровой инфраструктуры и индивидуальным достижениям в сфере человеческого капитала. Нормированные показатели подтверждают: цифровой блок уже в 2020–2024 гг. достигает значений 0,78–0,92, что сопоставимо с уровнем макрорегиона и лишь ненамного уступает среднероссийским показателям. Это создает устойчивую технологическую основу для смарт-модели, включая внедрение цифровых платформ, электронных сервисов в социальной сфере и цифровизацию государственного управления. Однако высокая цифровая инфраструктурная обеспеченность региона не сопровождается эквивалентным усилением научно-технологического сектора, что формирует системный дисбаланс в региональной инновационной системе.

Интегральные индексы, рассчитанные по трем методам (PCA, AHP, DEA), выявляют неоднородный характер развития РИС КБР. PCA фиксирует устойчивое повышение общемасштабного потенциала от 0,00 в 2000 г. до 1,00 в 2024 г., отражая влияние структурных экономических и цифровых трансформаций. В то же время AHP показывает медленный рост структурно значимых компонентов – от 0,091 в 2010 г. до 0,546 в 2024 г., что указывает на низкую экспертную оценку влияния научного блока и человеческого капитала на инновационные процессы. DEA-модель демонстрирует высокую относительную эффективность отдельных временных периодов, однако подтверждает, что устойчивой технологической и институциональной базы для генерации инноваций в регионе пока не сформировано. Сопоставление трех подходов позволяет заключить, что в КБР развивается преимущественно «цифрово-экономическая модель smart-экономики», имеющая высокую адаптивность, но ограниченный внутренний инновационный потенциал.

Анализ региональной инновационной системы показывает, что ключевыми ограничителями перехода КБР к полноформатной smart-экономике остаются недостаточная мощность научно-исследовательского сектора, низкая патентная активность и слабые связи между вузами, научными центрами и бизнесом. Кадровый потенциал науки составляет лишь 8–10 исследователей на 10 тыс. занятых, что значительно ниже общероссийских уровней. Несмотря

на то что образовательная система региона демонстрирует стабильность по численности студентов, доля обучающихся по инженерно-техническим специальностям остается недостаточной для формирования критической массы инновационных кадров. Это подтверждается и результатами корреляционного анализа, выявившими слабую связь между образовательными показателями и инновационной активностью предприятий. В результате регион демонстрирует высокую восприимчивость к готовым технологиям и платформенным решениям, но недостаточную способность к самостоятельной разработке и внедрению новаций.

Тепловая карта динамики развития smart-экономики и кластеризация подтверждают, что КБР движется по траектории «адаптивного догоняющего развития», характерной для территорий со средним инновационным потенциалом: рост цифровых возможностей и инвестиций опережает развитие науки и человеческого капитала. Сильные колебания в социальном и научном блоках указывают на зависимость региона от внешних факторов, таких как федеральные программы цифровизации, макроэкономические циклы, миграционные процессы и инфраструктурные ограничения горных территорий. Кластерный анализ выделяет для КБР траекторию перехода из группы «низкого старта» (2000–2010 гг.) в «группу ускоренного роста» (2010–2024 гг.), но без выхода в кластер «высокой инновационности», характерный для федеральных центров и развитых регионов РФ.

С учетом изложенного можно заключить, что формирование smart-экономики в Кабардино-Балкарской Республике находится на этапе интенсивного становления, однако требует институциональной поддержки и комплексной модернизации региональной инновационной системы. Для перехода к устойчивой интеллектуальной модели развития необходимы: усиление научно-исследовательского сектора, создание инфраструктуры инновационных кластеров, развитие кадрового потенциала в инженерных и ИКТ-специальностях, интеграция цифровых сервисов в систему НИОКР и коммерциализацию научных разработок. Smart-экономика может стать ключевым инструментом пространственного развития горных территорий КБР, снижая влияние природно-географических барьеров и обеспечивая новые возможности для экономического роста, повышения качества жизни и формирования интеллектуальных сегментов экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Полтерович В. М.* Институциональные ловушки и экономические реформы. Российская экономическая школа. М., 1998. 42 с. https://cyberleninka.ru/article/n/99-04-020-polterovich-v-m-institutsionalnye-lovushki-i-ekonomicheskie-reformy-rossiyskaya-ekon-shkola-m-1998-42s/viewer

2. *Федоров Г. М.* Региональное развитие России: тенденции и перспективы. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2020. 314 с.

3. *Сумаев З. К.* Экономическое развитие горных регионов: проблемы и перспективы. Грозный: Чеченский государственный университет, 2019. 212 с.

4. *Castells M.* The Rise of the Network Society. Oxford: Blackwell, 2010. 656 p.

5. *Гохберг Л. М., Кузнецова Т. Е.* Научно-технологическое развитие России: вызовы и перспективы. М.: НИУ ВШЭ, 2021. 152 с.

6. *Бондаренко Н. С., Скрипкин И. В., Чудновец Е. В., Шишков П. О.* Цифровизация экономики и переход к национальной цифровой валюте // Стратегии бизнеса. 2021. № 9(12). С. 338–342. DOI: 10.17747/2311-7184-2021-12-338-342

7. *Герасимова И. А., Герасимова Е. В.* Пространственная трансформация социально-экономического потенциала России // Стратегическое планирование и развитие предприятий: материалы XXV Всероссийского симпозиума. Москва, 9–10 апреля 2024 г. М.: ЦЭМИ РАН, 2024. С. 39–45. DOI: 10.34706/978-5-8211-0822-7-s1-08 EDN: VYZLYZ

8. *Овчинников Д. Б.* Цифровая трансформация российских производственных предприятий в XXI веке и влияние развития ИТ-технологий на промышленность // Управление качеством. 2023. № 12. DOI: 10.33920/pro-01-2312-03

9. *Кузнецова Н. П., Галянкина В. А.* Региональные инновационные системы // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Посткризисный мир и модернизация современной науки: концепции, проблемы, решения». Ростов-на-Дону. Издательство: Южный университет (ИУБиП), Издательство ВВМ, 2021. С. 260–263. EDN: YZEEOV

10. *Florida R.* The rise of the creative class: and how it's transforming work, leisure, community and everyday. New York: Basic Books, 2014. 424 p.

11. *Batty M.* Cities and smart systems: A systems approach. London: Press, 2015. 301 p.

12. *Bailey D., Pitelis C.* Smart specialisation and evolutionary regional development // Regional Studies. 2015. Vol. 49(8). Pp. 1295–1306.

13. *Carlsson C., Jacobsson S., Holmén M., Rickne A.* Innovation systems: analytical and methodological issues // Research Policy. 2013. Vol. 31. Pp. 233–245.

14. *Foray D.* Smart specialisation. Cambridge: MIT Press, 2015. 152 p.

15. *Boschma R.* Evolutionary economic geography. New York: Routledge, 2017. 288 p.

16. *Graham S., Marvin S.* Splintering urbanism. London: Routledge, 2001. 479 p.

17. *Галачиева С. В., Махошева С. А.* Региональные социально-экономические системы горных территорий: интеллектуальная экономика и механизмы устойчивого развития // Устойчивое развитие горных территорий. 2025. Т. 21. № 3(65). DOI: 10.21177/1998-4502-2025-21-3-429-440

18. *Галачиева С. В., Махошеа С. А.* Личностные ценности и устойчивое потребление: эмпирический анализ горного региона России // Устойчивое развитие горных территорий. 2025. Т. 19. № 1(63). DOI: 10.21177/1998-4502-2025-17-1-427-436

19. *Галачиева С. В., Гуртуев А. О., Махошева С. А.* Гиперигровое моделирование поведения инвесторов в устойчивой региональной инновационной системе с учетом возможной недобросовестности контрагентов // Устойчивое развитие горных территорий. 2024. Т. 17. № 3(61). DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-3-1228-1244

REFERENCES

1. Polterovich V.M. *Institutsional'nyye lovushki i ekonomicheskiye reformy. Rossiyskaya ekonomicheskaya shkola* [Institutional traps and economic reforms. Russian Economic School]. Moscow, 1998. 42 p. https://cyberleninka.ru/article/n/99-04-020-polterovich-v-m-institutsionalnye-lovushki-i-ekonomicheskie-reformy-rossiyskaya-ekon-shkola-m-1998-42s/viewer. (In Russian)

2. Fedorov G.M. *Regional'noye razvitiye Rossii: tendentsii i perspektivy* [Regional development of Russia: trends and prospects]. St. Petersburg: Izd-vo RGPU im. A. I. Gertsena, 2020. 314 p. (In Russian)

3. Sumaev Z.K. *Ekonomicheskoye razvitiye gornykh regionov: problemy i perspektivy* [Economic development of mountainous regions: problems and prospects]. Grozny: Chechenskiy gosudarstvennyy universitet, 2019. 212 p. (In Russian)

4. Castells M. The rise of the network society. Oxford: Blackwell, 2010. 656 p.

5. Gokhberg L.M., Kuznetsova T.E. *Nauchno-tekhnologicheskoye razvitiye Rossii: vyzovy i perspektivy* [Scientific and technological development of Russia: challenges and prospects]. Moscow: Natsional'nyy issledovatel'skiy universitet «Vysshaya shkola ekonomiki», 2021. 152 p. (In Russian)

6. Bondarenko N.S., Skripkin I.V., Chudnovets E.V., Shishkov P.O. Digitalization of economy and transition to national digital currency. *Business Strategies*. 2021. № 9(12). Pp. 338–342. DOI: 10.17747/2311-7184-2021-12-338-342. (In Russian)

7. Gerasimova I.A., Gerasimova E.V. Spatial transformation of Russia's socio-economic potential. *Strategicheskoye planirovaniye i razvitiye predpriyatiy: materialy XXV Vserossiyskogo simpoziuma* [Strategic planning and development of enterprises: materials of the XXV All-Russian symposium]. Moscow, April 9–10, 2024. M.: Tsentral'nyy ekonomiko-matematicheskiy institut RAN, 2024. Pp. 39–45. DOI: 10.34706/978-5-8211-0822-7-s1-08 EDN: VYZLYZ. (In Russian)

8. Ovchinnikov D.B. Digital transformation of Russian manufacturing enterprises in the 21st century and the impact of IT technologies on industry. *Quality Management*. 2023. No. 12. DOI: 10.33920/pro-01-2312-03. (In Russian)

9. Kuznetsova N.P., Galyankina V.A. Regional innovation systems. *Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Postkrizisnyy mir i modernizatsiya sovremennoy nauki: kontseptsii, problemy, resheniya»* [Proceedings of the 7th international scientific and practical conference "Post-crisis world and modernization of modern science: concepts, problems, solutions"]. Rostov-on-Don. Izdatel'stvo: Yuzhnyy universitet (IUBiP), Izdatel'stvo VVM, 2021. Pp. 260–263. EDN: YZEEOV. (In Russian)

10. Florida R. Rise of creative class: and how it's transforming work, leisure, community and everyday. New York: Basic Books, 2014. 424 p.

11. Batty M. Cities and smart systems: a systems approach. London: Press, 2015. 301 p.

12. Bailey D., Pitelis C. Smart specialization and evolutionary regional development. *Regional Studies*. 2015. Vol. 49(8). Pp. 1295–1306.

13. Carlsson C., Jacobsson S., Holmén M., Rickne A. Innovation systems: analytical and methodological issues. *Research Policy*. 2013. Vol. 31. Pp. 233–245.

14. Foray D. Smart Specialization. Cambridge: MIT Press, 2015. 152 p.

15. Boschma R. Evolutionary economic geography. New York: Routledge, 2017. 288 p.

16. Graham S., Marvin S. Splintering Urbanism. London: Routledge, 2001. 479 p.

17. Galachieva S.V., Makhosheva S.A. Regional socio-economic systems of mountain territories: Intellectual economics and mechanisms of sustainable development. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2025. Vol. 21. No. 3(65). DOI: 10.21177/1998-4502-2025-21-3-429-440. (In Russian)

18. Galachieva S.V., Makhosheva S.A. Personal values and sustainable consumption: an empirical analysis of Russia's mountainous region. *Sustainable Development of Mountainous Territories*. 2025. Vol. 19. No. 1(63). (DOI: 10.21177/1998-4502-2025-17-1-427-436. (In Russian)

19. Galachieva S.V., Gurtuev A.O., Makhosheva S.A. Hypergame modeling of investor behavior in a sustainable regional innovation system taking into account possible dishonesty of counterparties. *Sustainable Development of Mountainous Territories*. 2024. Vol. 17. No. 3(61). DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-3-1228-1244. (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Махошева Салима Александровна, д-р экон. наук, профессор, зав. отделом «Экономика знаний и опережающее региональное развитие», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

salima@list.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4249-9906, SPIN-код: 8414-5036

Information about the author

Salima A. Makhosheva, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department "Economics of Knowledge and Advanced Regional Development", Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia;

salima@list.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4249-9906, SPIN-code: 8414-5036

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

УДК 332 (470.64) Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-279-286
EDN: XCFFLV

Социально-демографические индикаторы национальной безопасности

Ф. Ж. Берова✉, И. А. Табаксоев

Центр социально-политических исследований
Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18

Аннотация. Демографический кризис и депопуляция населения продолжающиеся последние десятилетия придают особую значимость исследованиям, посвященным проблемам демографической безопасности России и ее субъектов. В связи с этим особую актуальность для регионов РФ приобретает исследование проблем повышения уровня смертности и, напротив, падения уровня рождаемости, депопуляции; нерегулируемых миграционных процессов, выявление путей и возможностей их предотвращения. При исследовании демографической безопасности основными показателями считают лишь характеристики естественного движения населения, без учета роли внешней миграции, определение как позитивных, так и негативных возможных ее последствий. Следовательно, для мониторинга демографической безопасности необходимо создание базы данных и построение системы показателей. При определении индикаторов демографической безопасности необходимо перейти от общих показателей воспроизводства населения к показателям, отражающим скорость изменения воспроизводства населения и характеристике качества населения.

Цель исследования – определение основных индикаторов демографической безопасности и их целевых ориентиров.

Методы исследования. Для достижения поставленной цели были использованы методы статистического и социологического анализа.

Результаты исследования. В работе предложены индикаторы демографической безопасности и их целевые ориентиры. Особая значимость предложенных нами индикаторов демографической безопасности заключается в том, что они отражают не только количественные, но и качественные стороны воспроизводства населения.

Заключение. Данное исследование имеет существенное значение для оценки демографической безопасности в России и ее регионах и для разработки дифференцированной демографической политики.

Ключевые слова: демографическая безопасность, характеристики населения, возрастная структура населения, индикаторы демографической безопасности, демографическая политика

Поступила 03.11.2025, одобрена после рецензирования 26.11.2025, принята к публикации 08.12.2025

Для цитирования. Берова Ф. Ж., Табаксоев И. А. Социально-демографические индикаторы национальной безопасности // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 279–286. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-279-286

© Берова Ф. Ж., Табаксоев И. А., 2025

Original article

Socio-demographic indicators for national security

F.Zh. Berova✉, I.A. Tabaksoev

Center for Socio-Political Research,
Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. The demographic crisis and depopulation that have been ongoing for decades, have made research on the demographic security of Russia and its regions particularly important. Therefore, research into rising mortality rates and, conversely, declining fertility rates, depopulation, unregulated migration processes, and identifying ways to prevent them is crucial for Russian regions. When studying demographic security, the key indicators are solely based on the characteristics of natural population movement, ignoring the role of external migration and determining both its positive and negative potential consequences. Accordingly, monitoring demographic security requires the creation of a database and the development of a system of indicators. When determining indicators of demographic security, it is important to move away from general indicators of population growth and focus on more specific indicators that reflect the rate of change in population growth and the quality of the population.

Aim. The study is to identify the main indicators of demographic security and their target benchmarks.

Research methods. To achieve this goal, statistical and sociological analysis methods are used.

Research results. This paper proposes demographic security indicators and their target benchmarks. The particular significance of our proposed demographic security indicators lies in their ability to reflect not only quantitative but also qualitative aspects of population growth.

Conclusion. This study is of great importance for assessing the demographic situation in Russia and its regions, as well as for developing a more targeted demographic policy.

Keywords: demographic security, population characteristics, population age structure, demographic security indicators, population policy

Submitted 03.11.2025, approved after reviewing 26.11.2025, accepted for publication 08.12.2025

For citation. Berova F.Zh., Tabaksoev I.A. Socio-demographic indicators for national security. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 279–286. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-279-286

Введение

За последние десятилетия проблема демографической безопасности России и ее субъектов приобретает особую значимость. Демографический кризис и депопуляция населения порождают ощутимые геополитические опасности. В связи с этим особую актуальность для каждого региона приобретают исследование проблем повышения уровня смертности и, напротив, падения уровня рождаемости, депопуляции; нерегулируемых миграционных процессов, а также выявление путей и возможностей их предотвращения. «Демографическая безопасность – это функционирование и развитие популяции как таковой в ее возрастно-половых и этнических параметрах, соотнесение ее с национальными интересами государства, состоящими в обеспечении его целостности, независимости, суверенитета и сохранении существующего геополитического статуса» [1]. В результате затяжной депопуляции возникает угроза вырождения практически всех этносов [2].

При исследовании демографической безопасности основными показателями считают лишь характеристики естественного движения населения, без учета роли внешней миграции, определения как позитивных, так и негативных возможных ее последствий.

Основная цель обеспечения демографической безопасности России должна сводиться не только к предотвращению депопуляции и сохранению численности населения, но и сохранению этнической структуры населения и генофонда нации, в чем и заключается уникальность Российского государства. В соответствии с региональными особенностями демографических процессов должны определяться цели и задачи обеспечения демографической безопасности региона. В зависимости от сложившейся демографической ситуации в регионах России могут быть разные задачи [3, 4].

Целью исследования в данной работе является определение основных индикаторов демографической безопасности и их целевых ориентиров.

Основная часть

Необходимость исследования демографической безопасности вызвана не просто сосредоточением экономических интересов на социальных процессах и их задачах, но и выделением их в особый кластер. Особо значимым в этом плане может явиться региональный уровень формирования демографических интересов и способов их защиты.

Интересы центра и региона вкупе носят двойственный, противоречивый характер.

Регион представляет собой обособленную территорию с присущими только ему демографическими, социально-экономическими, экологическими и прочими процессами, потенциально угрожающими экономической безопасности Российской Федерации. Регион, с одной стороны, является для центра субъектом регулирования процессов, влияющих на общую безопасность РФ, с другой стороны, регион вправе проводить собственную демографическую и социально-экономическую политику.

Регион как субъект демографической безопасности представляет собой систему, которая подвергается внешним и внутренним рискам.

Именно в этом качестве регион может функционировать как субъект демографической безопасности и выполнять функции обеспечения безопасности. Такие демографические показатели, как рождаемость, смертность и миграционные процессы инертны, их последствия проявляются не имманентно, а с течением времени, имея либо затухающий, либо более интенсивный характер.

Демографический процесс представляет собой набор случайных событий, которые закладывают возможные сценарии демографического развития. Появление несвойственных для российской экономики рисков безопасности региональных экономических систем невозможно объективно проанализировать без соответствующей системы показателей. Следовательно, для мониторинга демографической безопасности необходимо создание базы данных и построение системы показателей [5, 6, 7]. При определении индикаторов демографической безопасности необходимо перейти от общих показателей воспроизводства населения к показателям, отражающим скорость изменения воспроизводства населения и характеристике качества населения.

В этом плане, помимо указанных выше показателей демографической безопасности, считаем целесообразным дополнительно использовать показатели, характеризующие процессы воспроизводства населения в количественном и качественном измерении, а именно: коэффициент старения населения, скорость старения (омоложения) населения, скорость вымирания нации, инвалидность детей до 16 лет.

Ниже приведены текущие значения основных показателей индикаторов демографической безопасности за 2013 год и рассчитанные нами их пороговые значения и целевые ориентиры [2].

Важность указанных индикаторов демографической безопасности заключается в том, что они показывают скорость изменения воспроизводства населения, сдвиги в возрастной структуре населения и выступают предвестником наступления депопуляции. Как известно, существующие индикаторы демографической безопасности лишь констатируют сложившуюся на данный момент ситуацию.

Таблица 1. Индикаторы демографической безопасности и их пороговые и целевые ориентиры.

Table 1. Demographic security indicators and their threshold and target benchmarks.

Показатели	Характеристика	Текущее значение	Пороговое значение	Целевой ориентир
1. Общий коэффициент рождаемости	Число родившихся живыми за год на 1000 человек населения	16,0	10	20
2. Общий коэффициент смертности	Число умерших за год на 1000 человек населения	9,0	10	8
3. Коэффициент младенческой смертности	Число умерших в возрасте до 1 года на 1000 родившихся живыми	8,7	10	4-5
4. Ожидаемая продолжительность жизни при рождении, лет: - всего; - мужчины; - женщины	Количество лет, которое предстоит прожить поколению новорожденных при сохранении для каждого возраста существующего уровня смертности	 72,4 67,5 77,3	 70 68 75	 82,5 80 85
5. Общая заболеваемость детей	Всего зарегистрировано за год больных в возрасте 0-14 лет на 1000 детей	1259,4	1200	1100
6. Общая заболеваемость взрослого населения	Всего зарегистрировано за год больных в возрасте 18 лет и старше на 1000 человек взрослого населения	803,5	1100	1000
7. Первичная заболеваемость туберкулезом	Зарегистрировано за год больных с диагнозом туберкулез, установленным впервые в жизни, на 100 тыс. населения	48,3	40	30
8. Удельный вес предотвратимых причин смерти, %	Число умерших от предотвратимых причин смерти к общей численности умерших	5,3	5	2
9. Уровень потребления алкоголя, л	Объем потребления алкогольных напитков в пересчете на абсолютный алкоголь на одного человека в год	4,1	6	4
10. Коэффициент старения населения, %	Доля лиц в возрасте 65 лет и старше в общей численности населения	10,8	15	9-10
11. Скорость старения (омоложения) населения	Отношение численности населения 65 лет и старше, к общей численности детей 0–14 лет	0,7	0,9–1	0,5
12. Скорость вымирания нации	Отношение числа умерших к числу родившихся живыми за год	0,8	0,9–1	0,5–0,6
13. Коэффициент депопуляции	Ежегодная убыль численности населения	–	–	–

* Таблица составлена Ф. Ж. Беровой [8, с. 204–205].

Использование предложенных нами показателей демографической безопасности позволит спрогнозировать возможные изменения в воспроизводстве и принять необходимые меры по предотвращению негативных тенденций в демографических процессах. Наиболее объективно изменения в воспроизводстве населения показывает такой индикатор, как скорость вымирания нации [4].

Рисунок 1 свидетельствует, что процесс вымирания нации в России начался еще в конце 1970 г. и достиг особенно высоких темпов в 1995–2005 гг. Особо следует выделить Центральный и Северо-Западный федеральные округа, где отношение числа умерших к числу родившихся в данном периоде увеличилось более чем в 2 раза. Данный показатель в Приволжском и Южном федеральном округах составил 1,5–1,75 соответственно – так же, как и в среднем по России. Вторая волна повышения скорости вымирания во всех федеральных округах наблюдается в 2020–2022 годах, в период эпидемии ковида с мая 2020 года. Из всех федеральных округов стоит выделить лишь Северо-Кавказский, где данный показатель не превышает единицы, что говорит о положительной динамике в воспроизводстве населения, однако следует отметить тенденцию повышения скорости вымирания населения как в 1995–2005 гг., так и в 2020–2022 годах. Следующими федеральными округами с наиболее низкой динамикой вырождения населения являются Дальневосточный и Уральский. В период пика в 2000 и 2022 годах данный показатель составил 1,36–1,51 соответственно, то есть на каждые десть новорожденных умирали 13–15 человек.

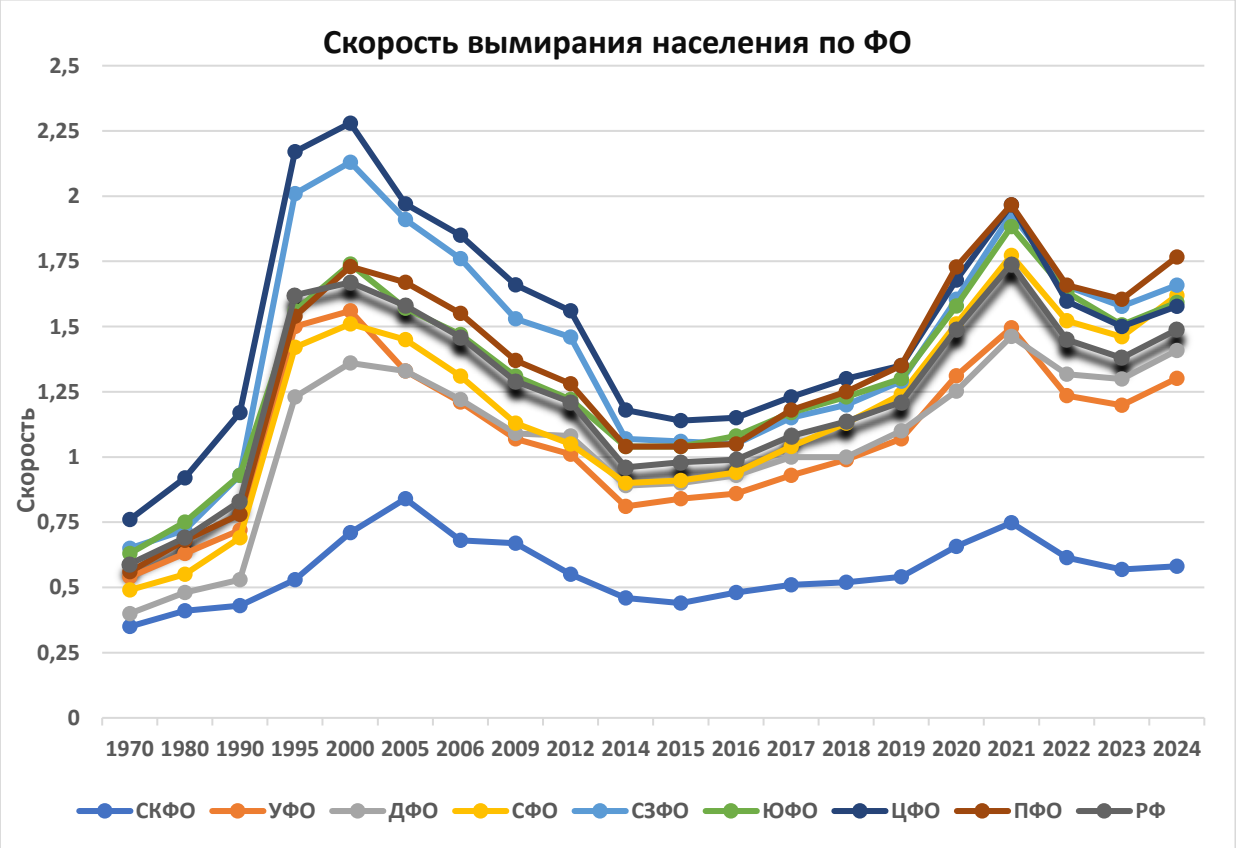


***Рис. 1**. Скорость вымирания населения по ФО РФ*[1]

***Fig. 1**. Population extinction rate by Federal District of the Russian Federation*

С 2005 до 2016 года во всех федеральных округах наблюдалась тенденция снижения данного показателя, что объясняется в первую очередь повышением рождаемости и некоторой стабилизацией смертности. Однако следует отметить, что до 2012 г. данный показа-

[1]Общие итоги естественного движения населения в Российской Федерации / Федеральная служба государственной статистики (Росстата) / [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/

тель оставался выше единицы во всех федеральных округах, за исключением Северо-Кавказского федерального округа. В среднем по России в 2012 г. он составлял 1,28, то есть на каждые 25 родившихся детей умирали 32 человека [4].

В дальнейшем с 2023 года в результате изменения динамики возрастной структуры населения ожидается обратная тенденция повышения данного показателя. В целях предотвращения наметившейся тенденции необходима разработка комплексной социально-демографической политики, наряду со стимулированием рождаемости необходимо значительное снижение смертности, особенно трудоспособного населения. Здесь следует отметить мнение А. Б. Синельникова: «При всей важности решения проблемы смертности, никакое ее снижение не приведет к прекращению депопуляции в долговременной перспективе. Необходимый для обеспечения простого замещения поколений суммарный коэффициент рождаемости (т.е. не ведущий ни к росту, ни к убыли населения) даже при самой низкой смертности должен составлять 2,1 ребенка на одну женщину. Фактически же он составляет в России лишь 1,3 ребенка, что примерно на 40 % ниже необходимого уровня. При этом каждое последующее поколение в стране будет на 40 % уступать предыдущему поколению по численности. В таких условиях в долговременной перспективе при любой, сколь угодно высокой средней продолжительности жизни численность населения страны неизбежно будет сокращаться, если только естественная убыль населения не будет компенсироваться иммиграцией, хотя это не решает проблему депопуляции по существу»[2, 3].

При этом нельзя не учесть мнение Л. Л. Рыбаковского о том, что замещающая миграция, когда естественная убыль компенсируется иммиграцией, ведет не к сохранению популяции, а к ее изменению со всеми этнокультурными и социальными последствиями. В этом случае через определенное время кардинально меняется этнический и генетический облик населения страны[4] [1]. Все это обусловливает необходимость проведения глубоких исследований по регулированию миграционных процессов и определению пороговых значений миграционных потоков [8, 9, 10].

Выводы

Результаты ранее проведенных научных исследований, в частности результаты прогноза динамики возрастной структуры населения, свидетельствуют об ожидаемых деформациях в возрастной структуре населения. Сдвиги в возрастной структуре населения при продолжающемся системном кризисе в России и ее регионах могут привести к серьезным демографическим, социокультурным и социально-политическим проблемам, которые будут иметь масштабные и долговременные последствия. Таким образом, определяя индикаторы демографической безопасности, целесообразно, помимо общих показателей воспроизводства населения, рассматривать показатели, отражающие как скорость изменения воспроизводства населения, так и качественные характеристики населения.

[2]Депопуляция. Материал из Википедии – свободной энциклопедии. http://yandex.ru/yandsearch?

[3]Синельников А. Б. Что более приемлемо для населения: стимулирование рождаемости или приток иммигрантов? // Научный интернет-журнал «Демографические исследования». № 1. http://www.demographia.ru/articles_N/index.html?idR=21&idArt=787

[4]Рыбаковский Л. Л. http://rybakovsky.ru/stati1a8.html

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Берова Ф. Ж.* Кризис смертности: диагноз и причины // TERRA ECONOMICUS. 2010. Т. 8. № 1-3. С. 286–294. EDN: MSUHZH

2. *Берова Ф. Ж.* Результаты анализа и прогноза воспроизводства населения на макро- и мезоуровне // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 1(111). С. 37–48 DOI: 10.35330/1991-6639-2023-1-111-37-48

3. *Берова Ф. Ж., Ашабоков Б. А.* Об одном подходе и некоторых результатах прогноза демографических процессов региона // Экономическая наука современной России. 2011. № 4(55). С. 78–88. EDN: ONCJDD

4. *Берова Ф. Ж., Шериева А. А.* Миграционные процессы на Северном Кавказе и возможные их последствия (на примере Кабардино-Балкарской Республики) // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 3(113). С. 30–39. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-3-113-30-39

5. *Берова Ф. Ж.* Результаты анализа динамических рядов демографических показателей // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2011. № 4(42). С. 152–158. EDN: OBUKIV

6. *Урсул А. Д., Урсул Т. А.* Проблема безопасности: глобальные и универсально-эволюционные аспекты // NB: Национальная безопасность. 2012. № 1. С. 81–159. EDN: RVDXFP

7. *Калачикова О. Н., Шабунова А. А., Егоров В. К.* Социально-демографические проблемы национальной безопасности // NB: Национальная безопасность. 2014. № 3. С. 158–205. EDN: SNQPTD

8. *Берова Ф. Ж.* Методология исследования социально-демографических процессов на мезоуровне. ИИПРУ КБНЦ РАН. Нальчик: Изд-во М. и В. Котляровых, 2012. 264 с.

9. *Берова Ф. Ж., Баккуев Э. С., Абазова Л. Х., Эндреева М. Х.* Демографические процессы в России в 2015–2035 гг. // Вопросы экономики и права. 2016. № 10(100). 2016. С. 58–64. EDN: YIREDN

10. *Берова Ф. Ж., Яхутлова М. Л.* Классификация миграционных процессов РФ на основе кластерного анализа // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2008. № 4(24). С. 14–21. EDN: JWFBED

REFERENCES

1. Berova F.Zh. Mortality crisis: diagnosis and causes. *TERRA ECONOMICUS*. 2010. Vol. 8. No. 1. Pp. 286–294. EDN: MSUHZH. (In Russian)

2. Berova F.Zh. Results of the analysis and forecast of population reproduction at the macro- and meso-levels. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.* 2023. No. 1(111). Pp. 37–48. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-1-111-37–48. (In Russian)

3. Berova F.Zh., Ashabakov B.A. On one approach and some results for forecasting demographic processes in a region. *Economics of Contemporary Russia*. 2011. No. 4(55). Pp. 78–88. EDN: ONCJDD. (In Russian)

4. Berova F.Zh., Sherieva A.A. Migration processes in the North Caucasus and their possible consequences (using the Kabardino-Balkarian Republic as an example). *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2023. No. 3(113). Pp. 30–39. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-3-113-30-39. (In Russian)

5. Berova F.Zh. Results of the analysis of dynamic series of demographic indicators. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2011. No. 4(42). Pp. 152–158. EDN: OBUKIV. (In Russian)

6. Ursul A.D., Ursul T.A. Security problem: global and universal-evolutionary aspects. *NB: Nacional'naya bezopasnost'* [NB: National security]. 2012. No. 1. Pp. 81–159. EDN: RVDXFP. (In Russian)

7. Kalachikova O.N., Shabunova A.A., Egorov V.K. Social and demographic problems of national security. *NB: Nacional'naya bezopasnost'* [NB: National security]. 2014. No. 3. Pp. 158–205. EDN: SNQPTD. (In Russian)

8. Berova F.Zh. *Metodologiya issledovaniya social'no-demograficheskih processov na mezourovne* [Methodology for studying socio-demographic processes at the meso-level]. Nalchik: Izd-vo M. and V. Kotlyarovykh, 2012. 264 p. (In Russian)

9. Berova F.Zh., Bakkuev E.S., Abazova L.Kh., Endreeva M.Kh. Demographic processes in Russia in 2015–2035. *Voprosy ekonomiki i prava* [Issues of Economics and Law]. 2016. No. 10(100). 2016. Pp. 58–64. EDN: YIREDN. (In Russian)

10. Berova F.Zh., Yakhutlova M.L. Classification of migration processes in the Russian Federation based on cluster analysis. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2008. No. 4(24). Pp. 14–21. EDN: JWFBED. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Берова Фаризат Жамаловна, д-р экон. наук, зав. лабораторией социально-демографических исследований Центра социально-политических исследований, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18;

berova@list.ru, SPIN-код: 2186-2173

Табаксоев Ибрагим Ахматович, канд. социол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории социально-демографических исследований Центра социально-политических исследований, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18;

tabaksoev1982@list.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0007-3608-4882, SPIN-код: 7506-1674

Information about the authors

Farizat Zh. Berova, Doctor of Economics, Head of Laboratory for Social and Demographic Research, Center for Social and Political Research, Kabardino-Balkarian Scientific Centre of the Russian Academy of Science;

18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia;

berova@list.ru, SPIN-code: 2186-2173

Ibragim A. Tabaksoev, Candidate of Sociological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Social and Demographic Research, Center for Social and Political Research, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia;

tabaksoev1982@list.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0007-3608-4882, SPIN-code: 7506-1674

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

УДК 332.1:338 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-287-299
EDN: QKHRTR

Интеграция технологий искусственного интеллекта в региональные системы управления: принципы, модели и направления развития

Ж. С. Жангоразова, Э. С. Баккуев✉, М. Ш. Газаева, А. О. Килов

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова
360030, Россия, г. Нальчик, проспект Ленина, 1в

Аннотация. Искусственный интеллект становится все более значимым фактором в экономическом и социальном развитии мировых стран. Использование искусственного интеллекта в системе управления региональными экономиками имеет ряд специфик, до конца не получивших рационального понимания и инкорпорирования в привычную систему регионального управления.

Цель исследования. Выявить различные аспекты участия искусственного интеллекта в системе управления региональной экономикой.

Материалы и методы исследования. Исследование опирается на комплекс теоретических и эмпирических подходов, включающих систематизацию научных представлений о применении искусственного интеллекта (ИИ) в экономике, классификацию технологий ИИ, анализ их влияния на ключевые показатели регионального развития, а также сравнительный анализ практик внедрения ИИ на основе статистических данных и кейс-материалов.

Результаты. Предложенная схема включения ИИ в систему управления региональной экономикой может использоваться как методическая основа при проектировании аналогичных институтов в субъектах Российской Федерации. Практическую ценность представляют разработанные классификации типов ИИ и обозначенные пути их адаптации к проектированию региональных систем управления.

Выводы. На основе проведенного исследования можно заключить, что искусственный интеллект становится ключевым инструментом повышения эффективности управления региональной экономикой, обеспечивая качественно новый уровень анализа, прогнозирования и принятия решений. Внедрение ИИ способствует оптимизации распределения ресурсов, улучшению координации между отраслями, повышению прозрачности и обоснованности управленческих действий. Предложенная модель регионального центра ИИ и подходы к интеграции отраслевых интеллектуальных систем демонстрируют потенциал формирования целостной цифровой инфраструктуры управления. Вместе с тем развитие ИИ требует решения ряда технологических, институциональных и этических задач, включая стандартизацию данных, обеспечение безопасности, подготовку кадров и формирование нормативной базы. Таким образом, искусственный интеллект способен стать системным фактором устойчивого регионального развития при условии комплексного подхода к его внедрению.

Ключевые слова: региональные системы, региональное управление, искусственный интеллект (ИИ), цифровизация, информатизация, исследования

Поступила 30.10.2025, одобрена после рецензирования 28.11.2025, принята к публикации 02.12.2025

Для цитирования. Жангоразова Ж. С., Баккуев Э. С., Газаева М. Ш., Килов А. О. Интеграция технологий искусственного интеллекта в региональные системы управления: принципы, модели и направления развития // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 287–299. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-287-299

© Жангоразова Ж. С., Баккуев Э. С., Газаева М. Ш., Килов А.О., 2025

Original article

Integration of artificial intelligence technologies into regional governance systems: principles, models, and development directions

Zh.S. Zhangorazova, E.S. Bakkuev✉, M.Sh. Gazaeva, A.O. Kilov

Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov
1v, Lenin avenue, Nalchik, 360030, Russia

Abstract. Artificial intelligence is becoming an increasingly significant factor in the economic and social development of countries worldwide. The use of artificial intelligence in regional economic governance has a number of specific aspects that have not yet been fully understood and incorporated into the traditional regional governance system.

Aim. The paper is to identify various aspects of artificial intelligence's involvement in regional economic governance.

Materials and methods. The study combines theoretical and empirical methods, including a systematic review on the use of artificial intelligence (AI) in economics, a classification of AI technologies, an analysis of their impact on key regional indicators, and a comparison of AI implementation practices using statistical data and case studies.

Results. The proposed framework for integrating AI into regional economic management systems can be used as a methodological basis for designing similar institutions in the constituent entities of the Russian Federation. The developed classifications of AI types and the identified paths for adapting them to the design of regional management systems are of practical value.

Conclusions. Based on the conducted study, it can be concluded that artificial intelligence is becoming a key tool for improving the effectiveness of regional economic management, providing a qualitatively new level of analysis, forecasting, and decision-making. The implementation of AI contributes to the optimization of resource allocation, improved coordination between industries, and increased transparency and the validity of management actions. The proposed model of a regional AI center and approaches to integrating industry-specific intelligent systems demonstrate the potential for developing a comprehensive digital governance infrastructure. However, AI development requires addressing a number of technological, institutional, and ethical challenges, including data standardization, security, personnel training, and the development of a regulatory framework. Thus, artificial intelligence has the potential to become a systemic factor in sustainable regional development, provided a comprehensive approach to its implementation is adopted.

Keywords: regional systems, regional governance, artificial intelligence (AI), digitalization, informatization, research

Submitted 30.10.2025, approved after reviewing 28.11.2025, accepted for publication 02.12.2025

For citation. Zhangorazova Zh.S., Bakkuev E.S., Gazaeva M.Sh., Kilov A.O. Integration of artificial intelligence technologies into regional governance systems: principles, models, and development directions. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 287–299. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-287-299

Введение

Региональные экономики представляют собой ключевые структурные элементы национального хозяйства, формируя траекторию его развития, определяя динамику, отраслевую структуру и пространственную организацию социально-экономических процессов. Именно в региональных хозяйственных комплексах сосредоточены основные природные, трудовые и производственные ресурсы страны, выступающие фундаментом национальной экономики. Регионы обеспечивают производство и переработку сырья, выпуск материалов и готовой продукции, формируют запасы рабочей силы, а также являются центра-

ми внедрения техники и технологий. Они аккумулируют разнообразные факторы экономической динамики – от природно-климатических условий до развития инфраструктуры и структуры потребления.

Значимым аспектом функционирования региональных экономик является их участие в общероссийской системе разделения труда, в рамках которой формируются устойчивые производственные специализации. Одни регионы играют ведущую роль в добыче углеводородов, минерального сырья и иных ресурсов, другие – в производстве сельскохозяйственной продукции, третьи – в выпуске высокотехнологичных товаров с высокой добавленной стоимостью, четвертые – в формировании сферы услуг. В этой связи региональные экономики выполняют двойственную роль: они одновременно конкурируют между собой за ограниченные ресурсы, включая финансовые потоки и федеральные бюджетные средства, и вступают во взаимодействие, обеспечивая межрегиональный обмен продукцией, технологиями и коммуникациями, что усиливает целостность национального экономического пространства.

Несмотря на включенность в общенациональные процессы, каждая региональная хозяйственная система обладает высокой степенью автономности. Регион представляет собой многоотраслевой территориальный комплекс со своей отраслевой структурой, уровнем производительных сил и организационной моделью управления. В научной литературе справедливо отмечается, что уровень развития региона определяется не столько объемами производства, сколько используемыми технологиями, методами организации и качеством институциональной среды [1]. Одинаковая продукция может производиться в разных регионах с различными затратами труда, капитала и сырья, что отражает исторически сложившиеся различия в темпах модернизации, инвестиционной активности и готовности к внедрению инноваций. Эти особенности обусловливают различия в способности региональных систем адаптироваться к новым технологическим вызовам, а также их неодинаковую восприимчивость к инструментам научно-технического прогресса.

В последние годы одним из приоритетных направлений трансформации региональных экономик становится внедрение современных информационно-коммуникационных технологий, включая процессы цифровизации и информатизации. Наиболее продвинутой и перспективной формой таких технологий выступает искусственный интеллект (ИИ), который рассматривается как инструмент повышения эффективности управления, оптимизации хозяйственных процессов и повышения прозрачности принятия решений. В региональной практике прослеживается несколько моделей интеграции ИИ в систему управления: от локального использования интеллектуальных решений в отдельных компаниях и организациях до формирования централизованного регионального искусственного интеллекта, способного координировать деятельность отраслевых подсистем и обеспечивать комплексное управление хозяйственным комплексом региона. Эти модели отражают эволюцию подходов к цифровизации регионального управления и определяют направления дальнейшего развития интеллектуальных систем на уровне субъектов Российской Федерации.

В решении вышеобозначенных проблем как в стране (разных регионах), так и за рубежом ведутся широкие дискуссии. В связи с последним следует указать на работы А. Тюринга, М. Бруссарда, В. Девяткова, И. Федорова, Р. Бутла, А. Жданова, Ж.-Л. Лорьера, И. Нильсона, С. Рассела, П. Д. Смолина, Э. Ханта и др. Работы перечисленных авторов составляют теоретическую и методологическую основу настоящего исследования. В них дается определение того, что есть искусственный интеллект, каковы его признаки, а также механизмы функционирования, отличие его от естественного интеллекта, а равно и пределы функционирования.

Обобщение существующих теоретических и методологических исследований в области искусственного интеллекта позволяет выявить одну принципиально важную особенность – отсутствие единого, общепринятого определения данного понятия. В научной литературе наблюдается значительная терминологическая разнородность: различные исследователи трак-

туют искусственный интеллект по-разному, акцентируя внимание на отдельных его свойствах, функциях или технологических аспектах. По результатам проведенного анализа выявлено более двух десятков определений ИИ [2], многие из которых не только различаются между собой, но и могут вступать в противоречие либо представлять собой вариации одной и той же концепции, сформулированной разными авторами.

Учитывая высокую методологическую неопределенность, в настоящем исследовании в качестве базового используется определение искусственного интеллекта, закрепленное в Указе Президента Российской Федерации от 10.10.2019 № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» и далее воспроизводимое в «Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 года»[1]. Эти документы формируют нормативно согласованное, юридически значимое и концептуально целостное понимание ИИ как технологии, обладающей потенциалом автономного выполнения функций, традиционно свойственных человеческому интеллекту, выступая ключевыми методологическими ориентирами для российской научной и практической школы исследований ИИ. В них четко определены сущность искусственного интеллекта, его место в системе управления социально-экономическими процессами, а также очерчены рамки применения, возможности и ограничения данной технологии. Тем самым они формируют целостную теоретическую основу, обеспечивающую согласованность научных подходов и практических решений в сфере разработки и внедрения систем искусственного интеллекта в России.

Другую группу исследований составляют работы прикладного характера, посвященные анализу роли и места технологий искусственного интеллекта и интеллектуальных цифровых систем в системе управления экономикой на различных уровнях, прежде всего на региональном. В рамках данного направления рассматриваются вопросы внедрения и использования инструментов искусственного интеллекта в управлении социально-экономическим развитием территорий, а также в деятельности органов регионального управления.

К числу авторов, внесших вклад в развитие данного направления исследований, относятся Р. А. Хасан, А. И. Хисаева, Э. Ф. Мурзина, Г. Г. Сунаева, Ю. А. Варламова, Е. Н. Корнейченко, С. П. Земцов, П. Р. Асманов, А. Х. Сабанчиев и др. В работах указанных авторов основным объектом анализа выступают регионы и региональные экономики Российской Федерации.

В данных исследованиях рассматриваются институциональные, технологические и организационные аспекты внедрения технологий искусственного интеллекта в систему регионального управления. С одной стороны, анализируется влияние институциональной среды, нормативного регулирования и управленческих практик на процессы внедрения интеллектуальных цифровых решений; с другой — исследуются возможности интеграции технологий искусственного интеллекта в реальные механизмы и инструменты социально-экономического развития регионов.

В ряде работ представлены сравнительные оценки и рейтинги регионов по уровню внедрения и использования технологий искусственного интеллекта, выявлены ключевые проблемы и ограничения, с которыми сталкиваются как региональные системы управления, так и внедряемые интеллектуальные решения. Эмпирическую основу исследований составляют данные официальной статистики, массивы больших данных, а также результаты выборочных обследований и аналитических оценок.

Вместе с тем следует отметить, что в современных российских исследованиях недостаточное внимание уделяется Северо-Кавказскому региону и его субъектам. В частности, ограниченным остается анализ использования технологий искусственного интеллекта в системе

[1]Указ Президента РФ от 10.10.2019 № 490 (ред. от 15.02.2024) «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» (вместе с «Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года») [Электронный ресурс]. URL: https://legalacts.ru/doc/ukaz-prezidenta-rf-ot-10102019-n-490-o-razvitii/ (дата обращения: 19.09.2025).

управления экономикой Кабардино-Балкарской Республики. Наличие указанных исследовательских пробелов обусловило необходимость проведения настоящего исследования, направленного на восполнение выявленных лакун в региональных научных разработках.

Таким образом, актуальность настоящего исследования определяется, во-первых, возрастанием роли технологий искусственного интеллекта в системе управления региональным развитием и, во-вторых, недостаточной научной разработанностью проблем внедрения и использования интеллектуальных цифровых решений в системе управления экономикой Кабардино-Балкарской Республики.

Теоретическая, методологическая, методическая и информационная база исследования

Теоретическую основу составляют труды классиков теории управления, теории систем, а также теории искусственного интеллекта, которые получили развитие в новом столетии. Методологическую основу составляют следующие положения: первое – всякая система управляется внутренними и внешними механизмами, выражающими взаимосвязь субъекта и объекта управления; второе – региональные экономические системы формируют свою самостоятельную региональную систему управления, в которой органически сосуществуют исторические формы и современные методы воздействия на управляемую систему. В последние годы региональные системы управления активно внедряют элементы и целые структуры, связанные с искусственным интеллектом. В результате формируется новая модель регионального управления. Методическую базу исследования составляет комплекс аналитических (среди которых методы группировки, индексный, корреляционный, регрессионный, факторного анализа и др.) и дескриптивных (методы сопоставления, сравнения, аналогии и др.), которые инкорпорированы в метод системного анализа и системный подход. Эмпирическую базу составляют данные официальной статистики (опубликованные в статистических сборниках Росстата за последние годы), результаты исследований других авторов, представленные в публичной печати, а также наблюдения автора.

Результаты и обсуждения

Любое исследование предполагает использование определенных категорий и понятий. При исследовании искусственного интеллекта (ИИ) в любом ракурсе и аспекте, т.е. как с точки зрения его теоретических или методологических основ, так и в практическом прикладном плане (в экономике, политике, культуре, искусстве, науке и проч.), важное значение имеет понятие искусственного интеллекта. В настоящее время в мировой литературе используется большое число определений ИИ. Нами подсчитано, что на начало года в различных источниках использовалось до 20 различных определений ИИ[2]. Речь идет как о содержании ИИ, так и о формах его проявления в различных областях. В этой связи обобщение имеющихся определений ИИ позволяет указать на имеющиеся ошибки и некорректные определения. В первую очередь речь идет о понимании ИИ как о противостоянии или противоположности ЕИ [3].

Искусственный интеллект понимается и сопоставляется с естественным интеллектом, который в свою очередь сводится к неким когнитивным способностям. Хотя чаще всего их рассматривают в качестве аналитических и расчетных. Интеллект понимается как рациональное решение комплекса задач. Грубо говоря, как счетную операцию. Нам представляется такое понимание интеллекта вульгарным и упрощенным. Счетные операции представляют всего лишь один из признаков и, по-видимому, вовсе не основной. Дело в том, что сама способность

[2]Осипов Г. Искусственный интеллект: состояние исследований и взгляд в будущее [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.raai.org/about/persons/osipov/pages/ai/ai.html (дата обращения: 10.08.2025).

к счету не является обязательной и определяющей для естественного интеллекта. Причина – люди жили задолго до того, как научились считать. И причем человек как вид (и как существо) конкурировало с другими существами в этот период. Надо полагать, вполне успешно. Поэтому сводить ЕИ к счету и расчетам, по-видимому, есть упрощение интеллекта. Интеллект предполагает распознание, разработку решений и выбор решения. Но, во-первых, распознание свойственно любому биологическому существу. Производится оно с помощью биологических процессов. Например, змеи распознают мышь по теплу, которое издает тело последней. То же самое и в отношении соколов, ястребов и прочих хищников, которые распознают жертву по излучению. Поэтому, например, они могут кидаться на живое существо, которое по своим размерам или иным признакам им «не по зубам». С точки зрения рационального понимания поведения это ошибка. Но хищник ее не осознает. По-видимому, он не осознает ее даже при повторном эксперименте. Стало быть, другим свойством интеллекта является возможность обучения. Речь идет об обучении не только на ошибках, но и на позитивном опыте, т.е. если ошибки оставляют свои «телесные» или физиологические «зарубки», то положительный опыт оставляет эмоциональный подъем или эмоциональную зарубку, которая, однако, в отличие от телесной и физиологической нестатична и нестационарна [4]. Но эмоциональная составляющая является важным признаком интеллекта. Согласно отдельным исследованиям, эмоции если не непосредственно формируют интеллект, то, по меньшей мере, участвуют в его формировании. Эмоции – часть, элемент чувств, которые выступают важным компонентом интеллекта. Поэтому элиминирование эмоций и всей чувствительной сферы из области интеллекта снижает само понимание последнего, т.к. выхолащивает его содержание до всего лишь некоторых функций. В этой связи интеллект отражает переживания как эмоциональное напряжение. Само переживание способствует распознаванию и формированию поведения.

Эффективность внедрения и эксплуатации ИИ в региональном хозяйстве определяется их типологизацией и компоновкой различных элементов и структур ИИ в комплексы. Для решения указанных задач важное значение имеет разработка критериев внедрения и эксплуатации ИИ в реальном секторе экономики. Существует ряд так называемых объективных и субъективных критериев внедрения ИИ в систему регионального управления. Все критерии можно разделить на три группы: технико-технологические, этические (куда входят также ментальные) и экономические. Причем сдерживающим, как и стимулирующим, может оказаться любой из них, т.е., например, технико-технологические и экономические возможности могут совершенно не оказывать сдерживающего влияния, как этические (морально-нравственные). Поэтому чтобы преодолеть эти ограничения, необходимо разработать и подписать протокол, в котором четко определить пределы использования ИИ, соответственно, определить пределы разработок в области ИИ, а также пределы его использования (внедрения). Иными словами, ИИ должен быть управляем, т.е. он не должен оставаться вне контроля [5].

Исследования позволяют выделить следующие основные направления совершенствования внедрения и реализации элементов ИИ в системе управления региональным развитием:

- поддержка научных исследований в целях обеспечения опережающего развития искусственного интеллекта;
- разработка и развитие программного обеспечения, в котором используются технологии искусственного интеллекта;
- повышение доступности и качества данных, необходимых для развития технологий искусственного интеллекта;
- повышение доступности аппаратного обеспечения, необходимого для решения задач в области искусственного интеллекта;
- повышение уровня обеспечения российского рынка технологий искусственного интеллекта квалифицированными кадрами и уровня информированности населения о возможных сферах использования таких технологий;

- создание комплексной системы регулирования общественных отношений, возникающих в связи с развитием и использованием технологий искусственного интеллекта;
- повышение доступности инфраструктуры, необходимой для развития технологий искусственного интеллекта;
- поддержка организаций – разработчиков технологий искусственного интеллекта;
- поддержка научных исследований и разработок в целях обеспечения опережающего развития искусственного интеллекта [6];
- повышение уровня компетенций в области искусственного интеллекта и уровня информированности граждан о технологиях искусственного интеллекта;
- стимулирование внедрения технологий искусственного интеллекта в отраслях экономики и социальной сферы;
- внедрение доверенных технологий искусственного интеллекта;
- создание комплексной системы нормативно-правового регулирования общественных отношений, связанных с развитием и использованием технологий искусственного интеллекта, обеспечение безопасности применения таких технологий;
- развитие международного сотрудничества в области использования технологий искусственного интеллекта.

Конкретно суть совершенствования применения ИИ в условиях региональной системы нами представлена в схеме (рис. 1). Она заключается в проектировании оперативного управления регионом посредством использования искусственного интеллекта (ИИ) исходя из реального отечественного и зарубежного опыта.

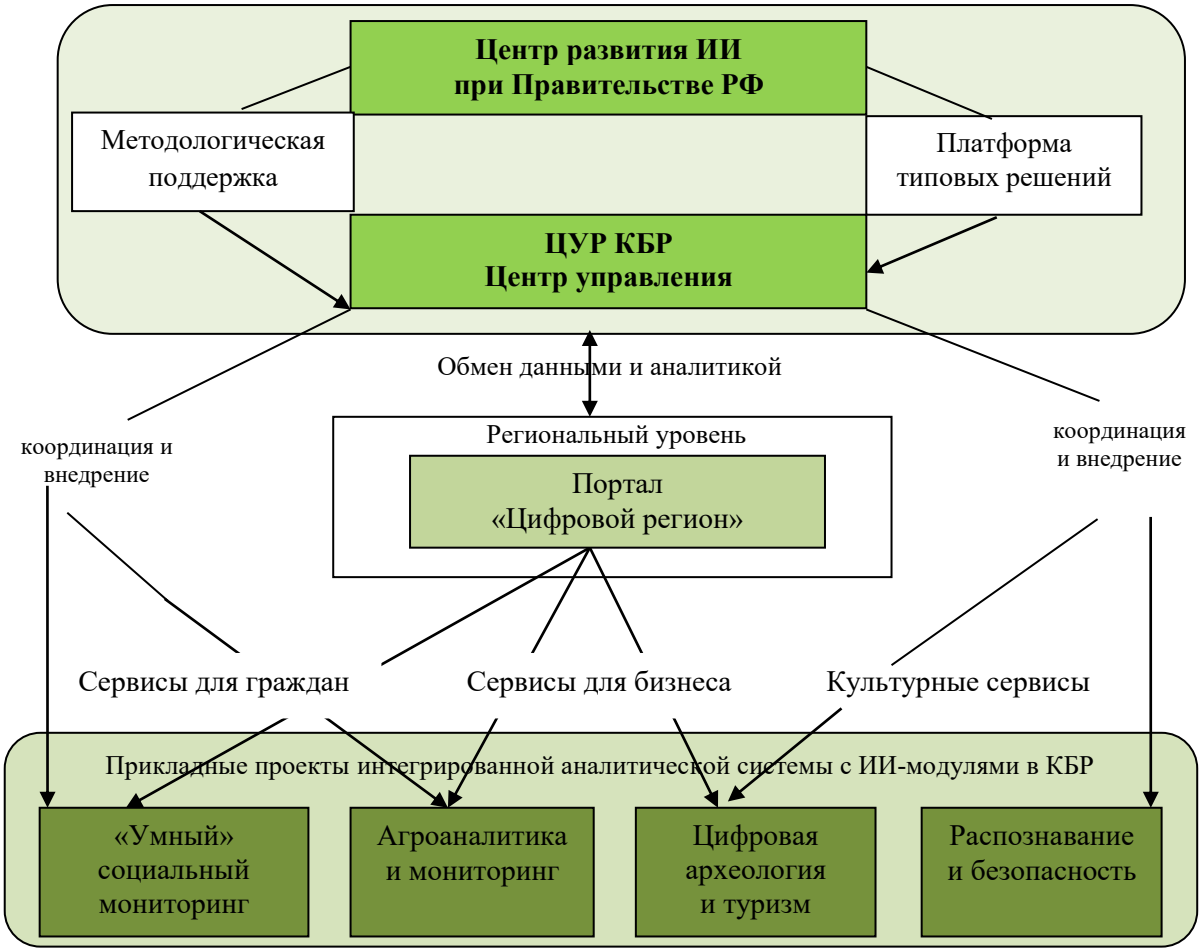


***Рис. 1**. Схема регионального центра пользования ИИ*

***Fig. 1**. Layout of the regional AI use center*

Как было отмечено ранее, в настоящее время формируются две взаимосвязанные тенденции развития интеллектуальных цифровых систем [7]. Первая из них связана с внедрением интеллектуальных систем и отдельных модулей искусственного интеллекта на уровне отдельных предприятий, организаций и учреждений – как частных (производственных, коммерческих, консалтинговых), так и государственных. В рамках данной тенденции интеллектуальные решения разрабатываются и используются для достижения целей конкретного хозяйствующего субъекта и, как правило, функционируют автономно, будучи ориентированными на решение узкоспециализированных задач.

На примере сельского хозяйства Кабардино-Балкарской Республики можно выделить различные типы интеллектуальных цифровых систем, применяемых агрохолдингами и агропредприятиями (в растениеводстве, садоводстве, животноводстве и других направлениях). Эти системы предназначены для обработки данных, анализа производственных процессов, прогнозирования и поддержки управленческих решений в рамках отдельных предприятий или агрохолдингов и не образуют единого координированного контура управления отраслью.

Вторая тенденция связана с переходом от разрозненных корпоративных интеллектуальных решений к их интеграции на отраслевом и региональном уровнях. В данном контексте представляется целесообразным формирование отраслевых интегрированных интеллектуальных систем, основанных на агрегации данных и аналитических результатов, получаемых от отдельных хозяйствующих субъектов, а также из внешних источников.

Так, интегрированная интеллектуальная система сельского хозяйства региона отличается от корпоративных систем тем, что объектом ее анализа и моделирования выступает сельское хозяйство региона в целом, а не отдельные предприятия или подотрасли. В рамках такой системы осуществляются сбор, обработка и анализ данных по всем ключевым параметрам отрасли (посевные площади, урожайность, структура производства, инвестиции, издержки и др.), прогнозирование сельскохозяйственных процессов, включая влияние погодных и климатических факторов, а также моделирование сценариев развития отрасли с учетом внешней конъюнктуры (цен, спроса, себестоимости и т.п.).

Аналогичным образом могут формироваться интегрированные интеллектуальные системы в сфере обрабатывающих производств, объединяющие данные и аналитические контуры предприятий, осуществляющих переработку сырья и материалов. К их функциям относятся сбор и анализ информации о состоянии перерабатывающих отраслей как внутри региона, так и за его пределами, выявление поставщиков и потребителей, построение логистических цепочек, прогнозирование и моделирование производственно-экономических процессов.

Интегрированные интеллектуальные системы могут быть сформированы также в добывающих отраслях, где ключевыми задачами являются оценка ресурсной базы, анализ технологий добычи, логистики, конкурентной среды и цепочек создания стоимости. В сфере торговли и услуг целесообразно создание интеллектуальной системы, ориентированной на анализ покупательной способности населения, потребительских предпочтений, цен, емкости рынка, структуры спроса и предложения, а также моделирование внутреннего рынка товаров и услуг региона.

В долгосрочной перспективе отраслевые интеллектуальные системы могут быть интегрированы в единую надотраслевую региональную интеллектуальную платформу, которая будет выполнять комплексные функции анализа, прогнозирования и поддержки принятия стратегических управленческих решений в сфере социально-экономического развития региона. Ключевым элементом институциональной основы этой платформы является региональный центр интеллектуальных технологий (РЦ ИТ), который включает в себя не только аналитические и вычислительные модули, но и необходимые организационные, нормативные и инфраструктурные компоненты, создающие основу для устойчивого функционирования системы.

В рамках данного центра могут быть выделены несколько структурных единиц, каждая из которых будет отвечать за отдельные аспекты разработки, внедрения и сопровождения технологий ИИ в регионе. Наиболее рациональными видами таких структур могут быть специализированные лаборатории ИИ, отделы ИИ, а также консалтинговые бюро ИИ и другие организационные единицы. Эти структуры будут иметь четко очерченные цели и задачи, при этом они не дублируют друг друга, а, напротив, дополняют, взаимодействуя и обмениваясь данными и опытом.

Таким образом, лаборатории ИИ как независимые научно-исследовательские подразделения должны быть организованы по отраслевым направлениям, что обеспечит углубленную специализацию в разработке и адаптации ИИ для специфических условий каждого региона и соответствующего рынка. Взаимодействие с центральной платформой будет происходить через обмен данными, исследованиями и технологиями. Для оценки эффективности внедрения ИИ и обеспечения постоянного мониторинга процессов внедрения и адаптации технологий необходимо предусмотреть существование отделов ИИ в рамках РЦ ИТ [8]. Эти подразделения будут заниматься более углубленной и системной проработкой вопросов внедрения ИИ, включая оценку их эффективности, а также оперативное внесение корректив в проекты.

Консалтинговые услуги и профессиональное сопровождение по вопросам ИИ будут предоставляться специализированными бюро ИИ, что позволит обеспечить высококвалифицированную поддержку в области внедрения и эксплуатации ИИ. Эти структуры будут входить в состав РЦ ИТ, но сохранят свою организационную независимость, что способствует гибкости в принятии решений и адаптации к изменениям в сфере технологий.

Для создания устойчивой и эффективной системы интеллектуального управления региональным развитием, основанной на искусственном интеллекте, предлагается более строгая и формализованная институциональная модель, включающая следующие ключевые элементы:

1. Единый координационный центр ИИ (ЕЦ ИИ). Этот центр будет выступать как основной орган управления всей интеллектуальной системой региона. Он будет обеспечивать межведомственную координацию и интеграцию всех компонентов ИИ-платформы. Его основными функциями будут разработка и утверждение стандартов для внедрения ИИ в различные отрасли, мониторинг и контроль за реализацией проектов, а также оценка их воздействия на социально-экономическое развитие региона.

2. Специализированные технологические и аналитические блоки, включающие в себя аналитические лаборатории ИИ. Основная роль этих подразделений будет заключаться в глубоких исследованиях и разработке алгоритмов ИИ, направленных на решение специфических задач для различных отраслей региона, таких как сельское хозяйство, промышленность, транспорт и социальная сфера. Лаборатории будут работать с большими данными и использовать передовые методы машинного обучения для оптимизации процессов.

Отделы внедрения и мониторинга ИИ будут отвечать за реализацию стратегий и проектов по внедрению ИИ в реальные бизнес- и административные процессы региона. Они также будут проводить регулярный мониторинг эффективности внедрения технологий, включая работу с корпоративными и государственными заказчиками, а также обеспечивать постоянную обратную связь с пользователями.

3. Консалтинговая платформа для обеспечения поддержки и консультационного сопровождения в области применения ИИ, которая объединит экспертов в области технологий, права, экономики и управления. Платформа будет предоставлять услуги на всех стадиях внедрения ИИ, начиная от оценки потребностей и заканчивая послеоперационной поддержкой.

4. Важным элементом данной модели являются органы, занимающиеся обеспечением нормативно-правового регулирования и разработкой стандартов для внедрения ИИ в рамках региона, т.е. инфраструктурные и нормативные органы. Они будут работать в тесном взаимо-

действии с научно-исследовательскими и консалтинговыми структурами для создания и поддержания необходимых условий для роста и развития интеллектуальных технологий.

Таким образом, предложенная модель предполагает создание единой, многоуровневой и высокоорганизованной системы, в которой каждый элемент будет четко разделен по задачам и функциям, но в то же время интегрирован с другими частями системы для обеспечения максимальной эффективности и устойчивости региона в условиях цифровой трансформации.

Выводы

Вопросы развития и внедрения технологий искусственного интеллекта в национальные экономики приобрели особую актуальность в конце XX – начале XXI века и в последние годы стали предметом активного внимания со стороны государственных институтов ведущих стран мира. Это связано с осознанием стратегического значения интеллектуальных технологий для обеспечения долгосрочной конкурентоспособности, экономического роста и технологического суверенитета [10].

В Российской Федерации институциональные основы государственной политики в сфере искусственного интеллекта были закреплены Указом Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации»[3], которым утверждена Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года. В рамках реализации данной стратегии был запущен федеральный проект «Искусственный интеллект», предусматривающий бюджетное и внебюджетное финансирование и направленный на формирование условий для внедрения технологий ИИ в ключевые отрасли экономики и сферы общественных отношений.

Аналогичные стратегические инициативы реализуются и в других странах. В Соединенных Штатах Америки вопросы приоритетного развития искусственного интеллекта закреплены в ряде президентских директив и программных документов, направленных на стимулирование научных исследований, развитие вычислительной инфраструктуры и расширение применения ИИ в государственном и частном секторах. В Китайской Народной Республике развитие искусственного интеллекта рассматривается как одно из ключевых направлений технологической модернизации экономики, что отражено в национальных программах и планах, ориентированных на формирование инфраструктуры, экосистемы данных и сервисов на основе ИИ[4].

Актуализация государственной политики в области искусственного интеллекта обусловлена ускоренным внедрением интеллектуальных технологий в различные отрасли экономики и сферы общественной деятельности. По оценкам международных аналитических и экспертных организаций, использование решений на основе искусственного интеллекта способно оказывать значительное влияние на динамику мирового экономического роста за счет повышения эффективности производства, оптимизации управленческих процессов и роста производительности труда.

Указанные тенденции объясняются рядом факторов. Во-первых, технологии искусственного интеллекта обладают универсальным, межотраслевым характером применения, что позволяет использовать их в промышленности, сельском хозяйстве, транспорте, торговле, сфере услуг, государственном управлении и социальной сфере. Во-вторых, внедрение интеллектуальных решений оказывает существенное влияние на результативность деятельности организаций и отдельных работников, прежде всего за счет перераспределения функций между человеком и цифровыми системами. В рамках таких моделей чело-

[3]Указ Президента РФ от 10.10.2019 № 490 (ред. от 15.02.2024) «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».

[4]https://finance.mail.ru/2025-02-02/zachem-kitaj-investiruet-trillion-yuanej-v-iskusstvennyj-intellekt-64625000/?from=swap&swap=2

век в большей степени концентрируется на постановке целей, интерпретации результатов и принятии управленческих решений, в то время как значительная часть рутинных и аналитических операций автоматизируется. В-третьих, развитию технологий искусственного интеллекта способствует высокая доступность программных инструментов, включая решения с открытым исходным кодом, а также формирование среды непрерывного совершенствования алгоритмов и моделей. Современные ИИ-системы развиваются эволюционно, опираясь на накопленные данные и результаты предыдущих этапов, что позволяет повышать их эффективность без необходимости полного пересмотра архитектуры решений. В-четвертых, возрастающая потребность в обработке больших объемов данных, формируемых как в экономике, так и в социальной сфере, стимулирует развитие методов анализа данных и интеллектуальных технологий, ранее недоступных в рамках традиционных информационных систем.

В контексте формирования нового технологического уклада, в основе которого лежат технологии искусственного интеллекта, Российская Федерация обладает рядом объективных предпосылок для их развития и внедрения. К числу таких предпосылок относятся развитая система науки и образования, высокий уровень базовой физико-математической подготовки, наличие научных школ в области моделирования и программирования, а также сформировавшееся и растущее сообщество специалистов в области анализа данных и искусственного интеллекта, что отмечается в стратегических документах Российской Федерации.

Дополнительным фактором развития технологий искусственного интеллекта является наличие базовой информационно-коммуникационной инфраструктуры, обеспечивающей доступ к сети Интернет и мобильной передаче данных. Вместе с тем следует учитывать, что в ряде ведущих стран активно развиваются новые поколения телекоммуникационных технологий, что создает дополнительные вызовы и ограничения для ускоренного внедрения и масштабирования ИИ-решений.

Анализ современных моделей искусственного интеллекта, реализуемых в крупных коммерческих и исследовательских проектах, показывает, что наряду с существенными достижениями данные подходы обладают рядом ограничений, связанных с архитектурой систем, требованиями к вычислительным ресурсам, качеству данных и интерпретируемости результатов. Это обстоятельство указывает на необходимость дальнейшего развития и диверсификации подходов к созданию и внедрению интеллектуальных технологий, особенно в контексте их использования в системах управления социально-экономическим развитием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Асманов П. Р., Сабанчиев А. Х.* Объективные основы и стратегические особенности информатизации и интеллектуализации региональных экономических систем: практика использования ИИ в управлении региональным развитием // Региональные проблемы преобразования экономики. 2024. № 10.

2. *Бизенгин Б. и др.* Формирование пятого технологического уклада в сельском хозяйстве КБР: особенности, основные элементы и тенденции // Аграрный вестник Урала. 2019. № 8. С. 55–64.

3. *Бруссард М.* Искусственный интеллект. Пределы возможного. М.: Альпина нон-фикшн, 2020. 362 с.

4. *Агеев А. И., Логинов Е. Л.* Битва за будущее: кто первым в мире освоит ноомониторинг и когнитивное программирование субъективной реальности? // Экон. стратегии. 2017. Т. 19. № 2. С. 124–139.

5. *Бутл Р.* Искусственный интеллект и экономика. Работа, богатство и благополучие в эпоху мыслящих машин. М.: Интеллектуальная Литература, 2022. 432 с.

6. *Девятков В. В.* Системы искусственного интеллекта / Гл. ред. И. Б. Федоров. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. 352 с.

7. *Бриньолфсон Э., Макафи Э.* Вторая эра машин: работа, прогресс и процветание в эпоху новейших технологий: пер. с англ. М.: АСТ, 2017. 382 с.

8. *Осипов Г.* Искусственный интеллект: состояние исследований и взгляд в будущее [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.raai.org/about/persons/osipov/pages/ai/ai.html (дата обращения: 21.09.2025).

9. *Бизенгин Б., Баккуев Э., Энеева М., Сарбашева Е*. Становление новой модели организации сельского хозяйства на территории Северного Кавказа // Общество и экономика. 2025. № 6. С. 76–95.

10. *Жангоразова Ж. С., Баккуев Э. С., Кокова Э. Р.* Методологические подходы к анализу динамики агроэкономического развития региона в условиях цифровой трансформации // Вестник Академии знаний. 2020. № 38(3). С. 111–115.

REFERENCES

1. Asmanov P.R., Sabanchiev A.Kh. Objective foundations and strategic features of informatization and intellectualization of regional economic systems: the practice of using AI in regional development management. *Regional Problems of Economic Transformation*: 2024. No. 10. (In Russian)

2. Bizengin B. et al. Formation of the fifth technological order in agriculture of the Kabardino-Balkarian Republic: features, main elements, and trends. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019. No. 8. Pp. 55–64. (In Russian)

3. Broussard M. *Iskusstvennyy intellekt. Predely vozmozhnogo* [Artificial intelligence. The limits of the possible]. Moscow: Alpina Non-Fiction, 2020. 362 p. (In Russian)

4. Ageyev A.I., Loginov E.L. Battle for the future: who will be the first in the world to master noomonitoring and cognitive programming of subjective reality? *Econ. strategies.* 2017. Vol. 19. No. 2. Pp. 124–139. (In Russian)

5. Bootle R. Artificial intelligence and the economy. Work, wealth, and welfare in the age of the robot. Moscow: Intellektual'naya Literatura, 2022. 432 p. (In Russian)

6. Devyatkov V.V. *Sistemy iskusstvennogo intellekta* [Artificial intelligence systems] / Ed. I.B. Fedorov. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2001. 352 p. (In Russian)

7. Brynjolfsson E., McAfee E. The Second machine age: work, progress and prosperity in the age of new technologies: trans. from English. M.: AST, 2017. 382 p. (In Russian)

8. Osipov G. Artificial intelligence: state of research and a look into the future [Electronic resource]. Access mode: http://www.raai.org/about/persons/osipov/pages/ai/ai.html (date of access: 09.21.2025). (In Russian)

9. Bizengin B., Bakkuev E., Eneeva M., Sarbasheva E. Formation of a new model of organizing agriculture in the North Caucasus. *Society and Economy.* 2025. No. 6. Pp. 76–95. (In Russian)

10. Zhangorazova Zh.S., Bakkuev E.S., Kokova E.R. Methodological approaches to the analysis of the dynamics of agroeconomic development of a region in the context of digital transformation. *Bulletin of the Academy of Knowledge*. 2020. No. 38(3). Pp. 111–115. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Жангоразова Жансурат Султановна, д-р экон. наук, профессор кафедры «Управление», Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова;
360030, Россия, г. Нальчик, проспект Ленина, 1в;
econ_dekanat@rambler.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7694-3035, SPIN-код: 7557-7852

Баккуев Эльдар Сафарович, д-р экон. наук, профессор кафедры «Управление», Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова;
360030, Россия, г. Нальчик, проспект Ленина, 1в;
bakkuev@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2175-6619, SPIN-код: 3401-6753

Газаева Мадина Шараповна, канд. экон. наук, доцент кафедры «Управление», Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова;
360030, Россия, г. Нальчик, проспект Ленина, 1в;
mtramova@yahoo.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8868-4309, SPIN-код: 2030-4444

Килов Астемир Олегович, аспирант 2-го курса кафедры «Управление», Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова;
360030, Россия, г. Нальчик, проспект Ленина, 1в

Information about the authors

Zhansurat S. Zhangorazova, Doctor of Economics, Professor, Department of Management, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov;
1v, Lenin avenue, Nalchik, 360030, Russia;
econ_dekanat@rambler.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7694-3035, SPIN-code: 7557-7852

Eldar S. Bakkuev, Doctor of Economics, Professor, Department of Management, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov;
1v, Lenin avenue, Nalchik, 360030, Russia;
bakkuev@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2175-6619, SPIN-code: 3401-6753

Madina Sh. Gazaeva, Candidate of Economics, Associate Professor, Department of Management, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov;
1v, Lenin avenue, Nalchik, 360030, Russia;
mtramova@yahoo.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8868-4309, SPIN-code: 2030-4444

Astemir O. Kilov, Postgraduate, Department of Management, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov;
1v, Lenin avenue, Nalchik, 360030, Russia

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

УДК 330.34 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-300-313
EDN: QWHAUZ

Исследование теоретических основ, моделей и методов управления процессами формирования системы мотивации акторов региональной экономики с целью создания и развития новых высокотехнологичных отраслей

О. З. Загазежева, И. А. Мамбетов

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Статья посвящена исследованию теоретических основ и практических механизмов управления мотивацией акторов региональной экономики для создания и развития новых высокотехнологичных отраслей. На примере конкретных робототехнических проектов, разрабатываемых в Кабардино-Балкарском научном центре РАН (таких как робот-агрозащитник, робот для уборки урожая в теплицах, антропомиметический манипулятор), рассматриваются потенциал и рыночные перспективы их коммерциализации. В работе предлагается применение мультиагентных нейрокогнитивных архитектур для моделирования сложных слабоструктурированных процессов. Инвестиции в производство высокоинтеллектуальных продуктов, а также мотивация всех акторов региональной экономической системы и сотрудничество в этой сфере приведут к быстрому и стабильному экономическому росту и улучшению качества жизни человека.

Цель исследования – изучить теоретические основы, модели и методы управления, необходимые для формирования эффективной системы мотивации акторов региональной экономики. Конечная цель этой системы мотивации – стимулирование создания и развития новых высокотехнологичных отраслей в регионе.

Методы исследования. Статистический и системный анализ, индукция, обработка и интерпретация данных, выявление закономерностей и имитационное моделирование.

Результаты. Предложены элементы эффективной региональной инновационной системы, включая научно-образовательный фундамент, технологическую базу и глобальную интеграцию, необходимые для достижения технологического суверенитета и устойчивого развития производственных систем. В работе представлена интеллектуальная система для анализа данных и выработки решений, применимая в различных сферах жизнедеятельности человека. Проанализированы модели организации инновационной деятельности (административно-командная, рыночного общества, тройной спирали, Novum Trivium), а также ключевые факторы, ограничивающие технологическое развитие в России.

Выводы. Исследование подтверждает, что развитие конкурентоспособных высокотехнологичных секторов требует системного управления мотивацией ключевых участников региональной экономики. Наиболее эффективной является модель тройной спирали, интегрирующая государство, бизнес и науку. Разработки в области агроробототехники и ИИ обладают значительным потенциалом для импортозамещения. Для его реализации необходимы преодоление системных ограничений, создание целостной инновационной среды и внедрение гибких механизмов поддержки, что обеспечит технологический суверенитет и устойчивое развитие региона.

Ключевые слова: региональная экономика, высокотехнологичные отрасли, система мотивации, инновационные проекты, искусственный интеллект, интеллектуальная робототехника, мультиагентная нейрокогнитивная архитектура (МНА), модель тройной спирали, технологическое развитие, коммерциализация технологий, региональная инновационная система (РИС), технологический суверенитет, государственно-частное партнерство, управление инновациями

© Загазежева О. З., Мамбетов И. А., 2025

Поступила 03.11.2025, одобрена после рецензирования 20.11.2025, принята к публикации 04.12.2025

Для цитирования. Загазежева О. З., Мамбетов И. А. Исследование теоретических основ, моделей и методов управления процессами формирования системы мотивации акторов региональной экономики с целью создания и развития новых высокотехнологичных отраслей // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 300–313. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-300-313

Original article

Development of theoretical foundations, models and methods for managing processes of formation of motivation system for regional economic actors to participate in the creation and development of new high-tech industries

O.Z. Zagazezheva, I.A. Mambetov

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

Abstract. The article is devoted to the study of the theoretical foundations and practical mechanisms for managing the motivation of actors in the regional economy to create and develop new high-tech industries. Using the example of specific robotics projects developed at the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (such as an agro-protection robot, a greenhouse harvesting robot, and an anthropomimetic manipulator), the potential and market prospects for their commercialization are discussed. The paper proposes the application of multi-agent neurocognitive architectures for modeling complex, weakly-structured processes. Investments in the production of highly intellectual products, coupled with the motivation of all actors in the regional economic system and cooperation in this area, will lead to rapid and stable economic growth and an improvement in the quality of human life.

Aim. Research objective is to study the theoretical foundations, models, and management methods necessary for forming an effective system of motivation for actors in the regional economy. The ultimate goal of this motivation system is to stimulate the creation and development of new high-tech industries in the region.

Methods. Statistical and system analysis, induction, data processing and interpretation, identification of patterns, and simulation modeling.

Results. Elements of an effective regional innovation system are proposed, including a scientific-educational foundation, a technological base, and global integration, necessary for achieving technological sovereignty and the sustainable development of production systems. The paper presents an intelligent system for data analysis and decision-making, applicable in various spheres of human activity. Models of organizing innovation activity (administrative-command, market society, triple helix, Novum Trivium) are analyzed, as well as key factors limiting technological development in Russia.

Conclusions. The study confirms that the development of competitive high-tech sectors necessitates systematic management of key regional economic actors' motivation. The triple helix model integrating government, business, and science proves most effective. Developments in agricultural robotics and AI show significant import substitution potential. Realizing this requires overcoming systemic constraints, creating an integrated innovation environment, and implementing flexible support mechanisms to ensure technological sovereignty and sustainable regional development.

Keywords: regional economy, high-tech industries, motivation system, innovation projects, artificial intelligence, intelligent robotics, multi-agent neurocognitive architecture (MNA), triple helix model, technological development, technology commercialization, regional innovation system (RIS), technological sovereignty, public-private partnership, innovation management

Submitted 03.11.2025, approved after reviewing 20.11.2025, accepted for publication 04.12.2025

For citation. Zagazezheva O.Z., Mambetov I.A. Development of theoretical foundations, models and methods for managing processes of formation of motivation system for regional economic actors to participate in creation and development of new high-tech industries. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 300–313. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-300-313

Введение

Разработка теоретических основ, моделей и методов управления процессами формирования системы мотивации акторов региональной экономики к участию в создании и развитии новых высокотехнологичных отраслей включает в себя анализ существующих теорий мотивации и экономического развития, разработку адаптированных к условиям региона моделей, а также создание конкретных методов для стимулирования бизнеса и населения к инновационной деятельности. Ключевые элементы включают создание благоприятного инвестиционного климата, поддержку инновационных стартапов, развитие человеческого капитала и построение эффективных механизмов государственно-частного партнерства.

Концепция технологического развития России до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 20 мая 2023 года №1315-р, направлена на развитие высокотехнологичных отраслей экономики страны. В ней сформулированы три основополагающих для развития страны цели:

1. Обеспечение национального контроля над воспроизводством критических и сквозных технологий**.** К критическим технологиям относятся, например, микроэлектроника, станкостроение, биоинженерия, обработка материалов. Сквозные технологии определяют будущий облик экономики и отдельных отраслей в среднесрочной перспективе. К ним относятся искусственный интеллект, новые материалы, квантовые вычисления и коммуникации, накопление энергии, системы связи, космические системы.

2. Переход к инновационно ориентированному экономическому росту. Усиление роли технологий как фактора развития экономики и социальной сферы.

3. Технологическое обеспечение устойчивого развития производственных систем. Обеспечение устойчивого функционирования и развития производственных систем.

Актуальность исследования обусловлена стратегическими задачами технологического развития России, сформулированными в Концепции технологического развития до 2030 года, включая обеспечение национального контроля над критическими и сквозными технологиями, переход к инновационно ориентированному росту и технологическое обеспечение устойчивости производственных систем. Существенный разрыв между научными разработками и их коммерциализацией, низкая доля частных инвестиций в НИОКР, а также необходимость формирования действенных механизмов мотивации всех акторов региональной экономики определяют высокую значимость данного исследования.

Научная новизна заключается в комплексном подходе, объединяющем теоретический анализ моделей инновационного развития (тройная спираль, Novum Trivium) с демонстрацией их практической апробации на примере конкретных робототехнических проектов, реализуемых в региональном научном центре. В работе представлен перспективный подход на основе мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры (МНА), который в дальнейшем может стать основой для создания систем общего искусственного интеллекта. Предложены предварительные механизмы возможной интеграции МНА в региональную инновационную систему для управления процессами мотивации и кооперации.

1. Инновационные робототехнические проекты КБНЦ РАН

В качестве примера рассмотрим разработки ФНЦ «Кабардино-Балкарский научный центр РАН», которые при их внедрении могут создать высокотехнологические отрасли в регионе страны:

1. **Робот-агрозащитник** – предназначен для ежедневного мониторинга состояния растений на всех этапах их роста – от фазы всходов до сбора урожая. Такой подход может значительно повысить эффективность агрономических процессов. Кроме того, своевременное опрыскивание поможет сократить расходы на химикаты, что положительно скажется как на экологии, так и на качестве конечного продукта (рис. 1).

***Рис. 1**. Прототип робота-агрозащитника*

***Fig. 1**. Prototype for an agricultural protection robot*

В процессе разработки робота используются элементы искусственного интеллекта, включая распознавание объектов, навигацию, диалоговый интерфейс для постановки задач на естественном языке и различные датчики для измерений и мониторинга. Искусственный интеллект, который планируется внедрять в робот, разрабатывается в Кабардино-Балкарском научном центре РАН. В отличие от традиционных искусственных нейронных сетей подобная система, учитывая функциональные особенности агентных взаимодействий и хранения данных, имеет высокий потенциал для обработки многомодальных неструктурированных потоков данных в реальных условиях. При этом для обучения мультиагентной архитектуры потребуется значительно меньший объем исходных данных [1].

Предполагается, что применение модели тройной спирали в сочетании с мультиагентной нейрокогнитивной архитектурой позволит создать эффективную систему управления мотивацией и кооперацией. В реализации проекта робота-агрозащитника это выражается в следующих взаимосвязанных действиях: государственные органы через механизмы региональных программ софинансирования обеспечивают налоговые льготы сельхозпроизводителям, внедряющим данную разработку; бизнес-структуры участвуют в создании производственной кооперации для серийного выпуска роботов и предоставляют тестовые площадки для апробации; научное сообщество адаптирует алгоритмы МНА для прогнозирования экономического эффекта от внедрения и оптимизации зон обслуживания.

Мультиагентная архитектура в данном случае может использоваться для моделирования сценариев взаимодействия между участниками, позволяя определить оптимальные параметры мотивационного воздействия – например, расчет необходимого объема субсидий при различных вариантах кооперации сельхозпредприятий.

В России общая площадь земель, отведенных под зерновые культуры, составляет около 50 миллионов гектаров. Потребность в данном сервисе здесь оценивается примерно в 1 миллион единиц, что соответствует потенциальному объему рынка в 4 трлн рублей.

В Кабардино-Балкарской Республике площадь земель под зерновыми культурами составляет около 200 тысяч гектаров. Потребность в сервисе в этом регионе оценивается примерно в 4 тысячи единиц, что может привести к доступному объему рынка около 16 милли-

ардов рублей. Согласно статистике, лишь 1–2 % сельскохозяйственных предприятий внедряют инновационные технологии, такие как беспилотные летательные аппараты (БПЛА) для сельского хозяйства. На первом этапе (в течение 5 лет) планируется реализовать 1,5 % от доступного объема рынка, что составит примерно 240 миллионов рублей при количестве 60 единиц [2].

2. **Робот для уборки урожая в теплицах**. Робототехнический комплекс предназначен для автоматизированного сбора урожая на плантациях: он самостоятельно обнаруживает плодоовощную продукцию заданной зрелости, аккуратно отделяет ее от растений и транспортирует в товарном виде к месту складирования [3].

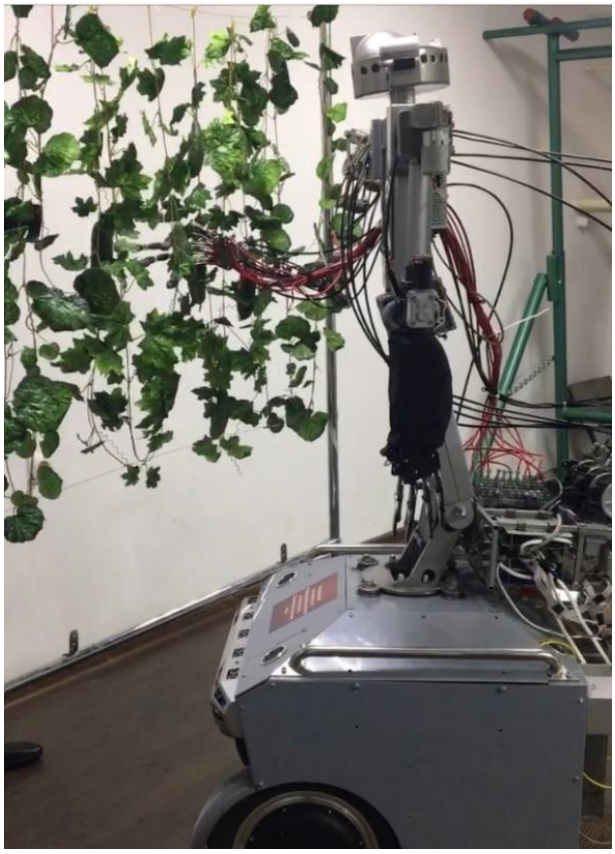


***Рис. 2**. Прототип робота по уборке урожая в теплице*

***Fig. 2**. A prototype robot for harvesting in a greenhouse*

Для отработки миссии и целей робота для уборки урожая в теплицах также необходимо применять технологии, основанные на искусственном интеллекте, такие как на вышеуказанном роботе. Вместе с тем для успешного выполнения своей миссии робототехнический комплекс должен самостоятельно занимать рабочую позицию на плантации, учитывая вид культуры, расположение и особенности посадок, а также требуется оптимальное размещение стационарных модулей комплекса с учетом транспортной логистики и условий энергоснабжения. При этом он должен собирать урожай, оптимизируя режимы работы агрегатов и минимизируя повреждения растений.

В данном робототехническом проекте интеграция принципов «тройной спирали» может осуществляться через создание консорциума, где государство обеспечивает инфраструктурную поддержку (энергоснабжение, логистика), бизнес инвестирует в масштабирование производства, а научные организации совершенствуют систему компьютерного

зрения на основе МНА. При этом мультиагентная архитектура будет служить инструментом балансировки интересов сторон – например, путем моделирования распределения интеллектуальных прав на разработки между участниками консорциума, что повышает прозрачность сотрудничества и снижает риски конфликтов. Такое комплексное применение принципов тройной спирали и технологий МНА может сформировать основу для устойчивой кооперации, где каждый участник получает четкие экономические и научные выгоды от участия в проектах.

Робототехнический комплекс стоимостью около 3 млн рублей обладает высоким потенциалом для внедрения в тепличных хозяйствах по всему миру. При планируемой производительности в 20 га в день и общей площади тепличных хозяйств, достигающей 1,3 млн га[1], потенциальный объем рынка оценивается в 65 000 единиц. Достижение всего 1 % доли рынка позволит получить выручку в 195 млн рублей.

В России тепличные хозяйства под огурцы занимают около 90 тыс. га. И если в этих хозяйствах будет внедрен всего 1 % инновационных разработок, то это принесет выручку около 135 млн рублей.

3. **Антропомиметический манипулятор**. Для обеспечения сбора урожая в теплице используется антропомиметический манипулятор, который по своим характеристикам имитирует руку человека (рис. 3). В первую очередь использование манипулятора предполагает автоматизацию процесса сбора урожая, что может снизить зависимость от ручного труда и повысить скорость и эффективность работы. Вместе с тем он может выполнять задачи с высокой точностью и деликатностью, чтобы не повредить плоды при сборе. Это особенно важно для деликатных культур, таких как огурцы.

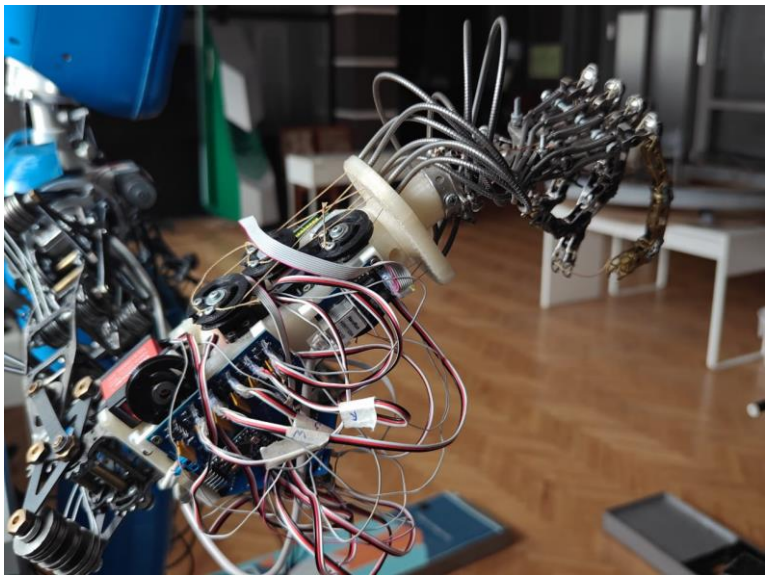


***Рис. 3**. Прототип антропомиметического манипулятора – кисти робота*

***Fig. 3**. A prototype for an anthropomorphic manipulator – a robotic hand*

Манипулятор может быть самостоятельной единицей и применяться в различных сферах жизнедеятельности человека, таких как [4, 5]:

– медицина – в частности хирургические операции, реабилитация;

[1]Ученые определили стран-лидеров по числу тепличных хозяйств // ООО «Гавриш Проф». URL: https://gavrishprof.ru/info/publications/uchyonye-opredelili-stran-liderov-po-chislu-teplichnyh-hozyaystv (дата обращения: 17.10.2025).

– промышленность – сборка, сортировка, упаковка;

– обслуживание – работа с опасными материалами, удаленная диагностика и ремонт и т.д.

Потребность в данной разработке является высокой, так как автоматизированные и роботизированные системы предназначены для облегчения жизни человека.

4. **Мультиагентная нейрокогнитивная архитектура**. Для эффективной работы робота в естественной среде необходимы системы, способные решать сложные слабоформализованные задачи, а также обучаться и адаптироваться к изменяющимся внешним условиям [6]. Существующие решения в области искусственного интеллекта не обладают в полной мере этими свойствами и поэтому недостаточно эффективны. Предполагается, что решить данную проблему сможет система искусственного интеллекта, разрабатываемая в КБНЦ РАН [7, 8]. На рисунке 4 представлен интерфейс разрабатываемого искусственного интеллекта, который построен на базе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур (МНА). Мультиагентная система имитирует работу головного мозга человека. В ней расположены на соответствующих слоях модели агентов-нейронов различных типов. Основными преимуществами такого подхода, как предполагается, являются формирующиеся в системе свойства адаптируемости и обучаемости благодаря информационным взаимодействиям между агентами. Интеллектуальная часть (обмен информацией между агентами) анализирует данные, полученные извне системы, формирует соответствующие представления о проблеме, а затем принимает решение или выдает рекомендацию (команду на робота) для дальнейшего ориентира человеку-оператору. Все это делает подобный искусственный интеллект многофункциональным инструментом для решения сложных задач в условиях различных проблемных сред, в которых существует неопределенность или неполнота сведений об исследуемом объекте.

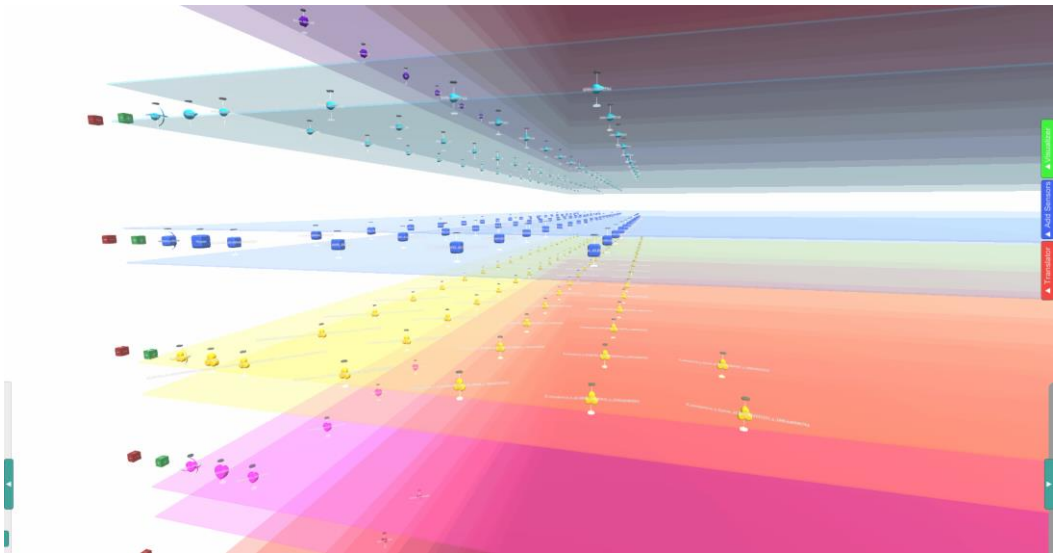


***Рис. 4**. Интерфейс мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры*

***Fig. 4**. Interface for a multi-agent neurocognitive architecture*

В будущем планируется довести МНА до уровня общего искусственного интеллекта [9–11], постепенно добавляя в нее подсистемы, способные решать специфичные для отдельных исследуемых областей задачи (рис. 5).

***Рис. 5**. Представление примера набора задач, решаемых ИИ*

***Fig. 5**. An example of a series of tasks solved using AI*

Данные разработки, относящиеся к сквозным технологиям, имеют кросс-отраслевой характер и могут быть адаптированы для различных сфер деятельности.

2. Построение эффективной системы управления технологическим развитием

Данная система включает координацию усилий государства, бизнеса и научных организаций для создания благоприятных условий для инноваций и внедрения новых технологий.

Рассмотрим различные модели организации общества для стимулирования инноваций, каждая имеет свои особенности и недостатки:

1. Административно-командная модель (Мексика): в данной модели государство играет доминирующую роль, управляя всеми институтами «сверху вниз». Университеты выполняют второстепенную образовательную функцию, но недостаток инициатив из других секторов ограничивает эффективность модели [12, 13].

2. Модель рыночного общества (США): в данном случае университеты, государство и бизнес функционируют независимо друг от друга. Университеты занимаются образованием и наукой, бизнес – рыночными отношениями, а государство вмешивается только для исправления «провалов рынка». Индивидуальное предпринимательство присутствует, но недостаточно для развития высокотехнологичных предприятий, требующих сотрудничества.

3. Модель тройной спирали: здесь модель (университеты, бизнес и государство) предполагает тесное взаимодействие и сотрудничество для устойчивого экономического и социального развития. Ключевые принципы:

– усиление роли университетов как предпринимательских центров;

– гибридизация ролей, каждая сфера выполняет функции других (университеты способствуют экономическому развитию, бизнес занимается образованием, государство финансирует новые предприятия).

Инновации возникают на пересечении этих трех сфер. При этом необходимо соблюсти:

– наличие трех взаимосвязанных пространств – знаний, согласия (консенсуса), инноваций;

– важность обмена кадрами между сферами («циркуляция» людей и опыта).

4. Модель Novum Trivium: включает в себя традиционные дисциплины специализации, инноватику и предпринимательство (практическое применение знаний), иностранный язык и общекультурные компетенции (адаптация к глобализации) [12].

Каждая модель имеет свои преимущества и недостатки, и выбор наиболее подходящей модели зависит от конкретных условий и целей. Модель тройной спирали подчеркивает важность сотрудничества между университетами, бизнесом и государством для стимулирования инноваций. Модель Novum Trivium акцентирует важность подготовки кадров, способных к инновациям в глобальном мире.

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 25.04.2022 № 231 в стране реализуется Десятилетие науки и технологий (2022–2031 гг.). Данная инициатива нацелена на решение следующих задач: привлечение талантливой молодежи к научной деятельности; вовлечение научного сообщества в решение приоритетных задач развития общества; повышение информированности населения о достижениях российской науки и техники.

Для вовлечения молодежи в наукоемкие разработки в Кабардино-Балкарском научном центре РАН реализуется комплекс мероприятий. Ниже на рисунке 6 приведена схема, иллюстрирующая этот процесс.

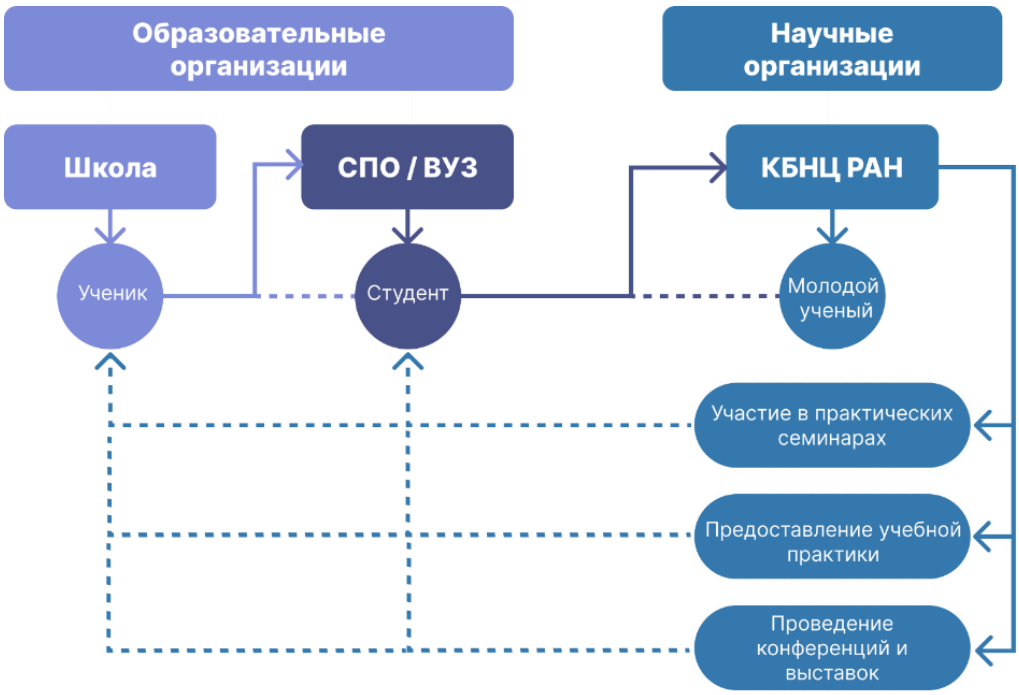


***Рис. 6**. Схема работы по привлечению талантливой молодежи к научной деятельности*

***Fig. 6**. The plan for involving talented young people in scientific activities*

3. Технологическое обеспечение устойчивого функционирования и развития производственных систем

Для перспективного развития высокотехнологичных разработок необходимо внедрение искусственного интеллекта, робототехники, сенсорики, развитие квантовых технологий, новых материалов. Также драйверами роста могут стать технологические решения в области медицины, аграрной промышленности, альтернативной, ядерной и водородной энергетики. Развиваются проекты, связанные с поиском новых решений для космической сферы, транспорта и логистики, в области хранения энергии.

Для российской экономики ставится задача формирования конкурентных преимуществ в данных направлениях в ближайшие годы для обеспечения собственного суверенитета. Выделим факторы, ограничивающие данное развитие на текущий момент[2]:

1. В структуре финансирования научно-технологической сферы преобладают государственные вложения, доля предпринимательского сектора остается относительно низкой – в течение последних десяти лет во внутренних затратах на НИОКР она не превышала 14–16 % и имела тенденцию к снижению.

2. Низкий уровень инновационной активности компаний (средний показатель по видам экономической деятельности в 2022 году составил 10,8 %.

3. Недостаточная зрелость институциональной поддержки инновационной деятельности.

4. Снижение патентной активности (3 % на изобретения и 5,7 % на полезные модели за 2021–2022 гг.).

5. Низкий уровень коммерциализации инноваций.

6. Неразвитость венчурного рынка.

Благодаря развитым технологиям и эффективным производственным системам, обеспечивающим их стабильное функционирование, такие страны, как Швейцария, Швеция, США, Сингапур, Великобритания, Южная Корея, Финляндия, Нидерланды и Германия, занимают ведущие места в мировых инновационных и технологических рейтингах. Эти страны характеризуются наличием больших корпораций и инвестиций в науку до развитой инфраструктуры и государственной поддержки инноваций. Россия, хотя и не входит в абсолютный топ, демонстрирует достаточно высокий уровень технологического развития по версии одного из рейтингов (Global Finance), но отстает от признанных лидеров, таких как Германия, Япония и Китай. Для достижения технологического лидерства необходим комплексный подход, включающий развитие образования, науки, поддержку бизнеса и инноваций, а также создание благоприятной экосистемы [14].

Опыт ведущих инновационных регионов России показывает, что эффективное управление региональными инновационными системами (РИС) возможно только при непрерывном поиске и внедрении новых форм работы, взаимодействия, инструментов и методов управления. Ключевую роль играет сбалансированная координация федеральной и региональной инновационной политики, включающая оптимизацию существующих и создание новых мер поддержки на региональном уровне. Важно повышать эффективность использования действующих институтов (технопарки, бизнес-инкубаторы, ОЭЗ, наукограды), а также расширять федеральную поддержку региональных программ, нацеленных на малый инновационный бизнес, и создавать дополнительные меры поддержки регионов, активно инвестирующих в формирование своих инновационных экосистем [15].

Эффективная региональная инновационная система требует создания благоприятной экосистемы, основанной на высокой самоорганизации, тесной кооперации и интенсивном взаимодействии участников. Для этого необходим комплекс взаимосвязанных элементов:

1. Научно-образовательный фундамент – развитая научно-исследовательская база (университеты и институты) для генерации технологий и подготовки квалифицированных кадров.

2. Технологическая база – обеспечение доступа к современным информационно-коммуникационным технологиям, высокоскоростным сетям и оборудованию. Следует обеспечить доступность мощных компьютеров, серверов, специализированного оборудования

[2]Исследование особенностей развития технологического предпринимательства в России // Фонд «Росконгресс». URL: https://roscongress.org/materials/issledovanie-osobennostey-razvitiya-tekhnologicheskogo-predprinimatelstva-v-rossii/ (дата обращения: 17.10.2025)

для исследований и разработок, а также предоставить доступ к современному лабораторному, измерительному, производственному оборудованию, необходимому для конкретных отраслей (например, для робототехники, биотехнологий, производства полупроводников и т.д.). Вместе тем требуется также обеспечить доступ к лицензионным программным продуктам для моделирования, анализа данных и разработки.

3. Практико-ориентированное образование – системы обучения, направленные на развитие креативности и навыков решения комплексных задач в соответствии с потребностями экономики. Компании-производители современной наукоемкой продукции в регионе открывают для студентов и молодых ученых двери к практическому освоению передовых технологий, тем самым ускоряя их профессиональное развитие.

4. Глобальная интеграция – активное международное сотрудничество для обмена опытом, привлечения инвестиций и доступа к мировым технологиям. В текущий период, когда традиционные экономические связи нарушены, сотрудничество с дружественными странами является стратегическим императивом. Оно обеспечивает не только выживание бизнеса в условиях санкций, но и создает фундамент для устойчивого роста, технологического развития и финансовой независимости, формируя новые центры притяжения в глобальной экономике.

В период санкций необходимо также обеспечить финансовую стабильность, данные ограничения серьезно затруднили международные расчеты в традиционных валютах. Сотрудничество с дружественными странами позволяет создавать альтернативные платежные системы – развитие систем, независимых от SWIFT, и интеграция национальных финансовых инфраструктур (например, использование карт «Мир» в дружественных странах) обеспечивают надежность транзакций. Вместе тем дружественные юрисдикции становятся основными источниками прямых иностранных инвестиций и партнерами по совместному финансированию крупных инфраструктурных и технологических проектов.

Заключение

Проведенное исследование подтверждает, что формирование конкурентоспособных высокотехнологичных отраслей в регионе требует системного подхода к управлению мотивацией ключевых акторов. Анализ различных моделей инновационного развития показал, что наибольшую эффективность демонстрирует модель тройной спирали, основанная на тесной кооперации государства, бизнеса и науки. Практические разработки КБНЦ РАН в сфере агроробототехники и искусственного интеллекта свидетельствуют о значительном потенциале для импортозамещения и создания новых рынков.

Для реализации этого потенциала необходимы консолидация усилий всех участников инновационной экосистемы и преодоление системных ограничений, таких как низкая доля частных инвестиций в НИОКР, слабая инновационная активность бизнеса и неразвитость венчурного финансирования. Ключевыми направлениями дальнейшей работы должны стать: построение целостной региональной инновационной экосистемы, сочетающей мощный научно-образовательный фундамент с современной технологической базой и практико-ориентированным образованием; развитие международной кооперации с дружественными странами; внедрение гибких механизмов поддержки, стимулирующих горизонтальные связи и коммерциализацию научных разработок. Со стороны органов власти ключевыми мерами должны стать создание Регионального центра компетенций по робототехнике и разработка целевой программы финансирования перспективных разработок. Бизнес-сообществу целесообразно сформировать индустриальный консорциум для коммерциализации проектов и установить партнерские отношения с сельхозпроизводителями. Научным организациям необходимо сосредоточиться на создании экспери-

ментальной зоны для испытаний робототехнических комплексов и на развитии образовательных программ в области интеллектуальной робототехники. Реализация предложенных мер будет способствовать достижению технологического суверенитета и устойчивому развитию региональной экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ксалов А. М., Бжихатлов К. Ч., Пшенокова И. А., Заммоев А. У.* Разработка транспортной подсистемы автономного робота для системы активной защиты растений // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 2(106). С. 31–40. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-2-106-31-40

2. *Шуганов В. М., Лешкенов А. М.* Современное состояние и перспективы повышения производства органической растениеводческой продукции в России на основе применения цифровых и умных технологий // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 1. С. 31–41. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-31-41

3. *Шалова С. Х., Загазежева О. З.* Обзор рынка сельскохозяйственных роботов и их влияние на экономическое развитие // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. № 7(209). С. 57–70. DOI: 10.23683/2311-3103-2019-7-57-70

4. *Нагоев З. В., Загазежева О. З., Бжихатлов К. Ч., Мамбетов И. А.* Разработка интеллектуальной робототехнической системы сбора урожая // Известия ЮФУ. Технические науки. 2025. № 2(244). С. 40–51. DOI: 10.18522/2311-3103-2025-2-40-51

5. *Рыбаков А. В., Лихтер А. М., Погожева А. Б. и др.* Проектирование робототехнических манипуляторов с системой компьютерного зрения для сбора томатов [Электронный ресурс] // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2020. № 3(51). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-robototehnicheskih-manipulyatorov-s-sistemoy-kompyuternogo-zreniya-dlya-sbora-tomatov (дата обращения: 11.11.2025)

6. *Азарнова Т. В., Аснина Н. Г., Щепин Л. А.* Математические модели и методы оценки и управления ресурсной устойчивостью развития предприятия // Системы управления и информационные технологии. 2021. № 3(85). С. 54–59. DOI: 10.36622/VSTU.2021.85.3.010

7. *Pshenokova I., Bzhikhatlov K., Nagoeva O. et al.* Autonomous Robot Navigation System as Part of a Human-Machine Team Based on Self-organization of Distributed Neurocognitive Architectures // Interactive Collaborative Robotics. ICR 2023. Lecture Notes in Computer Science. 2023. Vol. 14214. Pp. 56–67. DOI: 10.1007/978-3-031-43111-1_6

8. *Нагоев З.В.* Основные принципы нейрокогнитивного моделирования сознания агента универсального искусственного интеллекта // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 1. С. 152–170. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-152-170

9. *Russell S., Norvig P.* Artificial Intelligence: A Modern Approach. 2nd ed. Moscow: Williams, 2007. 1424 p.

10. *Николаева Е. М., Николаев М. С., Васильева В. С.* Человек и искусственный интеллект: перспективы и риски биолого-кремниевой коллаборации [Электронный ресурс] // Век глобализации. 2024. № 2(50). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/chelovek-i-iskusstvennyy-intellekt-perspektivy-i-riski-biologo-kremnievoy-kollaboratsii (дата обращения: 11.11.2025).

11. *Анчёков М. И., Бжихатлов К. Ч., Нагоев З. В. и др.* Онтоэписоциофилогенетическое развитие систем общего искусственного интеллекта на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур [Электронный ресурс] // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6(110). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ontoepisotsiofilogeneticheskoe-razvitie-sistem-obschego-iskusstvennogo-intellekta-na-osnove-multiagentnyh-neyrokognitivnyh (дата обращения: 11.11.2025).

12. *Ицковиц Г.* Модель тройной спирали // Инновации. 2011. № 4(150). С. 5–10.

13. *Popodko G.I., Nagaeva O.S.* "Triple Helix" Model for Recourse-Based Regions // Journal of Siberian Federal University. Humanities and Social Sciences. 2019. Vol. 12. No. 12. P. 2309–2325. DOI: 10.17516/1997-1370-0524

14. *Лепеш Г. В., Угольникова О. Д., Шарафутдинова Л. Р.* Концептуальные основы цифровой индустриализации (на примере стран с различными технологическими укладами) [Электронный ресурс] // ТТПС. 2021. № 2(56). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnye-osnovy-tsifrovoy-industrializatsii-na-primere-stran-s-razlichnymi-tehnologicheskimi-ukladami (дата обращения: 11.11.2025).

15. *Фадейкина Н. В., Малина С. С.* О стратегической архитектуре региональной инновационной экосистемы // Научные записки НГУЭУ. 2019. № 2. С. 22–29.

REFERENCES

1. Ksalov A.M., Bzhikhatlov K.Ch., Pshenokova I.A., Zammoev A.U. Development of transport subsystem of autonomous robot for active plant protection system. *News of the Kabardino-Balkarian Center of the Russian Academy of Sciences*. 2022. No. 2(106). Pp. 31–40. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-2-106-31-40. (In Russian)

2. Shuganov V.M., Leshkenov A.M. Current state and prospects for increasing production of organic crop products in Russia based on application of digital and smart technologies. *News of the Kabardino-Balkarian Center of the Russian Academy of Sciences.* 2025. Vol. 27. No. 1. Pp. 31–41. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-31-41. (In Russian)

3. Shalova S.Kh., Zagazezheva O.Z. Review of agricultural robot market and their impact on economic development]. *Izvestiya JuFU. Tehnicheskie nauki.* 2019. No. 7(209). Pp. 57–70. DOI: 10.23683/2311-3103-2019-7-57-70. (In Russian)

4. Nagoev Z.V., Zagazezheva O.Z., Bzhikhatlov K.Ch., Mambetov I.A. Development of intelligent robotic harvesting system. *Izvestiya JuFU. Tehnicheskie nauki.* 2025. No. 2(244). Pp. 40–51. DOI: 10.18522/2311-3103-2025-2-40-51. (In Russian)

5. Rybakov A.V., Lihter A.M., Pogozheva A.B. et al. Design of robotic manipulators with computer vision system for tomato harvesting. *Prikaspijskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tehnologii.* 2020. No. 3(51). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-robototehnicheskih-manipulyatorov-s-sistemoy-kompyuternogo-zreniya-dlya-sbora tomatov (accessed 11 November 2025). (In Russian)

6. Azarnova T.V., Asnina N.G., Shhepin L.A. Mathematical models and methods for assessment and management of resource sustainability of enterprise development. *Sistemy upravlenija i informacionnye tehnologii.* 2021. No. 3(85). Pp. 54–59. DOI: 10.36622/VSTU.2021.85.3.010. (In Russian)

7. Pshenokova I., Bzhikhatlov K., Nagoeva O. et al. Autonomous robot navigation system as part of a human-machine team based on self-organization of distributed neurocognitive architectures. *Interactive Collaborative Robotics. ICR 2023. Lecture Notes in Computer Science.* 2023. Vol. 14214. Pp. 56–67. DOI: 10.1007/978-3-031-43111-1_6

8. Nagoev Z.V. Basic principles of neurocognitive modeling of universal artificial intelligence agent consciousness. *News of the Kabardino-Balkarian Center of the Russian Academy of Sciences.* 2025. Vol. 27. No. 1. Pp. 152–170. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-152-170. (In Russian)

9. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 2nd edition. Moscow: Williams, 2007. 1424 p.

10. Nikolaeva E.M., Nikolaev M.S., Vasil'eva V.S. Human and artificial intelligence: prospects and risks of biological-silicon collaboration. *Vek globalizacii.* 2024. No. 2(50). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/chelovek-i-iskusstvennyy-intellekt-perspektivy-i-riski-biologo-kremnievoy-kollaboratsii (accessed 11 November 2025). (In Russian)

11. Anchekov M.I., Bzhikhatlov K.Ch., Nagoev Z.V. et al. Ontoepisocio-phylogenetic development of general artificial intelligence systems based on multi-agent neurocognitive architectures. *News of the Kabardino-Balkarian Center of the Russian Academy of Sciences*. 2022. No. 6(110). available at: https://cyberleninka.ru/article/n/ontoepisotsiofilogeneticheskoe-razvitie-sistem-obschego-iskusstvennogo-intellekta-na-osnove-multiagentnyh-neyrokognitivnyh (accessed 11 November 2025). (In Russian)

12. Ickovic G. Triple helix model. *Innovations.* 2011. No. 4(150). Pp. 5–10. (In Russian)

13. Popodko G.I., Nagaeva O.S. "Triple Helix" model for recourse-based regions. *Journal of Siberian Federal University*. *Humanities and Social Sciences.* 2019. Vol. 12. No. 12. Pp. 2309–2325. DOI: 10.17516/1997-1370-0524

14. Lepesh G.V., Ugol'nikova O.D., Sharafutdinova L.R. Conceptual foundations of digital industrialization (on the example of countries with different technological structures). *TTPS.* 2021. No. 2(56). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnye-osnovy-tsifrovoy-industrializatsii-na-primere-stran-s-razlichnymi-tehnologicheskimi-ukladami (accessed 11 November 2025). (In Russian)

15. Fadejkina N.V., Malina S.S. On strategic architecture of regional innovation ecosystem. *Nauchnye zapiski NGUJeU* [Scientific notes of NSUEM]. 2019. No. 2. Pp. 22–29. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Загазежева Оксана Зауровна, канд. эконом. наук, заведующая Инжиниринговым центром, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

oksmil.82@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0903-4234, SPIN-код: 3223-6780

Мамбетов Идар Арсенович, науч. сотр. Инжинирингового центра, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

idar.mam12@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4723-9874, SPIN-код: 5951-8195

Information about the authors

Oksana Z. Zagazezheva, Candidate of Economic Sciences, Head of the Engineering Center of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

oksmil.82@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0903-4234, SPIN-code: 3223-6780

Idar A. Mambetov, Researcher at the Engineering Center of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

idar.mam12@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4723-9874, SPIN-code: 5951-8195

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

УДК 330.34 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-314-328
EDN: RDFHVI

Исследование развития и прогноз отечественного и мирового рынков систем искусственного интеллекта и интеллектуальных робототехнических комплексов

О. З. Загазежева✉, А. А. Махошев, К. Ф. Край, С. Х. Шалова, М. И. Хаджиева

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Статья посвящена комплексному исследованию текущего состояния и долгосрочных перспектив развития мирового и отечественного рынков систем искусственного интеллекта и интеллектуальных робототехнических комплексов. Был проведен сравнительный анализ стратегий технологического развития ведущих стран, а также выявлены ключевые тенденции, драйверы роста и системные ограничения. На основе анализа статистических данных и государственных программ представлены сценарные прогнозы развития отрасли на 5, 10 и 15–20 лет. В статье особое внимание уделено позиционированию российских компаний на глобальной арене и их конкурентным преимуществам в условиях импортозамещения и геополитических изменений.

Целью работы является комплексный анализ долгосрочных перспектив развития отечественного и мирового рынков систем искусственного интеллекта и интеллектуальных робототехнических комплексов, а также определение стратегических конкурентных преимуществ в условиях формирующейся многополярной технологической экосистемы.

Методы исследования. В работе применялись методы сравнительного анализа, статистического анализа данных, экспертных оценок, контент-анализ государственных программ и стратегий технологического развития, а также сценарное прогнозирование. Использованы данные международных организаций (IFR, Stanford HAI), аналитических агентств (McKinsey, Gartner, BCG) и официальные статистические отчеты.

Результаты. Систематизированы стратегии технологического развития ведущих стран, выявлено значительное отставание России по уровню роботизации (5–7 роботов на 10 000 работников против 150–1000 у лидеров). Определены три сценария развития российского рынка ИИ (оптимистичный, базовый, пессимистичный) с прогнозом объема рынка от 4,1 до 7,1 млрд долларов к 2027 году. Показана успешная специализация российских компаний в нишевых сегментах (кибербезопасность, инспекция инфраструктуры, сервисная робототехника) и их растущее присутствие на рынках Азии, Ближнего Востока и Африки.

Выводы. Доминирование западных стран в технологической сфере постепенно ослабевает, формируется эра технологического полицентризма. Россия, сосредоточившись на обеспечении технологического суверенитета, демонстрирует значительный прогресс в специализированных сегментах ИИ и робототехники. Ключевыми факторами успеха станут преодоление системных ограничений (низкая доля частных инвестиций, слабая инновационная активность бизнеса), развитие образовательной инфраструктуры и углубление международной кооперации с дружественными странами. Долгосрочная конкурентоспособность российских решений будет определяться их надежностью, адаптивностью и независимостью от западных технологических цепочек.

Ключевые слова: интеллектуальные робототехнические комплексы, искусственный интеллект, прогнозирование рынка, технологическое развитие, импортозамещение, промышленная робототехника, инновационная экосистема, технологический суверенитет, глобальная конкуренция, цифровая трансформация, государственные программы, сценарное планирование, российский ИТ-рынок, международное технологическое сотрудничество, кибербезопасность

© Загазежева О. З., Махошев А. А., Край К. Ф., Шалова С. Х., Хаджиева М. И., 2025

Поступила 07.11.2025, одобрена после рецензирования 26.11.2025, принята к публикации 09.12.2025

Для цитирования. Загазежева О. З., Махошев А. А., Край К. Ф., Шалова С. Х., Хаджиева М. И. Исследование развития и прогноз отечественного и мирового рынков систем искусственного интеллекта и интеллектуальных робототехнических комплексов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 314–328. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-314-328

Original article

Research on development and forecast of domestic and global markets for artificial intelligence systems and intelligent robotic complexes

O.Z. Zagazezheva✉, A.A. Makhoshev, K.F. Krai, S.Kh. Shalova, M.I. Khadzhieva

The Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

Abstract. The article is devoted to a comprehensive study of the current state and long-term prospects for the development of the global and domestic markets for artificial intelligence systems and intelligent robotic complexes. A comparative analysis of the technological development strategies of leading countries has been conducted, and key trends, growth drivers, and systemic constraints have been identified. Based on statistical data and government programs, scenario forecasts for industry development over 5-, 10-, and 15–20-year horizons are presented. Special attention is paid to the positioning of Russian companies on the global stage and their competitive advantages in light of import substitution and geopolitical changes.

Aim. The study provides a comprehensive analysis of the long-term prospects for the development of domestic and global markets for artificial intelligence systems and intelligent robotic complexes, as well as the identification of strategic competitive advantages within an emerging multipolar technological ecosystem.

Research methods. The study employs comparative analysis, statistical data analysis, expert assessments, content analysis of government programs and technological development strategies, as well as scenario forecasting. Data from international organizations (IFR, Stanford HAI), analytical agencies (McKinsey, Gartner, BCG), and official statistical reports have been used.

Results. Technological development strategies of leading countries were systematized, revealing a significant gap in Russia's level of robotization (5–7 robots per 10,000 employees compared to 150–1000 among global leaders). Three scenarios for the development of the Russian AI market (optimistic, baseline, pessimistic) were formulated, projecting market volume between USD 4.1 and 7.1 billion by 2027. The study highlights the successful specialization of Russian companies in niche segments (cybersecurity, infrastructure inspection, service robotics) and their growing presence in Asian, Middle Eastern, and African markets.

Conclusions. The dominance of Western countries in the technological sphere is gradually weakening, giving rise to an era of technological polycentrism. Russia, by focusing on technological sovereignty, is demonstrating significant progress in specialized segments of AI and robotics. Key success factors include overcoming systemic constraints (low private investment, weak business innovation activity), developing educational infrastructure, and deepening international cooperation with friendly countries. The long-term competitiveness of Russian solutions will depend on their reliability, adaptability, and independence from Western technological chains.

Keywords: intelligent robotic complexes, artificial intelligence, market forecasting, technological development, import substitution, industrial robotics, innovation ecosystem, technological sovereignty, global competition, digital transformation, government programs, scenario planning, Russian IT market, international technological cooperation, cybersecurity

Submitted 07.11.2025, approved after reviewing 26.11.2025, accepted for publication 09.12.2025

For citation. Zagazezheva O.Z., Makhoshev A.A., Krai K.F., Shalova S.Kh., Khadzhieva M.I. Research on development and forecast of domestic and global markets for artificial intelligence systems and intelligent robotic complexes. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 314–328. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-314-328

Введение

Отечественный IT-рынок постепенно формирует собственную экосистему с упором на создание и развитие собственных программных продуктов. Развитие искусственного интеллекта и робототехнических систем перестает быть чем-то абстрактным. Даже сейчас видно, что в России формируется довольно сложная экосистема, где старые технологические подходы уже практически не работают[1]. Иногда может показаться, что прогресс идет рывками, но на самом деле он, скорее, накапливается внутри индустрии и лишь затем проявляется в виде более заметных результатов. Если заглянуть в будущее, то можно предположить, что к 2030 году рынок разделится на два больших направления. Первое – это высокоинтеллектуальные универсальные системы, которые работают с изображениями, текстами и занимаются управлением интерфейсов. Второе – специальные решения, созданные под конкретные задачи и отрасли. Россия, вероятнее всего, сосредоточится именно на втором варианте по причине высокого спроса в энергетике, транспорте, производстве и госсекторе. Мировой рынок тем временем станет еще более разноплановым. Государства будут искать способы защитить свои технологии, что, в свою очередь, приведет к росту конкуренции между компаниями и странами. В этой новой среде отечественным IT и робототехническим компаниям придется доказывать свою эффективность, учитывая политические, экономические и культурные особенности всех регионов, куда их планируют внедрять. Многие отечественные компании уже показывают, что могут работать на глобальном уровне – это становится отправной точкой для более уверенного выхода на мировой рынок.

Российские компании, активно работающие в сфере ИИ, сейчас одновременно и догоняют мировых лидеров, и в чем-то уже пробуют свои собственные траектории развития. До 2030 года развитие российского IT-рынка будут определять следующие ключевые тренды: активное импортозамещение, кибербезопасность, облачные вычисления и искусственный интеллект [1].

По словам Максима Иванова, директора по искусственному интеллекту «Сбер Бизнес Софт», рынок ИИ активно развивается, показывая темпы роста в 30–40 % в 2023 году как в России, так и глобально. При этом экспертные оценки на ближайшее будущее значительно возросли: например, Bain Technology Report прогнозирует, что до 2027 года ежегодный прирост рынка может составить от 40 до 55 %[2].

Согласно Институту статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ, интеграция ИИ-решений является основным вектором развития промышленной робототехники, обеспечивающим интеллектуализацию роботов.

Исследование основных участников мирового рынка промышленных роботов

Китай и Япония являются лидерами в производстве робототехники, при этом Китай лидирует по объему производства, а Япония известна как крупнейший центр разработки и

[1]Обзор ключевых тенденций ИТ-рынка: что ждет отрасль в 2026 году https://www.megaresearch.ru/new_reality/obzor-klyuchevyh-tendenciy-it-rynka-chto-zhdet-otrasl-v-2026-godu?ysclid=mih8n65z4f876308155

[2]Тенденции развития технологий искусственного интеллекта в России. Обзор TAdviser 2025. https://data.koruscon-sulting.ru/press-center/blog/tendentsii-razvitiya-tekhnologiy-iskusstvennogo-intellekta-v-rossii-obzor-tadviser-2025/?ysclid=micup6stuc424832221

производства промышленных роботов. Также Германия, Южная Корея, США, Швеция и Сингапур входят в топ стран по робототехнике[3].

В 2024 году рынок промышленных роботов в Китае достиг $9,42 млрд. Сектор непрерывно растет благодаря увеличению спроса на автоматизацию в приоритетных производственных отраслях – электронике и автомобильной промышленности.

В Китае в 2015 году объем производства промышленных роботов составлял 69 тысяч единиц, к 2017 году он увеличился до 130 тысяч, в 2018 году достиг 182 тысяч и охватывал 40 % мирового производства. Несмотря на небольшое снижение на 3,1 % в 2019 году (до 177 тысяч устройств), уже в первой половине 2020 года производство составило 93 794 промышленных робота. По официальным данным, в 2020 году Китай произвел 212 тысяч таких устройств, показав рост в 20,7 % относительно 2019 года [2].

Основные государственные программы и меры поддержки в Китае приведены в таблице1.

Таблица 1. Ключевые элементы национальной технологической стратегии Китая: программы, фонды и инфраструктурные механизмы

Table 1. Key Elements of China's National Technological Strategy: Programs, Funds, and Infrastructural Mechanisms

Программа	Ключевые цели
«Сделано в Китае 2025» [3] (Made in China 2025, MIC 2025)	Локализация критических технологий и материалов; увеличить долю отечественных компонентов (40 % к 2020, 70 % к 2025); уменьшить зависимость от импорта; нарастить выпуск и компетенции в полупроводниках, ИИ, 5G, авиакосмосе, «умном» производстве, новых материалах, электро-/биомобилях и медтехнике. Концепция, вдохновленная «Индустрией 4.0», направлена на повышение роли Китая в глобальной цепочке добавленной стоимости. Налоговые льготы для высокотеха; стимулы для M&A зарубежных технологий; рост корпоративных расходов на НИОКР; прямое государственное финансирование исследований; дорожные карты по производительности, цифровизации и экологии; государственные фонды и нацлаборатории. Акцент на «умном» и «зеленом» производстве. Финансирование – сотни млрд через фонды, кредиты, субсидии и налоговые стимулы, крупные вложения в 5G/цифровую инфраструктуру.
Национальный естественно-научный фонд Китая (NSFC)	NSFC финансирует фундаментальные и прикладные исследования, развивает научные кадры, а также определяет направления исследований, оценивает проекты и распределяет финансирование на основе заслуг. Фонд сотрудничает с Министерством науки и технологий в формировании политик и планов по базовым исследованиям, поддерживает отечественные научные фонды и развивает международное научное сотрудничество. Фонд использует экспертную оценку для отбора проектов на основе их merit-based merits, справедливости и целесообразности. Финансирование: бюджет фонда вырос до 33 млрд юаней в 2022 году и 36,3 млрд юаней в 2024 году.
«Национальный проект развития интеллектуальных роботов» (National Intelligent Robotics Project)	Финансирование фундаментальных и прикладных исследований в робототехнике, создание национальных инновационных центров, поддержка стартапов.
Фонд поддержки перспективных отраслей будущего[4]	Фонд создан для стимулирования инвестиций в ранние технологические проекты, ускорения трансформации передовых инноваций в новые производительные силы и содействия превращению Шанхая в глобальный центр научно-технических инноваций.
Специальные экономические зоны и кластеры	Формирование концентраторов технологических компаний (например, в Шэньчжэне, Шанхае) с преференциальным налоговым режимом, упрощенными административными процедурами и развитой инфраструктурой.

[3]Производство промышленных роботов. Страны-лидеры https://alfamatic.ru/info/articles/obzor-rynka/proizvodstvo-promyshlennykh-robotov-strany-lidery/

[4]В Шанхае создан фонд поддержки отраслей будущего на $1,4 млрд https://russian.cgtn.com/news/2024-09-08/1832761754973880321/index.html

С правовой стороны, в Китае принят ряд законов и нормативно-правовых актов [4]: закон КНР «О научно-техническом прогрессе», постановление ЦК КПК «Об ускорении технического прогресса», закон КНР «О распространении научно-технических знаний», закон КНР «О стимулировании внедрения научно-технических достижений», закон КНР «О стимулировании средних и малых предприятий» и др.

Также правительство поддерживает создание и расширение производственных мощностей, в том числе через механизмы, стимулирующие коммерциализацию результатов исследований. Местные власти могут предоставлять землю для строительства производственных мощностей, а прибыль от реализации жилья, построенного на оставшихся участках, может быть направлена на финансирование НИОКР.

В таблице 2 представлены мировые лидеры в робототехнике, выделяющиеся высокой эффективностью продукции, технологическими инновациями и широким спектром отраслевого применения.

Таблица 2. Глобальный ландшафт робототехнических технологий: страны-лидеры, корпоративные акторы и их специализация

Table 2. Global landscape of robotic technologies: leading countries, corporate actors, and their specializations

Страна	Компания	Специализация
Япония	FANUC, Yaskawa, Kawasaki, Sony, Mitsubishi Electric	Робототехника, системы автоматизации и станки с ЧПУ, электроприводы, силовая электроника, системы автоматизации и бытовая техника.
Китай	DJI, ESTUN, Siasun, JAKA, EFORT	Промышленные роботы (артикулированные, SCARA, дельта), коллаборативные роботы (cobots), роботы для специальных применений, системы машинного зрения, автоматизированные производственные линии.
Южная Корея	Doosan Robotics, Hyundai Robotics, Yujin Robot, Rainbow Robotics	Коллаборативные роботы, промышленные роботы, сервисные и образовательные роботы.
Германия	KUKA Робототехника, Festo, Siemens, Bosch Rexroth,	Промышленная автоматизация, цифровые двойники производств, промышленные роботы, интеллектуальные системы управления, решения для «умного» производства.
США	Бостонская динамика (Boston Dynamics), Intuitive Surgical, iRobot, Amazon Robotics, Tesla.	Сервисные роботы (бытовые, медицинские, логистические). Автономные транспортные средства и дроны, передовые исследовательские платформы. Облачные технологии и IoT для роботов.
Швеция	АББ Робототехника (ABB (Asea Brown Boveri)), FlexLink,	Промышленные роботы и системы автоматизации, автоматизированные производственные линии.

По уровню автоматизации в глобальном масштабе Корея, Сингапур, Япония, материковый Китай, Гонконг и Тайбэй входят в число десяти наиболее автоматизированных экономик. В Европейском союзе показатель плотности роботизации составляет 208 роботов на 10 000 работников; при этом Германия, Швеция и Швейцария находятся в мировом рейтинге топ-10. В Северной Америке плотность роботизации достигает 188 роботов на 10 000 сотрудников, и США входят в десятку стран с наивысшей степенью автоматизации в обрабатывающей промышленности[5].

Особенности американской робототехники включают выраженные технологические преимущества: лидерство в области искусственного интеллекта и машинного обучения, мощную экосистему стартапов и венчурного капитала, передовые университетские исследования (MIT,

[5]Global Robotics Race: Korea, Singapore and Germany in the Lead. https://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-robotics-race-korea-singapore-and-germany-in-the-lead#

Stanford, CMU) и тесную военно-промышленную интеграцию через программы DARPA (Агентство перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США) [5]. Финансирование и поддержка обеспечиваются активными вложениями со стороны Министерства обороны (включая DARPA), инициативами вроде CHIPS and Science Act для поддержки полупроводниковой отрасли и сильной частной инвестиционной экосистемой.

Южная Корея рассматривает робототехнику как ключ к решению демографических и экономических проблем. Страна запланировала масштабные инвестиции – около $2,3 млрд – и цель распространить до 1 млн роботов к 2030 году для здравоохранения, производства и сферы услуг. Это должно помочь компенсировать старение населения и дефицит рабочей силы, повысить производительность и безопасность труда, а также поддержать рост внутреннего рынка роботов с $4,2 млрд до более $15 млрд к 2030 году[6]. Стратегия включает поддержку стартапов, развитие ключевых технологий, образовательные программы для подготовки специалистов и кампании по повышению общественного принятия роботизации.

Швеция также входит в число лидеров по робототехнике: развитый высокотехнологичный промышленный сектор стимулирует внедрение роботов, особенно в автомобильной и электронной отраслях; среди стартапов выделяются Pulpstone (ранее C3 Engineering), специализирующаяся на автономных мобильных роботах для складской автоматизации и логистики, и Aptom, разрабатывающая бионические протезы и медицинскую робототехнику; образовательную и исследовательскую базу обеспечивают KTH Royal Institute of Technology и Chalmers University of Technology, которые поддерживают тесное сотрудничество между академией и промышленностью.

По данным Международной федерации робототехники (IFR), в 2023 году в Швеции был достигнут один из самых высоких в мире уровней автоматизации, но точное число не было названо, а средний показатель по миру составил 162 робота на 10 000 сотрудников.

Анализ развития промышленной робототехники в России

Положение в России в сфере внедрения и развития робототехники крайне неоднозначное. С одной стороны, на государственном уровне признается стратегическая важность роботизации: для ее поддержки приняты соответствующие концепции и программы. С другой стороны, страна сталкивается с системным кризисом в этой области. Он проявляется в значительном отставании по уровню внедрения промышленных роботов по сравнению с мировыми лидерами, дисбалансе между финансированием научных разработок и подготовкой квалифицированных кадров, а также в ограниченности численности в научно-исследовательских центрах [6].

В России рынок промышленной робототехники находится «на этапе активного роста, стимулируемого национальными и федеральными проектами». Один из таких проектов – «Средства производства и автоматизации»[7], который включает в себя создание и развитие производства промышленных роботов и их интеграцию в производственные процессы, проект призван обеспечить технологическую независимость в области производства высокотехнологичных станков и повышение уровня промышленной роботизации. Основной целью является достижение показателя в 145 единиц роботов на 10 тысяч работников к 2030 году, что позволит войти в топ-25 стран по плотности роботизации.

[6]Видение Южной Кореи: робототехника для решения демографических и экономических проблем https://xpert.digital/ru/

[7]Нацпроект России «Средства производства и автоматизации» 2025–2030 https://xn-80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn-p1ai/new-projects/sredstva-proizvodstva-i-avtomatizatsii/

Существует ряд других стратегий и инициатив, таких как «Цифровая экономика»[8] – программа, направленная на ускоренное внедрение цифровых технологий в экономику и социальную сферу, повышение конкурентоспособности страны и качества жизни граждан. Она включает в себя такие федеральные проекты, как «Информационная инфраструктура», «Кадры для цифровой экономики», «Искусственный интеллект», «Цифровое государственное управление» и другие. Еще одной программой является «Национальная технологическая инициатива» (НТИ). Национальная технологическая инициатива[9] объединяет людей – предпринимателей, университеты, НИЦ, бизнес-объединения, институты развития, экспертов и органы власти – в коалиции, ориентированные на новые глобальные высокотехнологичные рынки ближайших двадцати лет. Программа фокусируется на подготовке исследователей, инженеров и предпринимателей; при этом НТИ важен реальный научно-технический задел, а не превращение государственных грантов в формальные отчеты. Государство в рамках программы выступает не как главный стратег, а как сервисная организация, помогающая ускорить развитие высокотехнологичного бизнеса внутри страны и на мировых рынках, причем НТИ, будучи национальной программой, поддерживает и международное сотрудничество как ключ к успешной интеграции отечественных компаний в глобальную технологическую экосистему.

В таблице 3 представлен сравнительный анализ мировых лидеров в робототехнике и России.

Таблица 3. Мировые ориентиры и российская траектория развития робототехнических технологий: сравнительная таблица

Table 3. Global benchmarks and Russia's trajectory in robotics: comparison

Критерий	Мировые лидеры	Россия
Госстратегия	Четкие, амбициозные, хорошо финансируемые дорожные карты (MIC 2025, DARPA).	Рамочные стратегии с умеренным финансированием, текущий фокус – импортозамещение.
Финансирование	Сотни миллиардов долларов госинвестиций, развитый венчурный рынок.	Скромное госфинансирование, слабый венчурный рынок, зависимость от госзаказа.
Производство	Массовое, десятки/сотни тысяч единиц в год. Глобальные игроки.	Штучное, нишевое. Несколько тысяч единиц в год. Компании-разработчики (МСП).
Специализация	Полный спектр: промышленные, сервисные, медицинские, военные роботы с ИИ.	Сервисные, образовательные роботы; отдельные успехи в промышленных и андроидных.
Уровень автоматизации	Высокий (150–1000 роботов на 10 000 работников).	Крайне низкий (5–7 роботов на 10 000 работников).
Научная база	Сильная, тесно интегрированная с промышленностью.	Сильная академическая база, но слабая коммерциализация разработок.
Ключевой вызов	Поддержание технологического лидерства и развитие следующего поколения ИИ.	Преодоление технологической изоляции, налаживание серийного производства и массового внедрения.

[8]Нацпроект России «Цифровая экономика Российской Федерации» https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/projects/tsifrovaya-ekonomika/

[9] Национальная технологическая инициатива https://nti2035.ru/nti/

Российские продукты интеллектуальной кибербезопасности заняли свою нишу на мировом рынке. Отечественные компании, предоставляющие услуги по кибербезопасности, активно предлагают широкий спектр услуг на мировом рынке. Например, компания «Лаборатория Касперского» имеет глобальное присутствие на рынке более чем в 200 странах, предоставляя услуги по защите от вирусов, шпионских ПО, создавая активные точки в кибербезопасности. Центральный офис компании находится в Москве. Решения, предоставляемые компанией Касперского, адаптированы под требования регуляторов по общему регламенту защиты данных и широко применяются в странах Евросоюза. В России и странах СНГ компания является лидером продаж в потребительском сегменте. В странах ближнего Востока, Африки и Турции «Касперский» демонстрирует быстрые темпы роста. Рост продаж составил 20 % в 2024 году для частных пользователей. Проходя независимые тесты, продукты компании регулярно занимают лидирующие позиции в рейтингах и получают награды международного уровня.

Изначально импортозамещение начиналось как вынужденный шаг, но со временем превратилось в точку роста. Главными проблемами в импортозамещении были и остаются нехватка кадров и медленная адаптация предприятий. Отечественный рынок старается делать ставку на собственные силы, причем не только по политическим причинам, а потому что глобальная конкуренция объективно меняется.

Государственные образовательные учреждения и крупные компании все чаще переходят на отечественные продукты в сфере программного обеспечения. В эти решения входят офисные пакеты, облачные решения, операционные системы и системы управления базами данных. Происходит минимизация зависимости от западных компаний, предоставляющих услуги по данному направлению. Создается единая экосистема отечественного ПО. Например, в компаниях и на предприятиях внедряются отечественные бизнес-решения, такие как 1С, «Битрикс» и др., обеспечивающие суверенность цифровых систем в нашей стране. Ожидается ускорение продаж отечественного ПО за счет импорта в дружественные страны, такие как Индия, Латинская Америка и др. Некоторые отечественные ИТ-компании уже на сегодняшний день имеют выход на международный рынок и активно там развиваются: например, сервисы Яндекса, Касперского, ITV и Mail Group, которые работают в странах СНГ, некоторых странах Ближнего Востока и Африки[10] [8].

Интеллектуальные автоматизированные системы для выполнения сложных задач

Российские компании, занимающиеся робототехническими комплексами, оказались чуть ли не самыми устойчивыми в условиях санкций. Например, отечественные компании занимаются активным внедрением промышленных интеллектуальных роботов в производство на предприятиях. Особую нишу занимает сервисная и специализированная интеллектуальная робототехника, охватывающая сферу безопасности и мониторинга. В наше время некоторые отечественные робототехнические модели распространены в странах, где, казалось бы, конкурировать с крупными мировыми вендорами невозможно [9]. Российские компании, которые раньше делали роботов под узкие требования, сейчас начинают мыслить глобальнее. Особенно это заметно на примере интеллектуальных мобильных платформ и автономных систем, например таких, как роботы для инспекции инфраструктуры (трубопроводов, шахт и производственных площадок). Парадокс заключается в том, что российские интеллектуальные робототехнические решения зачастую пользуются большим

[10]Обзор ключевых тенденций ИТ-рынка: что ждет отрасль в 2026 году https://www.megaresearch.ru/new_reality/obzor-klyuchevyh-tendenciy-it-rynka-chto-zhdet-otrasl-v-2026-godu?ysclid=mih93qy8fs536538401

спросом в странах Азии, Африки и Ближнего Востока, чем на отечественном рынке. Отечественные решения популярны своей надежностью и относительной дешевизной, их самое главное преимущество – отсутствие завязки на западных санкционных цепочках. В будущем российскую робототехнику будет ждать еще более углубленная интеграция с ИИ, но не так, как это делают американские или китайские компании, которые стремятся унифицировать все платформы в единый интеллектуальный робототехнический комплекс. В РФ, судя по тому, как развиваются компании, логика будет отличаться: специализированные интеллектуальные робототехнические комплексы, которые выполняют небольшое количество функций, но делают это с максимальной точностью и без затрат на дорогие компоненты. Это главное конкурентное преимущество на мировом рынке, особенно в условиях стабилизации политической ситуации в мире. С точки зрения долгосрочной перспективы отечественные роботы будут применяться в сферах и зонах, где другие страны не смогут использовать собственные системы.

Например, отечественная компания TUBOT, производящая роботов для внутритрубной инспекции «In Pipe Robots», заключила международные контракты с Нидерландами и Китаем. Продукция данной компании имеет большой спрос в этих странах и является бессменным лидером в своей нише. Или компания Firefighting, производящая роботов для пожаротушения robotic fire suppression systems. Решения данной компании применяются как на отечественных, например на объектах «Газпрома», так и на зарубежных АЭС. Самая популярная отечественная компания, занимающаяся внедрением робототехники в других странах, – это «Promobot», штаб-квартира которой находится в Перми. Линейка продуктов данной компании, в частности сервисные и административные роботы Robo-C, Promobot V.4, пользуется большим спросом в ОАЭ, Израиле, Кувейте и некоторых странах Европы.

Развитие интеллектуальной робототехнической отрасли будет зависеть также от того, насколько государство продолжит поддержку роботизации промышленности. Главная проблема, замедляющая развитие и рост робототехнических компаний, – страх предприятий вкладываться в инновации и новые технологии из-за частых перемен, связанных с экономической ситуацией в стране.

На международном рынке возможно появление новых ниш, которые раньше были недоступными. Отечественные роботы, например, уже сейчас используются для пожаротушения и проверки опасных объектов. Это те направления, где конкуренция не настолько жесткая, как, например, в высокоточной робототехнике.

Прогнозы отечественного и мирового рынка систем искусственного интеллекта и интеллектуальных робототехнических комплексов

Отечественный прогноз развития ИИ предполагает реализацию в 2025 году государственной стратегии РФ, а также ряда федеральных проектов. К примеру, расходы на реализацию федерального проекта «Искусственный интеллект» составили 7,7 миллиарда рублей. Данные финансовые средства будут направлены на поддержку отечественных технологий ИИ, а также на создание условий для их использования как предприятиями, так и гражданами.

В целом аналитики придерживаются рассмотрения трех сценариев развития российского рынка ИИ: оптимистичного, базового и пессимистичного.

Первый основан на фиксации уровня среднегодового роста около 50 %, а также гарантии достижения показателя объема в 7,1 млрд долларов к 2027 году, предполагает успешную реализацию государственных программ и активное внедрение ИИ в ключевых отраслях.

Второй регламентирует рост 40 % в год наряду с 5,8 млрд долларов к тому же сроку, что и предыдущий сценарий развития, принимая в расчет умеренность темпов цифровизации с постоянным преодолением технологических барьеров.

Третий сценарий подразумевает рост лишь 25 % с объемом 4,1 млрд долларов, характерный для ситуации, связанной с усугублением санкционного давления, в комплексе влекущим за собой замедление инвестиционной активности и торможение процесса внедрения ИИ.

Мировой прогноз развития ИИ

По данным Statista, в 2025 году размер рынка ИИ составит рекордные 254,5 млрд долларов. В ближайшие семь лет он будет ежегодно расти в среднем на 37 % в год, в результате чего к 2031 году его объем увеличится до 1,68 трлн долларов.

Согласно обзору Стэнфордского университета AI Index-2025, частные вложения в ИИ в мире за последние 10 лет выросли в 13 раз и по итогам 2024 года составили около 252,3 млрд долларов [10, 11, 12]. Дальше они будут только расти, однако уже по итогам 2025 года инвестиции, связанные с ИИ, внесут больший вклад в ВВП США, чем потребительские расходы.

Эксперты Boston Consulting Group предполагают, что к 2030 году мировой рынок робототехники может увеличиться в десять раз, достигнув $260 млрд.

Таблица 4. Стратегические прогнозы трансформации ИИ и интеллектуальных робототехнических комплексов на 2024–2044 гг.

Table 4. Strategic forecasting for transformation of AI and intelligent robotic systems over the 2024–2044 horizon

Период	Прогнозы по искусственному интеллекту	Прогнозы по интеллектуальной робототехнике и ИРК
5 лет (2024–2029)	Данные компании McKinsey предполагают, что к 2030 году ИИ может принести до 13 триллионов долларов в глобальный ВВП[11]. Gartner прогнозирует, что к 2027 году более 50 % предприятий будут использовать ИИ-платформы для оптимизации операций. Фокус на «Демократизацию ИИ», когда инструменты станут доступны малому бизнесу; повсеместное внедрение генеративного ИИ в креативных индустриях и кодинге; развитие «ИИ как услуги» (AIaaS).	Данные IFR предполагают рост ежегодных поставок промышленных роботов на 10-15 % в год, с взрывным ростом в Китае, США и ЕС [13]. Робототехника станет «когнитивной»: роботы научатся лучше понимать контекст и работать в неструктурированной среде. Расширение из промышленности в логистику, ритейл и здравоохранение. Появление массовых решений для доставки «последней мили».
10 лет (2029–2034)	Анализ от OpenAI и DeepMind предполагает движение к ИИ «искусственного общего интеллекта» (AGI) – системе, способной выполнять любые интеллектуальные задачи, доступные человеку. Сроки крайне спорны, но исследования ускорятся [6]. Сращивание ИИ с биологией: персонализированная медицина, создание новых белков и материалов. Возникновение нормативно-правовой базы для этичного ИИ и регулирования AGI.	Прогноз от Boston Dynamics и других лидеров – появление истинно автономных роботов, способных долго работать в сложных условиях (стройки, МЧС, сельское хозяйство) без вмешательства человека. Робототехника «человеко-центричная»: тесная коллаборация людей и роботов на всех уровнях. Начало эры персональных роботов-помощников для дома, но пока в премиум-сегменте.
15–20 лет (2034–2044)	Сценарный прогноз от институтов вроде Future of Humanity Institute рассматривает несколько путей: от утопического (ИИ решает глобальные проблемы – голод, изменение климата) до рискового (проблемы контроля, кибербезопасности, социального неравенства). ИИ станет «невидимой утилитой», как электричество, фундаментально встроенной во все аспекты жизни. Вероятное достижение AGI, что потребует пересмотра экономических моделей и самого понятия «труд».	Трансформация экономики: массовая автоматизация физического труда в большинстве отраслей. Появление «симбиотических» систем, где роботы являются физическим воплощением AGI, способным действовать в реальном мире. Распространение роботов-компаньонов с развитым социальным интеллектом.

[11]https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/notes-from-the-ai-frontier-modeling-the-impact-of-ai-on-the-world-economy (дата обращения: 05.11.2025).

Россия исторически имела сильные школы в математике, физике и компьютерных науках, что является хорошим фундаментом. За последние 5-7 лет был предпринят целенаправленный рывок, чтобы преодолеть отставание и занять свою нишу.

Ключевые элементы «скачка» включали:

1. Институциональное и финансовое оформление, подразумевавшее:

– создание АНО «ИИР» (Институт Искусственного Интеллекта) в 2021 году как центра управления и финансирования исследований, бюджет которого на первые три года составлял около 70 млрд рублей;

– реализацию федерального проекта «Искусственный интеллект» в рамках нацпрограммы «Цифровая экономика»[12].

2. Фокус на прикладные исследования и импортозамещение.

Данные компании-лидеры предполагают, что основной рост идет в сегментах, критичных для безопасности и суверенитета: компьютерное зрение для ВПК, распознавание речи и NLP (Yandex, Sber, ЦРТ), беспилотные системы (Кронштадт, Калашников).

Развитие отечественных фреймворков, таких как OpenVINO (Intel, но с сильной российской командой разработчиков) и Kandinsky (от Сбера) для генеративного ИИ.

Успехи в конкретных областях

Компьютерное зрение: российские алгоритмы (например, от NtechLab, VisionLabs) традиционно занимают высокие места в международных рейтингах.

Сравнительный анализ показывает, что мировой тренд ведет к тотальной цифровизации и интеллектуализации экономики и общества, где ИИ и роботы становятся их новой инфраструктурой [13, 14].

Россия совершила значительный организационный и научный «скачок», чтобы не выпасть из этой гонки. Ее долгосрочная стратегия, судя по публичным документам, основана не на тотальном лидерстве, а на обеспечении технологического суверенитета и занятии сильных позиций в рыночных нишах, где сочетаются ее исторические научные школы и текущие геополитические приоритеты (оборона, безопасность, освоение арктических и космических пространств). Успех этой стратегии будет зависеть от способности преодолеть внутренние технологические ограничения и интегрироваться в новые контуры международного сотрудничества [15].

Выводы

Проведенное исследование позволяет сделать ряд принципиальных выводов о текущем состоянии и перспективах развития рынков искусственного интеллекта и интеллектуальной робототехники.

Сформировалась устойчивая тенденция к технологическому полицентризму – эпоха доминирования исключительно западных технологических стандартов подходит к концу. На мировую арену выходят новые центры технологического влияния, предлагающие альтернативные модели развития.

Россия в этой новой системе координат демонстрирует противоречивую динамику. С одной стороны, сохраняется значительное отставание по ключевым количественным показателям: плотность роботизации в 20–30 раз ниже, чем у вышеупомянутых стран, объемы финансирования несопоставимы с китайскими или американскими инвестициями. С другой стороны, сформировались узнаваемые конкурентные преимущества в специализированных нишах – кибербезопасности, системах инспекции инфраструктуры, сервисной робототехнике.

[12]Федеральный проект «Искусственный интеллект» (Россия): Паспорт федерального проекта «Искусственный интеллект» (в ред. от 28.12.2022) [Электронный ресурс] // Правительство России. – URL: https://spa.msu.ru/wp-content/uploads/5-1.pdf (дата обращения: 20.11.2025).

Отечественный технологический сектор демонстрирует значительный прогресс в двух ключевых направлениях: интеллектуальной кибербезопасности и интеллектуальных робототехнических комплексах. Это развитие характеризуется не только высоким уровнем экспертизы российских компаний в обнаружении сложных киберугроз и ростом числа разработок высокоинтеллектуальных робототехнических систем, но и их качественным усложнением, а также формированием самодостаточных отечественных научных школ и инновационных центров, способных предлагать миру альтернативные решения.

Анализ показал, что дальнейшее развитие российского технологического сектора будет определяться несколькими факторами. Критически важным представляется преодоление системных ограничений – низкой доли частных инвестиций в НИОКР, слабой инновационной активности бизнеса, разрыва между научными разработками и их коммерциализацией. Не менее значимыми являются развитие образовательной инфраструктуры и подготовка кадров, способных работать в условиях новой технологической парадигмы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Григорьева С. В., Бородянский И. А.* Современные средства, используемые при формировании интеллектуальных систем управления [Электронный ресурс] // ИВД. 2025. № 1(121). // URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-sredstva-ispolzuemye-pri-formirovanii-intellektualnyh-sistem-upravleniya

2. *Коледенкова Н. Н.* Развитие робототехники в КНР как важное звено стратегии модернизации промышленного производства // Восточная Азия: факты и аналитика. 2021. № 1. С. 78–87. DOI: 10.24412/2686-7702-2021-1-78-87

3. *Перская В. В., Ревенко Н. С.* «Сделано в Китае 2025»: китайский опыт обеспечения задач национального развития // Азия и Африка сегодня. 2020. № 7. С. 19–25. DOI: 10.31857/S032150750010100-2

4. *Осипова М. С.* Закон Китайской Народной Республики «О научно-техническом прогрессе»: приоритеты государственной политики в научно-технологической сфере и гарантии их достижения // Юридическое образование и наука. 2023. № 10. С. 42–45. DOI: 10.18572/1813-1190-2023-10-42-45.

5. *Комисарук Р. В.* Государственное регулирование инновационной деятельности в КНР // Инновации и инвестиции. 2022. № 5. С. 279–281.

6. *Фролов В. Г., Перова В. И.* Анализ инновационно-инвестиционной сбалансированности промышленной политики России в условиях цифровой трансформации с применением методов искусственного интеллекта [Электронный ресурс] // Вопросы инновационной экономики. 2023. № 1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-innovatsionno-investitsionnoy-sbalansirovannosti-promyshlennoy-politiki-rossii-v-usloviyah-tsifrovoy-transformatsii-s (дата обращения: 27.11.2025).

7. *Верещагина Н. М.* Современные достижения робототехники в России // Образовательная робототехника: состояние, проблемы, перспективы: сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной 35-летию факультета технологии и предпринимательства, Новосибирск, 24–26 октября 2018 года / Под редакцией Р. В. Каменева, Е. Е. Ступиной. Новосибирск: Новосибирский государственный педагогический университет, 2019. С. 56–58.

8. *Николай И. К., Бондарева Н. Н.* Перспективы и условия развития робототехники в России [Электронный ресурс] // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2016. № 2(26). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-i-usloviya-razvitiya-robototehniki-v-rossii (дата обращения: 27.11.2025).

9. *Николаев А. Б.* Промышленная робототехника в России в условиях введения санкций [Электронный ресурс] // Робототехника и техническая кибернетика. 2024. № 3. URL:

https://cyberleninka.ru/article/n/promyshlennaya-robototehnika-v-rossii-v-uslovixah-vvedeniya-sanktsiy (дата обращения: 27.11.2025).

10. *Maslej N., Fattorini L., Brynjolfsson E., Etchemendy J., Ligett K., Lyons T., Manyika J.* The AI Index 2023 Annual Report [Электронный ресурс] // Institute for Human-Centered AI (HAI), Stanford University. 2023. URL: https://aiindex.stanford.edu/report/ (дата обращения: 20.11.2025).

11. *Нагоев З. В., Загазежева О. З., Бжихатлов К. Ч., Мамбетов И. А.* Разработка интеллектуальной робототехнической системы сбора урожая // Известия ЮФУ. Технические науки. 2025. № 2(244). С. 40–51. DOI: 10.18522/2311-3103-2025-2-40-51

12. *Смоликова Т. М.* Эволюция робототехники и искусственного интеллекта: вызовы и прогнозы [Электронный ресурс] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Е. Педагогические науки. 2020. № 15. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/evolyutsiya-robototehniki-i-iskusstvennogo-intellekta-vyzovy-i-prognozy (дата обращения: 27.11.2025).

13. *Климачев Т. Д., Карасев Д. А.* Изучение практического опыта и перспективных сфер применения технологий искусственного интеллекта на российских предприятиях производственной сферы в условиях санкционного давления // Вопросы инновационной экономики. 2024. Т. 14. № 2. С. 483–502. DOI: 10.18334/vinec.14.2.121042

14. *Пороховский А. А.* Цифровизация и искусственный интеллект: перспективы и вызовы // Экономика. Налоги. Право. 2020. № 2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-i-iskusstvennyy-intellekt-perspektivy-i-vyzovy (дата обращения: 27.11.2025).

15. *Файков Д. Ю., Байдаров Д. Ю.* Технологическая независимость, технологический суверенитет, технологическое лидерство: особенности стратегического выбора [Электронный ресурс] // Научные труды Вольного экономического общества России. 2025. № 3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskaya-nezavisimost-tehnologicheskiy-suverenitet-tehnologicheskoe-liderstvo-osobennosti-strategicheskogo-vybora (дата обращения: 27.11.2025).

REFERENCES

1. Grigoryeva S.V., Borodyansky I.A. Modern tools used in the formation of intelligent control systems [Electronic resource]. *IVD*. 2025. No. 1(121). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-sredstva-ispolzuemye-pri-formirovanii-intellektualnyh-sistem-upravleniya. (In Russian)

2. Koledenkova N.N. Development of robotics in China as an important link in the strategy for modernizing industrial production. *East Asia: Facts and Analytics*. 2021. No. 1. Pp. 78–87. DOI: 10.24412/2686-7702-2021-1-78-87. (In Russian)

3. Perskaya V.V., Revenko N.S. “Made in China 2025”: Chinese experience in ensuring national development goals. *Asia and Africa Today*. 2020. No. 7. Pp. 19–25. DOI: 10.31857/S032150750010100-2. (In Russian)

4. Osipova M.S. The law of the people's republic of China “on scientific and technological progress”: priorities of state policy in the scientific and technological sphere and guarantees for their achievement. *Legal Education and Science*. 2023. No. 10. Pp. 42–45. DOI: 10.18572/1813-1190-2023-10-42-45. (In Russian)

5. Komisaruk R.V. State regulation of innovation activity in China. *Innovation and Investment*. 2022. No. 5. Pp. 279–281. (In Russian)

6. Frolov V.G., Perova V.I. Analysis of innovation-investment balance in Russia’s industrial policy under digital transformation using artificial intelligence methods [Electronic resource]. *Issues of Innovative Economy*. 2023. No. 1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-innovatsionno-investitsionnoy-sbalansirovannosti-promyshlennoy-politiki-rossii-v-usloviyah-tsifrovoy-transformatsii-s (accessed 27.11.2025). (In Russian)

7. Vereshchagina N.M. Modern achievements of robotics in Russia. *Educational Robotics: State, Problems, Prospects*: Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 35th anniversary of the faculty of technology and entrepreneurship, Novosibirsk, October 24–26, 2018 / Edited by R.V. Kamenev, E.E. Stupina. Novosibirsk: Novosibirsk State Pedagogical University, 2019. Pp. 56–58. (In Russian)

8. Nikolai I.K., Bondareva N.N. Prospects and conditions for the development of robotics in Russia [Electronic resource]. *MIR (Modernization. Innovation. Development).* 2016. No. 2(26). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-i-usloviya-razvitiya-robototehniki-v-rossii (accessed 27.11.2025). (In Russian)

9. Nikolaev A.B. Industrial robotics in Russia under sanctions [Electronic resource]. *Robotics and Technical Cybernetics*. 2024. No. 3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/promyshlennaya-robototehnika-v-rossii-v-uslovixah-vvedeniya-sanktsiy (accessed 27.11.2025). (In Russian)

10. Maslej N., Fattorini L., Brynjolfsson E., Etchemendy J., Ligett K., Lyons T., Manyika J. *The AI Index 2023 Annual Report* [Electronic resource]. Institute for Human-Centered AI (HAI), Stanford University. 2023. URL: https://aiindex.stanford.edu/report/ (accessed 20.11.2025).

11. Nagoev Z.V., Zagazezheva O.Z., Bzhikhatlov K.Ch., Mambetov I.A. Development of an intelligent robotic harvesting system. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. 2025. No. 2(244). Pp. 40–51. DOI: 10.18522/2311-3103-2025-2-40-51. (In Russian)

12. Smolikova T.M. Evolution of robotics and artificial intelligence: challenges and forecasts [Electronic resource]. *Bulletin of Polotsk State University. Series E. Pedagogical Sciences.* 2020. No. 15. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/evolyutsiya-robototehniki-i-iskusstvennogo-intellekta-vyzovy-i-prognozy (accessed 27.11.2025). (In Russian)

13. Klimachev T.D., Karasev D.A. Studying practical experience and promising areas of artificial intelligence application at Russian manufacturing enterprises under sanctions pressure. *Issues of Innovative Economy*. 2024. Vol. 14. No. 2. Pp. 483–502. DOI: 10.18334/vinec.14.2.121042. (In Russian)

14. Porokhovsky A.A. Digitalization and artificial intelligence: prospects and challenges. *Economics. Taxes. Law.* 2020. No. 2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-i-iskusstvennyy-intellekt-perspektivy-i-vyzovy (accessed 27.11.2025). (In Russian)

15. Faikov D.Yu., Baydarov D.Yu. Technological independence, technological sovereignty, technological leadership: features of strategic choice [Electronic resource]. *Scientific Works of the Free Economic Society of Russia.* 2025. No. 3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskaya-nezavisimost-tehnologicheskiy-suverenitet-tehnologicheskoe-liderstvo-osobennosti-strategicheskogo-vybora (accessed 27.11.2025). (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Загазежева Оксана Зауровна, канд. эконом. наук, заведующая Инжиниринговым центром, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

oksmil.82@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0903-4234, SPIN-код: 3223-6780

Махошев Артур Ахматович, мл. науч. сотр. Инжинирингового центра, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

arturmakhosh@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9199-7632, SPIN-код: 1796-1543

Край Карина Фаезовна, зав. лаб. «Модели и методы развития инновационных разработок» Инжинирингового центра, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
kraykarina@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6927-7361, SPIN-код: 5967-0267
Шалова Сатаней Хаутиевна, науч. сотр. Инжинирингового центра, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
satanei@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2345-1309, SPIN-код: 2183-8224
Хаджиева Мариям Ильясовна, мл. науч. сотр. Инжинирингового центра, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
mariam9248@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1607-1324, SPIN-код: 4706-570

Information about the authors

Oksana Z. Zagazezheva, Candidate of Economic Sciences, Head of the Engineering Center of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
oksmil.82@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0903-4234, SPIN-code: 3223-6780
Artur A. Makoshev, Junior Researcher, Engineering Center of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
arturmakhosh@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9199-7632, SPIN-code: 1796-1543
Karina F. Krai, Head of the laboratory “Models and Methods for the Developing of Innovative Developments” of the Engineering Center of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
kraykarina@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6927-7361, SPIN-code: 5967-0267
Sataney Kh. Shalova, Researcher, Engineering Center of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
satanei@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2345-1309, SPIN-code: 2183-8224
Mariam I. Khadzhieva, Junior Researcher, Engineering Center of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
mariam9248@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1607-1324, SPIN-code: 4706-5704

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

УДК 331.5.024.5 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-329-339
EDN: RONPEY

Инклюзивное трудоустройство как концепция социально-экономического благополучия регионов

З. М. Казова✉, Л. М. Циканова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение инклюзивного высшего образования
«Российский государственный университет социальных технологий»
107150, Россия, Москва, ул. Лосиноостровская, 49

Аннотация. Актуальность темы исследования обусловлена определяющим влиянием региональной политики трудоустройства людей с инвалидностью на преодоление трудовой стигматизации и уровень социально-экономического развития общества. Решения региональных властей в области инклюзивного трудоустройства выступают индикатором трудовой интеграции и вовлеченности в общественную жизнь людей с инвалидностью. В статье исследуются тенденции реализации инклюзивного подхода к трудоустройству как концептуальной основы построения справедливого социума, ориентированного на превалирование этических норм и равных прав всех групп населения.

Цель исследования состоит в выявлении механизмов и потенциала развития инклюзивного трудоустройства как концепта развития регионов.

Методы исследования включают сравнительный анализ для сопоставления региональных практик инклюзивного трудоустройства, социологические методы в целях сбора информации о барьерах при трудоустройстве людей с инвалидностью, ретроспективный анализ динамики развития процессов инклюзии на рынке труда, а также инструменты статистического анализа для выявления взаимосвязи между уровнем занятости людей с инвалидностью и показателями социально-экономического развития регионов.

Результаты, представленные в исследовании, заключаются в детекции специфики социально-экономической и трудовой интеграции людей с инвалидностью как катализатора развития регионов, а также в определении барьеров формирования инклюзивной среды рынка труда и возможностей их преодоления.

Выводы. Научная значимость исследования заключается в дефиниции императивов инклюзивного трудоустройства в контексте воздействия на социально-экономическое развитие социума. Практическая значимость исследования состоит в определении инструментов обеспечения инклюзивного рынка труда и потенциала его реализации в условиях кадрового дефицита в отечественной экономике. Ценность исследования и научная новизна состоят в диссеминации знаний о релевантности вопроса инклюзивного трудоустройства в разрезе формирования социокультурного и экономического базиса развития регионов.

Ключевые слова: инклюзивное трудоустройство, региональное развитие, стигматизация, люди с инвалидностью, трудовая сегрегация, рынок труда, квотирование

Поступила 30.09.2025, одобрена после рецензирования 14.11.2025, принята к публикации 25.11.2025

Для цитирования. Казова З. М., Циканова Л. М. Инклюзивное трудоустройство как концепция социально-экономического благополучия регионов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 329–339. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-329-339

© Казова З. М., Циканова Л. М., 2025

JEL: J01 Original article

Inclusive employment as a concept of socio-economic well-being of regions

Z.M. Kazova✉, L.M. Tsikanova

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
"Russian State University of Social Technologies"
49, Losinoostrovskaya street, Moscow, 107150, Russia

Abstract. The relevance of the research topic is conditioned by the determinant influence of the regional policy of employment of people with disabilities on overcoming labor stigmatization and the level of socio-economic development of society. Decisions of regional authorities in the field of inclusive employment act as an indicator of labor integration and involvement in public life of people with disabilities. The article explores trends in the implementation of an inclusive approach to employment as a conceptual basis for building a just society, oriented towards the prevalence of ethical norms and equal rights of all population groups.

Aim. The study is to identify the mechanisms and potential for developing inclusive employment as a concept for regional development.

Research methods include a comparative analysis to compare regional inclusive employment practices, sociological methods to collect information on barriers to employment for people with disabilities, a retrospective analysis of the dynamics of inclusion processes in the labor market, and statistical analysis tools to identify the relationship between the employment rate of people with disabilities and indicators of regional socio-economic development.

The results presented in the study consist of identifying the specifics of the socio-economic and labor integration of people with disabilities as a catalyst for regional development, as well as identifying barriers to the formation of an inclusive labor market environment and opportunities for overcoming them.

Conclusions. The scientific significance of the research lies in the definition of the imperatives of inclusive employment in the context of the impact on the socio-development of society. The practical significance of the research is to identify the tools for ensuring an inclusive labor market and the potential for its implementation in the context of a shortage of personnel in the domestic economy. The value of the research and scientific novelty consists in the dissemination of knowledge about the relevance of the issue of inclusive employment in the context of the formation of socio-cultural and economic basis of regional development.

Keywords: inclusive employment, regional development, stigma, people with disabilities, labour segregation, labor market, quotas

Submitted 30.09.2025, approved after reviewing 14.11.2025, accepted for publication 25.11.2025

For citation. Kazova Z.M., Tsikanova L.M. Inclusive employment as a concept of socio-economic well-being of regions. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 329–339. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-329-339

Введение

Сегодня неотъемлемым элементом построения социума является обеспечение равных возможностей и условий самореализации для всех граждан, в связи с чем критическую важность приобретает формирование параметров трудовой вовлеченности социально уязвимых групп населения, в частности людей с инвалидностью.

Инклюзивное трудоустройство представляет собой практику включения в рынок труда людей с инвалидностью с адаптацией рабочих мест и условий, устранением барьеров и предоставлением необходимой поддержки. Оно сочетает социальную справедливость с экономической эффективностью, поскольку за счет использования потенциала людей, ранее отстраненных от активной занятости, регионы могут ускорить экономический рост, сократить нагрузку социальных систем и повысить уровень жизни населения.

Область изучения вопросов трансформации процессов социальной инклюзии отражена в многочисленных исследованиях. Ф. М. Бородкин анализирует многообразные формы и направления преодоления социальной инклюзии. Циклы развития и обучения детей с особенностями развития Л. С. Выготский считал ключевыми. Н. М. Борозинец в своих работах в качестве главной стратегической задачи выдвигает вопросы построения модели инклюзивного образования. Особую ценность представляют исследования В. Н. Ярской, которые привели к трансформации архитектуры инклюзивного образования и выявлению роли интеграции людей с ОВЗ в образовательную среду. Отечественные фундаментальные достижения в области становления инклюзивной культуры принадлежат А. Г. Вишневскому, Е. А. Леоновой, А. Ю. Шеманову, А. С. Екушевской, В. Н. Петрову, А. И. Полянскому, В. Д. Мартиросяну, Е. И. Кожановой и ряду других исследователей. Зарубежные подходы к анализу социально-экономических методов регулирования находят отражения в научных трудах Мэлвина Энскоу, Дэвида Митчэлла, Роджера Сли.

Целью исследования является раскрытие сущности инклюзивного трудоустройства как определяющего фактора обеспечения социально-экономического благополучия регионов. В условиях вызовов, связанных с демографическими изменениями, дефицитом квалифицированных кадров и необходимостью укрепления социальной устойчивости, поиск способов гармоничного включения людей с инвалидностью и иных групп населения, испытывающих трудности при трудоустройстве, становится стратегическим направлением, определяющим социально-экономическую конкурентоспособность регионов. В связи с этим исследование направлено на анализ трудовой интеграции людей с инвалидностью, а также на понимание более широкого эффекта от включения принципов инклюзивности в систему социально-экономического развития, что выражается в увеличении занятости, снижении уровня социальной напряженности и формировании устойчивой региональной идентичности, основанной на принципах равенства и справедливости.

Задачи исследования заключаются в изучении концептуальных основ формирования инклюзивного рынка труда через призму его воздействия на социально-экономическое развитие регионов и выявлении триггеров формирования эгалитарного общества.

Обеспечение инклюзивной среды рынка труда выступает фактором эффективного использования нереализованного человеческого капитала, предоставляя социальный лифт людям с инвалидностью в процессе их интеграции в социум.

Региональная политика занятости, ориентированная на формирование инклюзивности, способствует преодолению социальной и трудовой стигматизации и раскрывает потенциал социально-экономического благополучия региона и государства в целом. Инклюзивное трудоустройство, являясь концептуальной основой развития современного общества, стимулирует инновационное развитие и социально-экономическую конкурентоспособность регионов.

Исследование проблемы формирования инклюзивной среды рынка труда нуждается в междисциплинарном подходе, инкорпорирующем правовую, экономическую и социальную повестки.

На наш взгляд, изучение проблемы дискриминации и ее последствий для людей с инвалидностью, не должно быть уделом исключительно социологических и психологических исследований. Социальная стигматизация имеет ярко выраженные экономические последствия. Эйблизм затрагивает все аспекты жизнедеятельности, включая такую важную составляющую, как трудоустройство людей с инвалидностью.

Современные тенденции развития общества диктуют новый взгляд на потребности людей с инвалидностью. Для развития принципов гуманизма в современном социуме необходима глубокая работа, направленная на развитие осведомленности и толерантности, на искоренение любых проявлений стигматизации.

В современных условиях кадрового дефицита в России важным параметром решения проблемы могут стать стимулирование и активация существенного потенциала нетрудоустроенных людей с инвалидностью как значимого ресурса восполнения нехватки трудовой силы.

Результаты исследования

Показатель уровня инвалидизации является экзогенным компонентом в оценке здоровья, качества жизни и социально-экономического состояния населении. Согласно статистическим данным, общая численность инвалидов в Российской Федерации на начало 2025 года составила примерно 11,1 млн человек[1]. Основываясь на демографической конъюнктуре, можно констатировать, что доля людей, имеющих инвалидность, в нашей стране составляет 7,6 % от общей численности населения. Наибольший удельный вес имеют инвалиды III группы – 4,6 млн чел. (41,7 %), инвалиды II группы составляют 4,5 млн чел. (40,5 %), инвалиды I группы – 1,1 млн чел. (10,8 %). За анализируемый период наблюдается тенденция к сокращению общей численности инвалидов по стране на 510 265 чел. Инвалиды I и II групп также продемонстрировали сокращение численности (I группа – на 169 548 чел., II – на 479 596 чел.). Имеет место незначительное увеличение показателей численности инвалидов III группы (+ 63 741 чел.). Приведенные данные свидетельствуют о положительной динамике в сфере здравоохранения и принимаемых социальных программах по реабилитации и абилитации людей с инвалидностью. Однако при этом необходимо усилить меры, направленные на трансформацию социальной поддержки, формирование системы доступной среды.

Таблица 1. Общая численность инвалидов по федеральным округам (млн чел.)

Table 1. Total number of disabled people by Federal Districts (million people)

Наименование	2021 г.	%	2022 г.	%	2023 г.	%	2024 г.	%	2025 г.	%
Российская Федерация	11,6	100	11,3	100	10,9	100	11,0	100	11,1	100
Центральный федеральный округ	3,2	28	3,1	28	3,0	27,9	3,0	27.6	3,0	27,4
Северо-Западный федеральный округ	1,2	10,5	1,1	10,3	1,1	10,2	1,1	10	1,0	9,9
Южный федеральный округ	1,2	10,7	1,2	10,8	1,1	10,7	1,1	10,8	1,2	10,8
Северо-Кавказский федеральный округ	1,1	9,1	1,0	9,4	1,0	9,6	1,0	9,8	1,1	9,9
Приволжский федеральный округ	2,2	19,3	2,1	19,2	2,1	19,3	2,1	19,3	2,1	19,3
Уральский федеральный округ	0,7	6,6	0,7	6,6	0,7	6,9	0,7	6,8	0,7	6,8
Сибирский федеральный округ	1,2	11	1,2	11,1	1,2	11,2	1,2	11,2	1,2	11,3
Дальневосточный федеральный округ	0,5	4,5	0,5	4,5	0,4	4,5	0,4	4,5	0,5	4,5

Источник: Составлено авторами на основе данных Федеральной службы государственной статистики (Росстат)

Анализ инвалидизации по федеральным округам показал существенную территориальную дифференциацию в структуре граждан с инвалидностью. Она обусловлена прежде всего влиянием социальных и экономических детерминант на уровень инвалидности в разных федеральных округах Российской Федерации. Данные Федеральной службы государственной статистики по численности инвалидов на начало 2025 года демонстрируют значимые региональные различия. Наибольшая территориальная агрегация наблюдается в таких регионах, как Москва – 938 тыс. чел., Санкт-Петербург – 497 тыс. чел., Московская

[1]Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики (Росстат) https://rosstat.gov.ru/statistic

область – 432 тыс. чел., Краснодарский край (441 тыс. чел.). Наименьшие показатели инвалидизации демонстрируют Чукотский автономный округ – 1,9 тыс. чел., Магаданская область – 5,4 тыс. чел., Камчатский край – 13,6 тыс. чел.[2].

Дифференциация количества людей с ОВЗ по регионам прямо пропорциональна воздействию комплекса взаимосвязанных факторов, среди которых особую значимость составляют: уровень социально-экономического развития в регионе, уровень и качество медицинского обеспечения, уровень образования и профессиональной подготовки, возрастная составляющая населения, уровень развития институциональной системы социальной защиты, а также экология.

В Российской Федерации, по данным Минтруда, численность людей с инвалидностью трудоспособного возраста в марте 2025 г. составила 4,3 млн человек, при этом трудоустроены 1,2 млн, что составляет 28,6 %[3].

Одной из ключевых составляющих социализации людей с инвалидностью выступает трудоустройство. Данный фактор необходимо учитывать при формировании социально-экономической политики государства, направленной на построение безбарьерного общества, где каждый гражданин сможет реализовать свои права, гарантированные Конституцией, в том числе и права на труд. По мнению Ф. Н. Назаровой и А. А. Толстеневой, «каждый человек сталкивается с выбором профессии, однако для людей с инвалидностью и ОВЗ сделать этот выбор особенно сложно, поскольку они имеют ряд ограничений, что в свою очередь серьезно усложняет подбор будущей профессии для человека с инвалидностью» [8]. При отсутствии возможности трудоустройства и отказах работодателей люди с инвалидностью лишаются ключевых элементов социализации, необходимых для перехода к самостоятельной жизни.

Вовлеченность инвалидов в трудовые отношения стала предметом общественного дискурса и социально-экономической политики государства. Особую актуальность вопросы трудоустройства людей с инвалидностью приобретают в связи с прямым влиянием данного показателя на уровень обеспеченности экономики квалифицированными трудовыми кадрами в эпоху дефицита трудовых ресурсов, возникающего под влиянием таких факторов, как наблюдающееся снижение тенденции рождаемости и увеличение уровня старения населения [7].

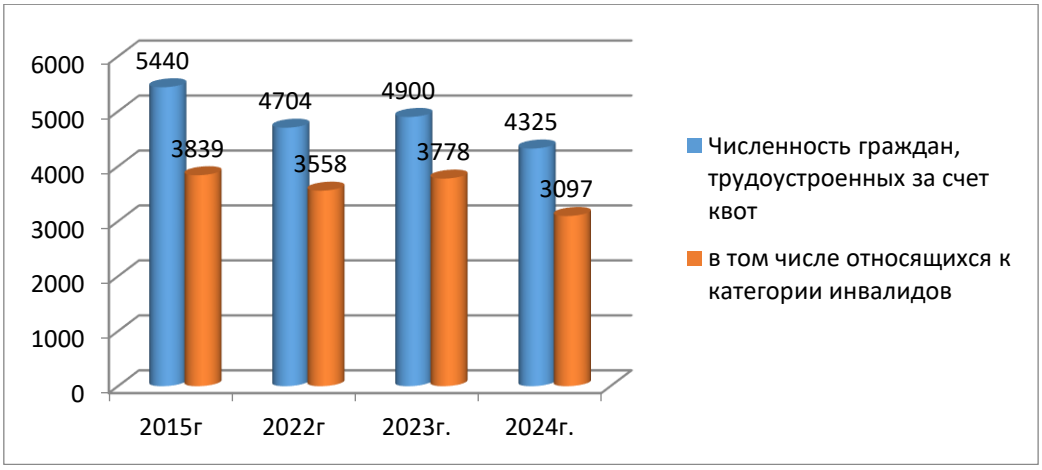


***Рис**. Трудоустройство граждан органами службы занятости на квотируемые рабочие места*

***Fig**. Employment of citizens by employment service agencies for quota jobs*

[2]Там же

[3]Официальный сайт Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации. URL: https://mintrud.gov.ru/employment/

В отечественной экономике квотирование рабочих мест для людей с инвалидностью подвергается переосмыслению, в связи с чем в ноябре 2024 г. на государственном уровне были ужесточены штрафные санкции за невыполнение квоты по приему на работу людей с инвалидностью, дифференцируемой в размере 2–4 % от количества работников[4]. Каждый регион в силу особенностей социально-экономического развития вправе самостоятельно варьировать размер квот. Невыполнение работодателем обязанности по соблюдению квоты трудоустройства инвалидов влечет административную ответственность, варьируемую в размере от 20 000 до 30 000 руб. для должностных лиц, от 30 000 до 50 000 руб. для индивидуальных предпринимателей и от 50 000 до 100 000 руб. для юридических лиц[5]. Несмотря на увеличение размеров штрафов, они остаются на уровне, финансово неощутимом для крупных компаний, что снижает их стимулирующий эффект. Вектор государственной политики, направленный на расширение возможностей трудоустройства людей с инвалидностью, также отражен в Концепции по повышению уровня занятости инвалидов в Российской Федерации на период до 2030 г.[6], в которой предусмотрены как рост трудоустройства, так и развитие систем социальной и сопровождаемой занятости. Среди важных резервов для занятости – выпускники образовательных учреждений с инвалидностью, а также люди трудоспособного возраста, готовые работать, но сталкивающиеся с различными барьерами. Системное объединение и гармоничное взаимодействие этих элементов взаимодействия работодателей, инвалидов и лиц с ОВЗ могут рассматриваться как основа повышения социально-экономической эффективности исследуемого механизма взаимодействия [9].

Таблица 2. Показатели занятости и безработицы лиц в трудоспособном возрасте, имеющих инвалидность (%)

Table 2. Employment and unemployment rates among people with disabilities of working age. (%)

Показатели	2021 г.	2022 г.	Отклонение 2022/2021	2023 г.	Отклонение 2023/2021	2024 г.	Отклонение 2024/2021
Доля занятых в общей численности лиц в трудоспособном возрасте, имеющих инвалидность	19,7	22,6	2,9	19,8	0,1	20,7	1
Уровень безработицы лиц в трудоспособном возрасте, имеющих инвалидность	22,3	15,9	6,4	18,7	3,6	17,3	5
Доля занятых в общей численности населения в трудоспособном возрасте	77,7	78,7	1	79,8	2,1	80,7	3

Источник: Составлено авторами на основе данных Федеральной службы государственной статистики (Росстат)

Данные таблицы позволяют сделать вывод, что доля занятых в общей численности лиц в трудоспособном возрасте, имеющих инвалидность, невысокая, однако наблюдается тенденция к повышению. Наблюдается также значительное сокращение уровня безработицы

[4]Федеральный закон от 12.12.2023 № 565-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «О занятости населения в Российской Федерации» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2025). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8559/

[5]Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 N 195-ФЗ (ред. от 31.07.2025) (с изм. и доп., вступ. в силу с 06.09.2025)

[6]Распоряжение Правительства Российской Федерации от 2 сентября 2024 г. № 2401-р «Об утверждении Концепции по повышению уровня занятости инвалидов в Российской Федерации на период до 2030 г. и плана мероприятий по реализации Концепции по повышению уровня занятости инвалидов в Российской Федерации». URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/409520665/?ysclid=m44oipixlu316454153#1000

лиц в трудоспособном возрасте, имеющих инвалидность. Одной из причин трансформации послужили меры государственной поддержки инвалидов и людей с ОВЗ, направленные на формирование безбарьерной среды, вступление в силу Федерального закона от 12.12.2023 № 565-ФЗ «О занятости населения в Российской Федерации», предусматривающего обязательное квотирование рабочих мест для инвалидов.

Таблица 3. Сведения о работающих инвалидах (тыс. чел.)

Table 3. Information on working disabled people (thousands of people)

Показатели	2015 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Всего работающих инвалидов	2473	1508	1602	1640
из них: I группы	82	47	56	61
II группы	923	489	514	523
III группы	1466	972	1031	1055
Доля работающих инвалидов в общей численности инвалидов, состоящих на учете в системе обязательного пенсионного обеспечения	19,8	13,8	14,5	14,7

Источник: Составлено авторами на основе данных Федеральной службы государственной статистики (Росстат)

По сравнению с 2015 годом доля работающих инвалидов в общей численности инвалидов, состоящих на учете в системе обязательного пенсионного обеспечения, заметно снизилась, однако за последние годы наблюдается тенденция к росту данного показателя, что связано с изменением отношения общества и государства к людям с инвалидностью. Е. Г. Копалкина считает, что понятие «инклюзивное трудоустройство» набирает научный оборот, поскольку вопрос трудоустройства лиц с инвалидностью в нашей стране закономерно встает в связи с развитием инклюзивного образования» [6]. По мнению А. Л. Сафонова и Д. В. Некипеловой, немаловажное значение в социально-трудовой интеграции людей с ОВЗ играют создание доступной среды и доступность технологических решений, облегчающих жизнь и работу таких людей [10]. Компания, которая нанимает людей с инвалидностью и разрабатывает для этого собственные подходы, подчеркивает ценности разнообразия и открытости как основополагающие для корпоративной культуры [1].

В условиях демографического старения повышение занятости людей с инвалидностью становится важным инструментом для частичной компенсации сокращения доли трудоспособного населения. В разных регионах и отраслях наблюдаются заметные различия: например, в Карелии количество вакансий, доступных для людей с ограниченными возможностями здоровья, увеличилось примерно на 20 %[7]. Исследование З. Г. Казбековой показывает: если бы все трудоспособные лица с инвалидностью были трудоустроены, это могло бы добавить порядка 0,5 п.п. к ежегодным темпам роста ВВП на душу населения [5].

В отраслевом разрезе наибольший объем инклюзивных рабочих мест формируется в сфере IT (44 % вакансий), финансовом секторе (около 28 %) и образовании (порядка 8 %).

На основе анализа эмпирических данных можно сформулировать ряд эффектов, которые показывают, каким образом инклюзивное трудоустройство способствует благополучию регионов: увеличение производительности труда и валового регионального продукта;

[7]Федеральный закон «О социальной защите инвалидов в Российской Федерации» от 24.11.1995 № 181-ФЗ (в ред. от 29.05.2024г.). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8559/

снижение социальной нагрузки; снижение безработицы среди уязвимых групп и как следствие повышение общей устойчивости рынка труда; улучшение качества жизни и социальной интеграции людей с инвалидностью и снижение стигмы; улучшение демографической ситуации через активацию неиспользуемых трудовых ресурсов. Проблематика инклюзивного рынка труда требует дальнейшего углубленного изучения с учетом современных тенденций развития общества и новых технологических возможностей, что позволит создать более эффективные механизмы содействия занятости инвалидов и обеспечить им равные возможности в профессиональной сфере [2].

Для достижения максимально выраженного результата необходимо преодолеть барьеры, в числе которых недостаточная адаптация рабочих мест и среды; низкая мотивация работодателей; затраты на изменение условий труда, которые могут быть значительными, особенно в отдаленных регионах или в отраслях с высокой производственной спецификой; дискриминация, а также недостаток программ обучения и профессиональной подготовки специально для людей с инвалидностью. А. Г. Бучацкий и В. К. Антонова выделяют изучение трудовой деятельности людей с инвалидностью через призму прекаризации [3]. Государство активно решает вопросы социализации, разрабатывая и реализуя масштабные программы поддержки и реабилитации граждан с ОВЗ [4].

Выводы

Проведенное исследование показало, что инклюзивное трудоустройство выступает инструментом реализации социальной справедливости и фактором устойчивого социально-экономического развития регионов.

Во-первых, было выявлено, что вовлечение людей с инвалидностью в рынок труда способствует расширению трудового потенциала региона и снижению скрытой безработицы. Практика ряда субъектов Российской Федерации подтверждает, что рост занятости этой группы населения положительно влияет на динамику валового регионального продукта за счет повышения совокупного потребительского спроса.

Во-вторых, исследование установило, что регионы, активно внедряющие программы инклюзивного трудоустройства, демонстрируют более высокий уровень социального благополучия. Это выражается в снижении социальной напряженности, формировании толерантной среды и укреплении доверия между гражданами и институтами власти.

В-третьих, в результате сопоставления статистических данных по регионам выявлено, что реализация инклюзивных практик напрямую связана с развитием малого и среднего бизнеса. Предприятия, ориентированные на социальную ответственность, чаще привлекают работников с ограниченными возможностями здоровья, что способствует диверсификации кадрового состава и повышению инновационного потенциала.

Проблема трудоустройства людей с инвалидностью обладает многослойным характером и нуждается в решении на институциональном, экономическом и социокультурном уровнях. На институциональном уровне важными направлениями становятся совершенствование системы правового регулирования занятости и разработка механизмов, гарантирующих фактическую реализацию права на труд. Экономический уровень предполагает создание стимулов для работодателей, направленных на формирование доступной среды и развитие программ профессиональной подготовки и переподготовки людей с инвалидностью. Социокультурный аспект включает трансформацию общественного сознания и устранение устойчивых стереотипов, связанных с трудовой деятельностью людей с инвалидностью. В этом контексте становятся значимыми образовательные программы, формирующие культуру инклюзивности и толерантности, а также освещение практик трудовой интеграции.

Таким образом, решение проблемы занятости людей с инвалидностью требует синергии правовых, экономических и социальных инструментов, способных обеспечить устойчивое развитие инклюзивного рынка труда и трансформировать трудоустройство людей с инвалидностью в реальный фактор социально-экономического роста регионов и страны в целом.

Исследование подтверждает гипотезу о том, что инклюзивное трудоустройство необходимо рассматривать и как гуманитарную инициативу, и как стратегический ресурс социально-экономического развития регионов. Эффективная реализация данной концепции в региональной политике позволяет обеспечить комплексное развитие территорий, объединяя социальные и экономические приоритеты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Антонова В. К., Присяжнюк Д. И., Рябиченко Т. А.* Креативный эффект, инвестиции и инклюзия как норма жизни: установки HR-менеджеров России в отношении инклюзивного трудоустройства // Журнал исследований социальной политики. 2021. Т. 19. № 3. С. 373–388. DOI: 10.17323/727-0634-2021-19-3-373-388. EDN: ZIZVBO

2. *Боровкова Ю. О.* Проблематика инклюзивного рынка труда и содействия занятости инвалидов в отечественной и зарубежной научной литературе // Теневая экономика. 2025. Т. 9. № 3. С. 307–326. DOI: 10.18334/tek.9.3.123570. EDN: QKDIUV

3. *Бучацкий А. Г., Антонова В. К.* Прекаризация труда людей с инвалидностью в современной России: к постановке проблемы исследования // Журнал исследований социальной политики. 2025. Т. 23. № 1. С. 185–198. DOI: 10.17323/727-0634-2025-23-1-185-198. EDN: OMSPFK

4. *Давыдова Т. Е.* Инклюзивный дизайн как предиктор повышения доверия населения к финансовым институтам // Креативная экономика. 2023. Т. 17. № 12. С. 5011–5034. DOI: 10.18334/ce.17.12.119775

5. *Казбекова З. Г.* Повышение занятости инвалидов как резерв увеличения демографического дивиденда в России // Государственное управление. Электронный вестник. 2023. № 100. С. 89–99. DOI: 10.24412/2070-1381-2023-100-89-99

6. *Копалкина Е. Г.* Практика инклюзивного трудоустройства в современных условиях // Научный результат. Социология и управление. 2022. Т. 8. № 4. С. 148–158. DOI: 10.18413/2408-9338-2022-8-4-1-2. EDN: ZPQVDR

7. *Кучмаева О. В.* Занятость инвалидов в регионах России: состояние, дифференциация, факторы // Статистика и экономика. 2020. Т. 17. № 5. С. 27–37. DOI: 10.21686/2500-3925-2020-5-27-37

8. *Назарова А. Н., Толстенева А. А.* Проблемы и перспективы профессиональной ориентации инвалидов и лиц с ОВЗ // Проблемы современного педагогического образования. 2024. № 84-1. С. 212–215. EDN HONBFU

9. *Нурланова Н. К.* Инклюзивное развитие экономики как метод преодоления регионального неравенства // Россия: тенденции и перспективы развития: ежегодник. Курск, 04–05 июня 2021 года. Вып. 16. Часть 2. М.: Институт научной информации по общественным наукам РАН, 2021. С. 238–241. EDN: RNEOHN

10. *Сафонов А. Л., Некипелова Д. В.* Использование механизма государственно-частного партнерства для расширения возможностей занятости инвалидов // Креативная экономика. 2025. Т. 19. № 5. С. 1427–1444. DOI: 10.18334/ce.19.5.123134. EDN: REMKCR

REFERENCES

1. Antonova V.K., Prisyazhnyuk D.I., Ryabichenko T.A. Creative effect, investments and inclusion as a norm of life: attitudes of HR managers in Russia towards inclusive employment.

Zhurnal issledovaniy social'noy politiki [Journal of Social Policy Studies]. 2021. Vol. 19. No. 3. Pp. 373–388. DOI: 10.17323/727-0634-2021-19-3-373-388. EDN: ZIZVBO. (In Russian)

2. Borovkova Yu.O. Problems of inclusive labor market and promotion of employment of persons with disabilities in domestic and foreign scientific literature. *Shadow Economy*. 2025. Vol. 9. No. 3. Pp. 307–326. DOI: 10.18334/tek.9.3.123570. EDN: QKDIUV. (In Russian)

3. Buchatsky A.G., Antonova V.K. Precarization of labor of people with disabilities in modern Russia: on the formulation of the research problem. *Zhurnal issledovaniy social'noy politiki* [Journal of Social Policy Studies]. 2025. Vol. 23. No. 1. Pp. 185–198. DOI: 10.17323/727-0634-2025-23-1-185-198. EDN: OMSPFK. (In Russian)

4. Davydova T.E. Inclusive design as a predictor of increasing public trust in financial institutions. *Creative Economy*. 2023. Vol. 17. No. 12. P. 5011–5034. DOI: 10.18334/ce.17.12.119775. (In Russian)

5. Kazbekova Z.G. Increasing the employment of disabled persons as a reserve for increasing demographic dividend in Russia. *E-Journal Public Administration*. 2023. No. 100. Pp. 89–99. DOI: 10.24412/2070-1381-2023-100-89-99. (In Russian)

6. Kopalkina E.G. Inclusive employment practice in modern conditions. *Research Result. Sociology and Management*. 2022. Vol. 8. No. 4. Pp. 148–158. DOI: 10.18413/2408-9338-2022-8-4-1-2. EDN: ZPQVDR. (In Russian)

7. Kuchmaeva O.V. Employment of persons with disabilities in regions of Russia: status, differentiation, factors. *Statistics and Economics*. 2020. Vol. 17. No. 5. Pp. 27–37. DOI: 10.21686/2500-3925-2020-5-27-37. (In Russian)

8. Nazarova A.N., Tolsteneva A.A. Problems and prospects of vocational guidance for persons with disabilities and individuals with disabilities. *Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya* [Problems of Modern Pedagogical Education]. 2024. No. 84-1. Pp. 212–215. EDN: HONBFU. (In Russian)

9. Nurlanova N.K. Inclusive economic development as a method of overcoming regional inequality. *Rossiya: tendencii i perspektivy razvitiya: ezhegodnik/ Kursk, 04–05 iyunya 2021 goda. Vyp. 16. Chast' 2* [Russia: Development Trends and Prospects: Yearbook, Kursk, June 4–5, 2021. No. 16. Part 2]. Moscow: Institute of Scientific Information on Social Sciences, Russian Academy of Sciences, 2021. Pp. 238–241. EDN: RNEOHN. (In Russian)

10. Safonov A.L., Nekipelova D.V. Using public-private partnership mechanism to expand employment opportunities for persons with disabilities. *Creative Economy*. 2025. Vol. 19. No. 5. Pp. 1427–1444. DOI: 10.18334/ce.19.5.123134. EDN: REMKCR. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания «Разработка экономико-правовых механизмов взаимодействия работодателей и инвалидов (в том числе с учетом особенностей оценки условий труда для различных нозологий): как элемент повышения социального благополучия регионов» (шифр: FSMN-2023-0008).

Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment “Development of economic and legal mechanisms for interaction between employers and disabled people (including taking into account the specifics of assessing working conditions for various nosologies): as an element of improving the social well-being of regions” (code: FSMN 2023 0008).

Информация об авторах

Казова Залина Мухамедовна, канд. экон. наук, доцент кафедры экономики и управления, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение инклюзивного высшего образования «Российский государственный университет социальных технологий»;

107150, Россия, Москва, ул. Лосиноостровская, 49;

zalina.kazova@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0006-6431-1723, SPIN-код: 8979-2831

Циканова Лариса Махмудовна, ст. преподаватель кафедры экономики и управления, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение инклюзивного высшего образования «Российский государственный университет социальных технологий»;

107150, Россия, Москва, ул. Лосиноостровская, 49;

tsikanovaLM@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0009-0175-4406, SPIN-код: 9861-4688

Information about the authors

Zalina M. Kazova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Economics and Management of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State University of Social Technologies”;

49, Losinoostrovskaya street, Moscow, 107150, Russia;

zalina.kazova@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0006-6431-1723, SPIN-code: 8979-2831

Larisa M. Tsikanova, Senior Lecturer, Department of Economics and Management of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State University of Social Technologies”;

49, Losinoostrovskaya street, Moscow, 107150, Russia;

tsikanovaLM@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0009-0175-4406, SPIN-code: 9861-4688

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

УДК 338.43 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-340-344
EDN: ZHZWIF

Роль агротуризма в развитии сельских территорий Республики Северная Осетия – Алания

В. З. Мазлоев

Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства
123007, Россия, Москва, Хорошевское шоссе, 35, корпус 2

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы формирования и развития аграрного туризма в сельской местности в условиях ограниченного землепользования. В данной работе изучены вопросы различных возможных вариантов и моделей до настоящего времени практически не развитой отрасли – агарного туризма, предпринята попытка дать научно обоснованный организационно-экономический механизм и структуру, обоснована необходимость развивать эту важную отрасль агропромышленного комплекса в неординарных природно-климатических условиях исследуемого региона. Кроме того, предлагаются различные варианты формирования этих субъектов малого бизнеса.

Цель исследования – на основе изучения различных возможных вариантов и моделей агарного туризма предложить научно обоснованный организационно-экономический механизм развития агарного туризма в РСО – Алании.

Методы исследования. Исследования проводились на основе абстрактно-логического, аналитического, расчетно-конструктивного методов и метода экспертных оценок.

Результат исследования. Выявлено, что наблюдается тенденция к деурбанизации, в частности, все больше бывших горожан возвращаются в села и создают устойчивые фермерские хозяйства, в связи с этим обосновано развитие аграрного туризма в малых формах хозяйствования и предложены меры по стимулированию этого направления в РСО – Алании.

Заключение. Анализ показывает, что развитие аграрного туризма в РСО – Алании не только ускорит социально-экономическое развитие сельских территорий, но и создаст устойчивый канал сбыта сельскохозяйственной продукции и продовольствия, укрепляя продовольственную безопасность региона и повышая качество жизни сельского населения.

Ключевые слова: аграрный туризм, агротуризм, рекреация, развитие сельских территорий, сельские территории, сельское хозяйство, туризм

Поступила 05.11.2025, одобрена после рецензирования 27.11.2025, принята к публикации 09.12.2025

Для цитирования. Мазлоев В. З. Роль агротуризма в развитии сельских территорий Республики Северная Осетия – Алания // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 340–344. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-340-344

Original article

Role of agrotourism in the development of rural areas in the Republic of North Ossetia – Alania

V.Z. Mazloev

Federal Scientific Center for Agrarian Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Institute of Agricultural Economics
2 bld., 35, Khoroshevskoye shosse, Moscow, 123007, Russia

© Мазлоев В. З., 2025

Abstract. This article examines the challenges of establishing and developing agritourism in rural areas under conditions of limited land use. This paper explores various possible options and models for a hitherto virtually undeveloped sector – agritourism – and attempts to provide a scientifically substantiated organizational and economic mechanism, structure, and the need to develop this important sector of the agro-industrial complex in the unique natural and climatic conditions of the region under study. Furthermore, various options for developing these small businesses are proposed.

Aim. The study is to provide a scientifically based organizational and economic mechanism for the development of agricultural tourism in the Republic of North Ossetia-Alania based on a study of various possible options and models of agricultural tourism.

Research methods. The research has been conducted using abstract-logical, analytical, computational-constructive, and expert assessment methods.

Research result. It has been revealed that there is a trend towards de-urbanization, in particular, more and more former city dwellers are returning to villages and creating sustainable farms. In this regard, the development of agricultural tourism in small-scale farming is justified, and measures to stimulate this trend in the Republic of North Ossetia-Alania are proposed.

Conclusion. The analysis shows that the development of agricultural tourism in the Republic of North Ossetia-Alania would not only accelerate the socio-economic development of rural areas but also create a sustainable distribution channel for agricultural products and food, strengthening the region's food security and improving the quality of life for the rural population.

Keywords: agricultural tourism, agrotourism, recreation, rural development, rural areas, agriculture, tourism

Submitted 05.11.2025, approved after reviewing 27.11.2025, accepted for publication 09.12.2025

For citation. Mazloev V.Z. Role of agrotourism in the development of rural areas in the Republic of North Ossetia – Alania. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 340–344. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-340-344

Введение

Сельское хозяйство исторически является одной из важнейших и древнейших основ жизнеобеспечения любого государства и народа. Наверное, не случайно один из ключевых принципов аграрной идеологии гласит: «Занятие сельским хозяйством – главное дело человека на земле, поскольку от него зависят все остальные виды деятельности». Обобщая итоги предыдущих исследований и учитывая современные вызовы глобальной экономики, можно утверждать, что сельское хозяйство остается значимым драйвером регионального развития. Более того, на наш взгляд, аграрный туризм, основанный на успешном функционировании аграрного сектора, способен стать локомотивом модернизации агропромышленного комплекса Республики Северная Осетия – Алания (РСО – Алания).

Цель исследования – на основе изучения возможных различных вариантов и моделей агарного туризма предложить научно обоснованный организационно-экономический механизм развития агарного туризма в РСО – Алании.

Методология исследования. Исследование проводилось на основе использования научно-методического инструментария, позволяющего проводить объективную оценку аграрного туризма как одной из перспективных форм предпринимательства в сельской местности и как следствие повышения уровня жизни сельского населения. Исследование базировалось на следующих методах:

– абстрактно-логический – при формулировании темы и выборе методологических подходов к развитию агротуризма;

– аналитический – для диагностики социально-экономического состояния сельских территорий;

– метод экспертных оценок – при анализе спроса и предложения на агротуристический продукт;

– расчетно-конструктивный – при обосновании модели сельского агротуристического кластера и разработке форм ведения домохозяйств, опирающихся на историко-культурные традиции осетин.

Кроме того, в исследовании использованы личные наблюдения и научные разработки автора.

Результаты и обсуждение

Термин «аграрный туризм» практически отсутствовал в советской экономической литературе, поскольку в СССР данное направление не выделялось в качестве самостоятельного сегмента туристического рынка. В то же время в странах Европейского союза, США, Канаде, Японии, Австралии и других государствах агротуризм имеет длительную историю. Изначально рассматривавшийся как дополнительный источник дохода для фермеров, он постепенно трансформировался в самостоятельный и конкурентоспособный сектор туристической индустрии, способствующий не только диверсификации сельскохозяйственной деятельности, но и устойчивому развитию сельских территорий. Государственная поддержка играет здесь ключевую роль: например, в ЕС действует «Программа поддержки инвестиций в диверсификацию», которая субсидирует фермерские инвестиции в агротуризм, включая создание инфраструктуры для размещения до 20–25 гостей, а также социальные, бытовые, коммунальные и ландшафтные услуги [1].

Мировой опыт подтверждает значимость туризма как одного из ведущих секторов современной экономики. По оценкам специалистов, в начале XXI века туризм занял третье место по объему мировой торговли – после нефти и оружия. Ежегодные темпы его роста составляют около 7 %, что значительно превышает динамику мировой экономики в целом. На туризм приходится порядка 10 % глобальных инвестиций, каждое одиннадцатое рабочее место и 3,8 % мирового ВВП, а с учетом смежных отраслей – до 10,6 % [2].

В России в последние годы наблюдается рост интереса как к теоретическим, так и к практическим аспектам развития аграрного туризма. Особое внимание уделяется вопросам интеграции сельхозпроизводителей и туристического бизнеса. В этой связи уместно обратиться к позиции В. Абряндиной и М. Здорова, выделяющих два подхода к агротуристической интеграции [3]:

– инициативный – когда мелкие сельхозформирования (ЛПХ, КФХ, кооперативы) самостоятельно и на свой риск осваивают туристическую деятельность;

– системный – при котором сельский туризм рассматривается не как подсобное, а как основное направление бизнеса, ориентированное на комплексное использование рекреационного, культурного и природного потенциала села.

Анализ отечественного опыта также подтверждает высокий потенциал агротуризма. Исследования, проведенные в Московской, Костромской, Рязанской и Тверской областях, показывают, что годовой доход от агротуризма на один район может достигать 50 млн рублей. В масштабах страны это дает потенциальный экономический эффект до 30 млрд рублей в год; при комплексном развитии аграрного сектора и туризма – до 50–60 млрд рублей. Следует, однако, учитывать, что эти оценки основаны на ценах 2013–2014 гг. [4].

Переходя к конструктивной части, отметим, что в научной литературе термины «аграрный туризм», «агротуризм», «сельский туризм» и «туризм сельских территорий» зачастую используются как синонимы. Некоторые исследователи рассматривают агротуризм как стыковой элемент агропромышленного и туристического комплексов.

На основе обобщения научных источников и собственных наблюдений авторы предлагают модель развития агротуризма в РСО – Алании с горизонтом до 2030 года. Эта цель коррелирует с задачами, обозначенными в Послании Президента Российской Федерации В. В. Путина Федеральному Собранию в 2024 году: к 2030 году внутренний турпоток в стране должен вырасти почти вдвое – до 140 млн человек в год, а вклад туризма в ВВП – удвоиться и составить 5 %[1].

[1]Доклад МЭР: доля туризма в ВВП будет расти за счет кластерных проектов и стимулирования инвестиционной активности URL:https://www.economy.gov.ru/material/news/mer_dolya_turizma_v_vvp_budet_rasti_za_schet_klasternyh_proektov_i_stimulirovaniya_investicionnoy_aktivnosti.html (дата обращения: 18.10.2025)

Ключевыми приоритетами Стратегии развития туризма являются повышение его доступности, формирование разнообразного туристического продукта с учетом этнических, религиозных, возрастных и других особенностей населения, а также реализация социально значимых функций – оздоровление, продление жизни, укрепление семьи, патриотическое воспитание, интеллектуальное и духовное развитие, социальная инклюзия и уважение культурного многообразия, особенно актуального для полиэтничной РСО – Алании [5].

Для достижения этих целей необходимо решить ряд задач:

– определить приоритетные направления аграрного туризма;

– создать уникальные, конкурентоспособные туристические продукты и продвигать их на внутреннем и международном рынках;

– развивать туристическую и транспортную инфраструктуру, обеспечивать безопасность туристов;

– повысить качество услуг;

– внедрить систему пространственного планирования сельских туристических территорий;

– формировать привлекательные инвестиционные площадки;

– модернизировать санаторно-курортную базу;

– совершенствовать систему управления туризмом;

– снижать административные барьеры;

– стимулировать рост налоговых и неналоговых поступлений в бюджет республики;

– создавать новые рабочие места и повышать престиж профессий в сфере агротуризма;

– обеспечить кадровое сопровождение отрасли;

– способствовать легализации туристических предприятий.

Важно отметить, что в РСО – Алании в последние годы наблюдается тенденция к деурбанизации: все больше бывших горожан возвращаются в села и создают устойчивые фермерские хозяйства. На сегодняшний день в республике насчитывается около 1200 крестьянских (фермерских) хозяйств. В 2023 году они произвели сельхозпродукции на сумму свыше 300 млн рублей (0,8 % от общего объема валовой продукции республики).

На долю крестьянских (фермерских) хозяйств в общем объеме производства сельскохозяйственной продукции в 2023 году приходилось: зерна – 25,8 % (226,3 тыс. тонн), картофеля – 14,7 % (5,8 тыс. тонн), овощей – 15,8 % (4,1 тыс. тонн), скота и птицы на убой в живом весе – 19,9 % (9,5 тыс. тонн), молока – 13,4 % (26,7 тыс. тонн), яиц – 27,9 % (19,8 млн штук).

Площадь пашни, обрабатываемой фермерами, выросла с 14 тыс. га в 1999 году до 20,9 тыс. га в 2022 году (11,2 % от общей площади пашни в республике). Эта положительная динамика напрямую способствует росту туристического потока: за последний год он увеличился почти вдвое. Туристы выбирают размещение в фермерских хозяйствах, где им предоставляются услуги питания, прямой доступ к природе и аутентичный опыт сельской жизни.

Заключение

Анализ показывает, что развитие аграрного туризма в РСО – Алании не только ускорит социально-экономическое развитие сельских территорий, но и создаст устойчивый канал сбыта сельскохозяйственной продукции и продовольствия, укрепляя продовольственную безопасность региона и повышая качество жизни сельского населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Семин А. Н., Мазлоев В. З., Кибиров А. Я.* Агротуризм как фактор социально-экономического развития сельских территорий Республики Южная Осетия // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий, 2021. № 11. С. 66–72. DOI: 10.31442/0235-2494-2021-0-11-66-72

2. *Биржаков М. Б.* Проблемы туризма и роль Национальной Академии туризма в жизни туристического сообщества на современном этапе // Туристические фирмы. СПб Невский фонд. 2005. № 37(5).

3. *Абряндина В., Здоров М.* Концептуальные модели агротуристической интеграции в России // Экономика сельского хозяйства России. 2014. № 10. С. 50–55. EDN: STHKFZ

4. *Миндрин А. С., Кибиров А. Я., Кулаков П. Н.* Сельское хозяйство ФРГ в условиях глобализации. М.: НИПКЦ Восход-А, 2015. 156 с.

5. *Семин А. Н., Мазлоев В. З., Кибиров А. Я.* Экзогенные и эндогенные факторы развития аграрной сферы экономики Республики Южная Осетия // Russian journal of management. 2021. Т. 8. № 4. С. 106–110. DOI: 10.29039/2409-6024-2020-8-4-106-110

REFERENCES

1. Semin A.N., Mazloev V.Z., Kibirov A.Ya. Agrotourism as a factor of socioeconomic development of rural areas in the Republic of South Ossetia. *Economy of Agricultural and Processing Enterprises*. 2021. No. 11. Pp. 66–72. DOI: 10.31442/0235-2494-2021-0-11-66-72. (In Russian)

2. Birzhakov M.B. Tourism issues and role of National Academy of Tourism in life of community-based tourism at present stage. *Turisticheskie firmy* [Travel agencies]. St. Petersburg Nevsky Fund. 2005. No. 37(5). (In Russian)

3. Abryandina V., Zdorov M. Conceptual models of agrotourism integration in Russia. *Economics of Agriculture of Russia*. 2014. No. 10. Pp. 50–55. EDN: STHKFZ. (In Russian)

4. Mindrin A.S., Kibirov A.Ya., Kulakov P.N. *Sel'skoye khozyaystvo FRG v usloviyah globalizacii* [German agriculture in the context of globalization]. Moscow: NIPKC Voskhod-A, 2015. 156 p. (In Russian)

5. Semin A.N., Mazloev V.Z., Kibirov A.Ya. Exogenic and endogenic factors for development of agrarian sphere of economy of the Republic of South Ossetia. *Russian journal of management*. 2021. Vol. 8. No. 4. Pp. 106–110. DOI: 10.29039/2409-6024-2020-8-4-106-110. (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Мазлоев Виталий Зелимханович, д-р экон. наук, проф., гл. науч. сотрудник, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства;

123007, Россия, Москва, Хорошевское шоссе, 35, корпус 2;

mazloevv@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6526-4483, SPIN-код: 2605-0702

Information about the author

Vitaly Z. Mazloev, Doctor of Economic Sciences, Professor, Chief Researcher, Federal Scientific Center for Agrarian Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Institute of Agricultural Economics;

2 bld., 35, Khoroshevskoye shosse, Moscow, 123007, Russia

mazloevv@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6526-4483, SPIN-code: 2605-0702

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

УДК 331.556; 316.65; 314.8 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-345-357
EDN: WDIGNY

Региональные аспекты демографических процессов в современных условиях

И. А. Табаксоев✉, Ф. Ж. Берова

Центр социально-политических исследований
Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18

Аннотация. Демография является одним из главных факторов сохранения и устойчивого развития во всех аспектах любой страны. Исследования, посвященные оценке демографической ситуации как на федеральном, так и на региональном уровне, являются важнейшим инструментом мониторинга и анализа протекающих демографических процессов. Особое значение это приобретает с точки зрения нивелирования негативных трендов депопуляции.

Цель исследования. Проанализировать и выявить основные демографические тренды естественного движения населения РФ и сравнить их с общими тенденциями по СКФО.

Методы исследования. Для достижения поставленной цели были использованы методы статистического и социологического анализа.

Результаты. В статье проведен анализ современной демографической ситуации как в Российской Федераций, так и в СКФО. На основании данных официальной статистики Росстата за 2010–2025 годы проведен сравнительный анализ показателей естественного движения населения и их тенденции.

Выводы. Исходя из проведенного анализа сделан вывод, что демографическая ситуация в РФ ухудшается и существует необходимость принятия неотлагательных мер для ее улучшения. Анализ данных по СКФО показывает, что демографическая ситуация имеет устойчивую положительную динамику.

Ключевые слова: демографические процессы, Российская Федерация, СКФО, Кабардино-Балкарская Республика, численность населения, рождаемость, естественное движение населения

Поступила 03.11.2025, одобрена после рецензирования 28.11.2025, принята к публикации 08.12.2025

Для цитирования. Табаксоев И. А., Берова Ф. Ж. Региональные аспекты демографических процессов в современных условиях // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 345–357. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-345-357

Original article

Regional aspects of demographic processes in modern world

I.A. Tabaksoev✉, F.Zh. Berova

Center for Socio-Political Research,
Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. Demography is one of the key factors in the preservation and sustainable development of any country in all aspects. Research dedicated to assessing the demographic situation, at both the federal and regional levels, is a crucial tool for monitoring and analyzing ongoing demographic processes. This is particularly important for mitigating negative trends of depopulation.

© Табаксоев И. А., Берова Ф. Ж., 2025

Aim. The paper aims to analyze and identify the main demographic trends in the natural population movement in the Russian Federation and compare them with general trends in the North Caucasus Federal District.

Research methods. To achieve this goal, statistical and sociological analysis methods have been used.

Results. This article analyzes the current demographic situation in both the Russian Federation and the North Caucasus Federal District. Using official Rosstat statistics for 2010–2025, a comparative analysis of natural population indicators and their trends is provided.

Conclusions. Based on the analysis, we can conclude that the demographic situation in the Russian Federation is worsening and urgent measures need to be taken to improve the current situation. An analysis of data for the North Caucasus Federal District reveals that the demographic situation shows steady positive trends.

Keywords: demographic processes, Russian Federation, North Caucasus Federal District, Kabardino-Balkarian Republic, population size, birth rate, natural population movement

Submitted 03.11.2025, approved after reviewing 28.11.2025, accepted for publication 08.12.2025

For citation. Tabaksoev I.A., Berova F.Zh. Regional aspects of demographic processes in modern world. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 345–357. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-345-357

Введение

Для современной Российской Федерации демографические проблемы и тренды развития внутри страны представляют особую актуальность и в то же время являются сложной проблемой как для изучения, так и для улучшения проявляющихся негативных тенденций. В последние десятилетия РФ борется с рядом демографических вызовов, которые трудно поддаются решению на короткой временной дистанции. В целом, характеризуя состояние российского общества, есть основания говорить о демографическом кризисе, который остро проявляется в последние годы объемным комплексом труднорегулируемых проблем, среди которых проблемы депопуляции, старения населения, деградации генофонда нации, сохранения института семьи, высокий уровень смертности, миграционные потоки, отток молодых квалифицированных специалистов. Демографический потенциал является связующим фактором между экономическими и социальными компонентами устойчивого социально-экономического развития страны в целом и регионов в частности, так как становится очевидным, что главными факторами устойчивого развития в XXI веке становятся знания, опыт, умение, здоровье, качество человеческого капитала [1, 2]. В связи с этим исследования, посвященные оценке демографической ситуации как на федеральном, так и на региональном уровне, являются важнейшим инструментом мониторинга и анализа протекающих демографических процессов. Особое значение это приобретает с точки зрения нивелирования негативных трендов депопуляции.

Цель данной работы заключается в том, чтобы проанализировать и выявить основные демографические тренды естественного движения населения РФ и сравнить их с общими тенденциями по СКФО.

Для достижения поставленной цели были использованы методы статистического и социологического анализа. Статистический метод анализа позволил изучить и раскрыть закономерности, которые определяют динамику численности населения, а также естественное движение населения (рождаемость, смертность, браки и разводы). Социологический метод позволил получить информацию о различных аспектах демографического поведения населения.

Основным источником информации стали данные Федеральной службы государственной статистики (Росстата), представленные в открытом доступе на сайте организации и аккумулирующие как данные текущего учета по ключевым демографическим показателям естественного движения населения на федеральном уровне, так и региональные показатели СКФО. Представим численность населения РФ за последние 6 лет в целом (табл. 1).

Таблица 1. Численность населения Российской Федерации за 2019–2024 гг.[1]

Table 1. Population of the Russian Federation for 2019–2024

Год	Численность населения РФ, чел.	В том числе, чел.		Доля, %	
		Городское	Сельское	Городское	Сельское
2019	147959284	110541848	37417436	74,71	25,29
2020	147455745	110220755	37234990	74,75	25,25
2021	146980061	109982396	36997665	74,83	25,17
2022	146747424	109655563	36791861	74,72	25,07
2023	146150789	109526940	36623849	74,94	25,06
2024	146119928	109813623	36306305	75,14	24,86
2025	146028325	109691118	36337207	75,27	24,73

Анализ статистических данных за шестилетний период (2019–2024 гг.) показывает, что численность населения РФ за исследуемый период сократилась, особенно сельское население. Так, из табл. 1 следует, что городское население страны преобладает над сельским – 3/1, что может создать в будущем определенную нагрузку на сельскохозяйственный сектор.

Таблица 2. Данные об изменениях численности населения России за 2019–2025 гг.[1]

Table 2. Data on changes in the population of Russia in the period from 2019 to 2025.

Год	Численность населения РФ, чел.	Абсолютный прирост, чел.
2019	147959284	x
2020	147455745	-503539
2021	146980061	-475684
2022	146747424	-1211860
2023	146150789	-1808496
2024	146119928	-30861
2025	146028325	-91603

Интерпретируя приведенные в табл. 2 данные, необходимо учитывать, что на общую демографическую динамику населения в анализируемый период воздействовали помимо естественных и «внешние» факторы. К этим «внешним» необходимо отнести три ключевых фактора, которые существенно повлияли на динамику демографической ситуации в РФ: период и последствия коронавирусной пандемии, начало СВО и массовый отток населения из-за частичной военной мобилизации. Таким образом, численность населения страны уменьшалась на протяжении всего рассматриваемого периода. К 2025 году по сравнению с 2019-м численность населения уменьшилась на 1930 959 чел. (или на 1,3 %).

[1]Федеральная служба государственной статистики (Росстата). URL: https://www.rosstat.gov.ru/

Одним из основных факторов, влияющих на демографическую ситуацию любого государства, является уровень рождаемости населения. Если рассматривать суммарный коэффициент рождаемости в РФ на протяжении последних десятилетий, то он имеет тенденцию к снижению, что приводит к уменьшению численности населения. В то же время есть отдельные субъекты страны, где рождаемость на протяжении долгих лет имеет положительные индексы, к ним относятся и северокавказские республики. Даже с учетом того, что в стране отмечается высокий уровень смертности, особенно среди мужского населения, что, естественно, оказывает серьезное воздействие на демографическую структуру и потенциал страны. Как и в большинстве стран, это связано с различными факторами, включая алкоголизм, курение, наркоманию, техногенные условия и участие в военных действиях.

Таблица 3. Анализ рождаемости и смертности населения в РФ за 2019–2024 гг.[2]

Table 3. Analysis of birth and death rates in the Russian Federation for 2019–2024.

Год	Число родившихся, чел.	Число умерших, чел.	Естественный прирост, чел.	Общий коэффициент рождаемости	Общий коэффициент смертности, чел.
2019	1481074	1798307	-317233	11,1	8,1
2020	1436514	2138586	-702072	11,7	9,8
2021	1398253	2441594	-1043341	11,6	10,5
2022	1304087	1898644	-594557	11,5	8,7
2023	1264354	1764618	-500264	11,0	7,5
2024	1222408	1819659	-597251	11,2	7,7

Анализируя данные, представленные в табл. 3, можно сделать вывод, что на всем протяжении рассматриваемого периода смертность преобладает над рождаемостью. При этом наибольшую разницу можно отметить в 2021 году, когда естественный прирост составил максимальную отрицательную величину (-1043 341 чел.).

Таким образом, в Российской Федерации существует весьма непростая демографическая ситуация, для решения которой необходимо разработать целую систему мер для улучшения протекающих негативных тенденций.

Но в то же время в РФ есть несколько федеральных округов, где демографическая ситуация весьма благоприятная. СКФО является одним из них, на протяжении десятков лет показывая положительную динамику в демографических показателях. Рассмотрим, какая ситуация в СКФО с ключевыми показателями демографических процессов по данным Росстата.

СКФО – самый маленький по площади и предпоследний по численности населения округ в РФ. Это единственный округ, где сохраняется положительный естественный прирост населения и имеется положительная динамика для роста 0,4 % ежегодно. По показателю средней ожидаемой продолжительности жизни регионы округа занимают лидирующее место, а по возрастной структуре населения наблюдается сбалансированность с относительно повышенной долей детей (табл. 4). Исключением является только Ставропольский край, где показатели существенно ниже, чем в других субъектах округа.

[2]Федеральная служба государственной статистики (Росстата). URL: https://www.rosstat.gov.ru/

Но в то же время регионы СКФО заметно дифференцированы по демографическим показателям и протекающим в них тенденциям. Для простоты исследования необходимо разделить субъекты на три группы по динамике численности населения. В первую группу входят регионы со стабильным приростом численности населения: в Дагестане – 0,7%, в Чеченской Республике – 1,3 %, в Ингушетии – 1,7 %. Во вторую группу входят те регионы, у которых низкий прирост населения: например, КБР, где прирост составил 0,1 %, и КЧР, где наметилось некоторое сокращение численности населения, – 0,04 %. В третью группу входят субъекты с существенным снижением численности населения – это Ставропольский край – 0,4 % и Северная Осетия–Алания – 0,5% (табл. 4, 5) [3].

Для более глубокого изучения имеющихся тенденций проведем сравнительный анализ показателей за 2020–2024 гг.

Таблица 4. Показатели естественного движения населения КБР за 2020 г.[3,4,5,6,7,8,9,10]

Table 4. Indicators of natural population movement in the KBR for 2020.

2020								
Показатели	СКФО	СК	КБР	КЧР	РД	РИ	ЧР	РСО-А
Численность постоянного населения	9949,1	2792,8	869,2	465,5	3133,3	515,5	1478,7	693,1
Родившихся, тыс.	136,5	27,4	9,6	2,9	47,1	8,3	29,8	8,2
Умерших, тыс.	90,1	36,2	7,6	2,7	19,7	1,9	9,4	8,5
Общий коэф. смертности, на 1000 чел.	9,0	12,9	10,1	10,8	6,3	3,8	6,3	12,3
Общий коэф. рождаемости	13,7	9,8	11,7	11,0	14,9	16,3	20,0	11,8
Естественный прирост, тыс.	46,5	- 9,2	1,1	0,1	27,3	6,5	20,5	- 346
Общий коэффициент прироста, %	4,7	- 3,3	1,8	0,2	8,8	12,5	13,7	- 0,5
Миграционный прирост, тыс.	-9,1	- 1,1	- 0,9	- 236	3,1	2,9	- 1,2	- 3,3
Браков, тыс.	770,8	12,6	3,9	1,9	13,8	1,8	8,1	2,8
Разводов, тыс.	564,7	10,2	2,1	1,4	5,3	5,1	1,5	1,7
Общий коэф. брачности	5,3	4,5	4,8	4,1	4,4	3,6	5,5	4,1
Общий коэф. разводимости	3,9	3,7	3,4	3,0	1,7	1,0	1,0	2,5

[3]Дагестан в цифрах: краткий статистический сборник. 2020 / Электронная библиотека «Молодежь Содружества» [Электронный ресурс]. URL: https://youthlib.mirea.ru/ru/resource/6320

[4]Северная Осетия–Алания в цифрах. Краткий статистический сборник. 2020 / Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу [Электронный ресурс]. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/AHpBsvvl/OSET_2020_1.pdf

[5]«Ставропольский край в цифрах. Краткий статистический сборник. 2020 / Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу [Электронный ресурс]. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/AHpBsvvl/OSET_2020_1.pdf

[6]Республика Ингушетия в цифрах. Краткий статистический сборник. 2020 / Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/eZ84IC6m/краткий%20сборник%20Республика%20Ингшетия%20в%20цифрах,%202020%20(1).pdf

[7]Чеченская Республика в цифрах. Краткий статистический сборник. 2020 / Управление Федеральной службы государственной статистики по СКФО. URL: https://95.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/NsfkEkXv/Сборник.

[8]Федеральная служба государственной статистики (Росстата). 2025. http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/PrPopul2025_Site.xlsx

[9]Кабардино-Балкария в цифрах. Краткий статистический сборник. 2020 / Управление Федеральной службы государственной статистики по СКФО. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Кабардино-Балкария.

[10] КЧР в цифрах. Краткий статистический сборник. 2020 / Управление Федеральной службы государственной статистики по СКФО. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/KCHR

Таблица 5. Показатели естественного движения населения КБР за 2024 г.[11,12,13,14,15,16,17]

Table 5. Indicators of natural population movement in the KBR for 2024

2024								
Показатели	СКФО	СК	КБР	КЧР	РД	РИ	ЧР	РСО-А
Численность постоянного населения	10310,9	2884,3	908,2	468,3	3232,2	534,5	1552,9	678,8
Родившихся, тыс.	127,1	17,4	10,1	4,4	42,3	8,1	30,8	6,9
Умерших, тыс.	71,2	23,7	6,9	3,9	14,5	3,5	6,6	6,4
Общий коэф. смертности, на 1000 чел.	7,0	11,0	7,7	8,6	4,5	3,5	4,3	9,5
Общий коэф. рождаемости	12,4	8,1	11,2	9,5	13,1	15,0	20,0	10,3
Естественный прирост, тыс.	55,7	- 1,7	3,2	481	27,7	6,1	24,2	503
Общий коэф. прироста, %	5,4	- 6,6	3,5	1,3	7,5	11,5	15,7	0,8
Миграционный прирост, тыс.	- 10,4	6,8	- 480	- 603	96	1,2	- 4,5	- 2,3
Браков, тыс.	34,7	15,4	4,1	1,8	7,2	0,9	2,8	2,5
Разводов, тыс.	52,3	12,5	3,4	2,9	20,5	1,7	6,8	4,5
Общий коэф. брачности	1,7	5,4	4,6	4,0	2,2	1,9	1,8	3,7
Общий коэф. разводимости	3,8	4,3	3,8	4,2	6,4	6,7	44	4,9

Таким образом, следует отметить, что в целом СКФО сохраняет благоприятную динамику демографического потенциала. Субъекты, в которых отмечалась устойчивая положительная динамика в относительных показателях и традиционно высокая рождаемость, – это Дагестан, Чечня, Ингушетия. Постоянная отрицательная динамика, то есть убыль численности населения, отмечается в Северной Осетии–Алании. Переменная динамика, но преимущественно убыль населения, отмечалась в Карачаево-Черкесии и Кабардино-Балкарии (табл. 4, 5).

Анализ демографических изменений в Кабардино-Балкарии представляет несомненный интерес как в теоретическом, так и в научно-практическом осмыслении.

Для определения современной демографической ситуации в Кабардино-Балкарской Республике необходимо рассмотреть ее в динамике и провести сравнительный анализ показателей. Для анализа взяты данные Росстата (табл. 6):

[11]Ставропольский край в цифрах. Краткий статистический сборник. 2024 / Управление Федеральной службы государственной статистики по СКФО. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/офиц.

[12]Кабардино-Балкария в цифрах. Краткий статистический сборник. 2024 / Управление Федеральной службы государственной статистики по СКФО. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Кабардино-Балкария

[13]КЧР в цифрах. Краткий статистический сборник. 2024 / Управление Федеральной службы государственной статистики по СКФО. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/КЧР.

[14]Чеченская Республика в цифрах. Краткий статистический сборник. 2024 / Управление Федеральной службы государственной статистики по СКФО. URL: https://95.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Сборник

[15]Республика Ингушетия в цифрах. Краткий статистический сборник. 2025 / Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу [Электронный ресурс]. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/_0_Обложка_merged%20(1).pdf

[16]Дагестан в цифрах. Краткий статистический сборник. 2024 / Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу [Электронный ресурс]. URL: https://05.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Дагестан%20в%20цифрах%202024.pdf

[17]Северная Осетия–Алания в цифрах. Краткий статистический сборник. 2024 / Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу [Электронный ресурс]. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/OSET_2024_2.pdf

– 2002 г., население составляет 901 494 чел., плотность населения – 71,23 чел./км², городское население – 56,6% [1];

– 2015 г., население составляет 862 050 чел., плотность населения – 69,15 чел./км², городское население – 52,21% [1];

– 2025 г., население составляет 908 214 чел., плотность населения – 72,83 чел./км², городское население – 51,62%[18].

Таблица 6. Численность населения КБР за 2002–2025 гг.[19, 20]

Table 6. Population of the KBR for 2002–2025

	Все население	В том числе		Общая числ. населения, %	
		городское	сельское	городское	сельское
2002	901,4	510,2	391,2	56,6	43,4
2010	859,9	468,4	391,5	54,5	45,5
2020	868,4	452,1	416,3	52,1	47,9
2021	869,8	452,3	417,4	51,97	48,03
2022	870,4	452,6	417,8	51,94	48,06
2023	903,3	467,7	435,6	51,9	48,1
2024	906,8	468,5	438,2	51,49	48,51
2025	908,2	468,8	439,3	51,62	48,38

Из табл. 6 следует, что в Кабардино-Балкарии численность населения имеет устойчивую положительную динамику в относительных показателях. Но в то же время показатели 2002 г. и показатели 2023 г. задают задачу для демографов. Каким образом республика с невысокой, но устойчивой положительной динамикой может прибавить 33 тыс. человек.

По районам КБР цифры по численности населения распределились следующим образом: Баксанский – 65 901; Зольский – 51 042; Лескенский – 31 612; Майский – 37 595; Прохладненский – 50 432; Черекский – 30 890; Терский – 53 597; Урванский – 76 070; Чегемский – 78 714 и Эльбрусский – 39 589 человек[21].

Данные по рождаемости и смертности, а также по бракам и разводам не обновлялись в 2025 году. Однако данные с 2010 по 2024 год свидетельствуют о снижении рождаемости и значительном росте смертности в ковидный 2020-й и постковидные 2021-2022 годы (табл. 7). В 2022 году родилось на 3293 младенца меньше, чем в 2013 году, умерло на 179 человек больше. Ситуация с браками и разводами не лучше. Количество заключенных браков в анализируемый период существенно уменьшилось по сравнению с 2013 годом. По

[18]Кабардино-Балкария в цифрах. Краткий статистический сборник. 2025 / Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу [Электронный ресурс]. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/BhDnA83o/Кабардино-Балкария%20в%20цифрах%202021.pdf

[19]Кабардино-Балкария в цифрах. Краткий статистический сборник. 2023 / Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу [Электронный ресурс]. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/КАБАРДИНО-БАЛКАРСКАЯ%20РЕСПУБЛИКА,%202023.pdf

[20]Кабардино-Балкария в цифрах. Краткий статистический сборник. 2024 / Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу [Электронный ресурс]. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Кабардино-Балкария%20в%20цифрах.%202024.pdf

[21]Оперативные демографические показатели Кабардино-Балкарской Республики. 2022 / Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу [Электронный ресурс]. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Оперативные%20демографические%20показатели%20КБР%20за%20январь-декабрь%202022г.pdf

поводу разводов не все так однозначно, хотя показатели сильно превышают прогнозируемые показатели по годам до 2022 г. Почему мы говорим, что не все так однозначно с этими цифрами? Дело в том, что для получения единого пособия на детей были введены определенные требования по доходам, и чтобы обойти эти барьеры, многие оформили развод. Соответственно, показатели поплыли вверх.

Таблица 7. Показатели естественного движения населения КБР за 2010–2024 гг.[22,23,24][2].

Table 7. Indicators of natural population movement in the KBR for 2010–2024

Показатели	**2010**	**2013**	**2014**	**2015**	**2020**	**2022**	**2023**	**2024**
Родившихся	12576	13365	13482	12627	10531	10049	9941	10180
Умерших	8080	7712	7597	7582	8770	8010	6827	6963
в том числе детей в возрасте до 1 года	75	90	90	87	57	41	37	38
Общий коэффициент рождаемости	14,6	15,5	15,6	15,7	11,7	11,5	11,0	11,2
Общий коэффициент смертности, на 1000 чел.	9,4	9,0	8,7	8,6	9,8	8,7	7,5	7,7
Естественный прирост (+), убыль (-)	4496	5653	5885	5045	1761	2039	3114	3217
Зарегистрировано:								
браков	7060	6338	5772	5340	3949	4277	4157	4133
разводов	2353	2174	2173	2154	2242	4122	4547	3422
Общий коэффициент брачности	8,6	7,4	6,6	6,1	4,4	4,7	4,6	4,6
Общий коэффициент разводимости	4,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4,6	5,0	3,8

Из данных, приведенных в табл. 7, становится очевидно, что нынешний уровень рождаемости в КБР не обеспечивает даже простого воспроизводства населения, что является фактором для глубокого анализа. Для простого замещения поколений необходимо, чтобы в расчете на каждые 100 женщин фертильного возраста приходилось не менее 215 рождений. В настоящее время в КБР интенсивность деторождений или среднее число рождений на одну женщину 1,7 против необходимых 2,15. При этом в городах этот показатель еще ниже. Если в селах в среднем на одну женщину приходится двое или трое родившихся, то в городе – только один или два. В репродуктивном поведении населения республики доминирует малодетная модель семьи. На этот фактор также влияет трансформация системы ценностей населения республики [2].

Несмотря на неутешительную статистику, число жителей республики, по данным того же Росстата, с 2022 по 2025 г. увеличилось на 37,8 тыс. чел. Этот феномен нам еще предстоит исследовать (табл. 8).

[22]Кабардино-Балкария в цифрах. Краткий статистический сборник. 2016 / Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу [Электронный ресурс]. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Кабардино-Балкария%20в%20цифрах,%202016%20год.pdf

[23]Кабардино-Балкария в цифрах. Краткий статистический сборник. 2023 / Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу [Электронный ресурс]. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/КАБАРДИНО-БАЛКАРСКАЯ%20РЕСПУБЛИКА,%202023.pdf

[24]Кабардино-Балкария в цифрах. Краткий статистический сборник. 2024 / Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу [Электронный ресурс]. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Кабардино-Балкария%20в%20цифрах.%202024.pdf

Таблица 8. Основные социально-демографические показатели КБР за 2002–2024 гг.[25,26,27]

Table 8. Main socio-demographic indicators in the KBR 2002–2024

	2002	**2005**	**2010**	**2020**	**2022**	**2023**	**2024**
Численность населения, тыс. человек	901,2	886,2	859,8	869,2	903,3	905,5	908,2
Среднегодовая численность занятых, тыс. чел.	321,9	310,6	309,9	360,6	363,7	386,0	*
Трудоспособное население, всего, тыс. чел.	**523,1**	**542,1**	**539,3**	**550,6**	**449,2**	*****	*****
Старше трудоспособного, всего	139,7	135,9	143,4	175,2	*	*	*
Численность пенсионеров, тыс. чел.	178,4	176,5	180,0	200,7	195,4	192,6	193,0
Численность безработных по методологии МОТ, тыс. чел.	68,1	91,1	48,2	66,9	44,7	40,4	29,0
Численность безработных, зарегистрированных в органах гос. службы занятости, тыс. чел.	7,5	37,7	12,0	74,2	7,6	4,2	2,0

*Данные, не опубликованные на официальных сайтах.

В 1989 г. Кабардино-Балкария являлась регионом с устойчивым положительным приростом населения, который составлял 22 чел. на 1000 населения. За 10 лет (между переписями 1979 и 1989 гг.) население республики увеличилось на 86,9 тыс. чел. (13,05 %). Результаты переписи 2002 г. были не совсем однозначными, и у многих ученых имелись определенные вопросы по поводу достоверности данных. По ее результатам было выявлено, что в республике проживает 901, 494 тыс. чел. (в 1989 г. было 753,5 тыс. чел), то есть за 13 лет увеличение составило 19,6 %. Однако результаты переписи 2010 и 2020 гг. уже отвечают на поставленные вопросы и наглядно показывают темпы естественного прироста населения республики, в частности «титульного». Однако данные с 2022 по 2023 г. необходимо более внимательно изучить и найти объяснения факту роста численности постоянного населения на 33 тыс. Так как происходит сжатие естественного движения населения республики по данным таблицы, а его численность непропорционально увеличивается. Несмотря на то, что в Кабардино-Балкарию прибыло немало беженцев с зоны СВО, их количество не может дать такое увеличение.

[25]Кабардино-Балкария в цифрах. Краткий статистический сборник. 2016 / Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу [Электронный ресурс]. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Кабардино-Балкария%20в%20цифрах,%202016%20год.pdf

[26]Кабардино-Балкария в цифрах. Краткий статистический сборник. 2024 / Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу [Электронный ресурс]. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Кабардино-Балкария%20в%20цифрах.%202024.pdf

[27]Кабардино-Балкария в цифрах. Краткий статистический сборник. 2023 / Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу [Электронный ресурс]. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/КАБАРДИНО-БАЛКАРСКАЯ%20РЕСПУБЛИКА,%202023.pdf

Таблица 9. Сравнительный анализ показателей естественного движения населения СКФО и КБР за 2020–2024 гг.[28,29,30]

Table 9. Comparative analysis of the natural population movement indicators of the North Caucasus Federal District and the Kabardino-Balkarian Republic for 2020–2024

Показатели	2020		2022		2023		2024	
	СКФО	КБР	**СКФО**	КБР	**СКФО**	КБР	**СКФО**	КБР
Родившихся, тыс.	**1435,8**	10,5	**1306,1**	10,0	**1265,1**	9,9	**1222,4**	10,1
Умерших, тыс.	**2124,5**	8,7	**1905,7**	8,0	**1760,2**	6,8	**1819,6**	6,9
Общий коэф. рождаемости	**9,6**	**11,7**	**9,0**	**11,5**	**8,7**	**11,0**	**8,4**	**11,2**
Общий коэффициент смертности, на 1000 чел.	**9,0**	9,8	8,9	8,7	4,5	7,5	7,0	7,7
Естественный прирост, тыс.	**-688,7**	1,7	**-599,1**	2,0	**-500,3**	3,1	**-597,2**	3,2
Зарегистрировано								
Браков тыс.	**770,8**	3,9	**1053,8**	4,2	**964**	4,1	**880,2**	4,1
Разводов тыс.	**564**	2,2	**683,1**	4,1	**684**	4,5	**644,1**	3,4
Общий коэф. брачности	**4,5**	4,4	**4,0**	4,7	**3,4**	4,6	**1,7**	4,6
Общий коэф. разводимости	**3,7**	2,5	**5,4**	4,6	**5,4**	5,0	**3,8**	3,8

Таблица 10. Показатели естественного движения населения РФ и КБР за 2020–2024 гг. в динамике[31,32,33]

Table 10. Indicators of natural population movement in the Russian Federation and the Kabardino-Balkarian Republic for 2020–2024 in dynamics

Показатели	2020		2022		2023		2024	
	РФ	КБР	**РФ**	КБР	**РФ**	КБР	**РФ**	КБР
Общий коэффициент рождаемости	**9,6**	11,7	9,0	11,5	8,7	11,0	8,4	11,2
Общий коэффициент смертности	**14,5**	9,8	**13,1**	8,7	**12,0**	7,5	**12,5**	7,7
Естественный прирост (+), убыль (-), тыс.	**-688,7**	1,7	**-599,1**	2,0	**-500,3**	3,1	**-597,2**	3,2
Общий коэффициент брачности	**5,3**	4,4	**7,2**	4,7	**6,5**	4,6	**3,1**	4,6
Общий коэффициент разводимости	**3,9**	2,5	**4,7**	4,6	**4,7**	5,0	**4,4**	3,8

Сравнительный анализ естественного движения населения РФ, СКФО и КБР показывает (табл. 9, 10), что демографическая ситуация в Кабардино-Балкарии имеет устойчивую

[28]Кабардино-Балкария в цифрах. Краткий статистический сборник. 2024 / Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу [Электронный ресурс]. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Кабардино-Балкария%20в%20цифрах.%202024.pdf

[29]Федеральная служба государственной статистики (Росстата). URL: https://www.rosstat.gov.ru/

[30]Общие итоги естественного движения населения в Российской Федерации / Федеральная служба государственной статистики (Росстата) / [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/ Edn_12-2024_t1_1.xlsx

[31]Кабардино-Балкария в цифрах. Краткий статистический сборник. 2024 / Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу [Электронный ресурс]. URL: https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Кабардино-Балкария%20в%20цифрах.%202024.pdf

[32]Федеральная служба государственной статистики (Росстата). URL: https://www.rosstat.gov.ru/

[33]Общие итоги естественного движения населения в Российской Федерации / Федеральная служба государственной статистики (Росстата) / [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/ Edn_12-2024_t1_1.xlsx

положительную динамику, хотя общий коэффициент рождаемости незначительно превышает среднероссийские показатели.

Результаты прогноза свидетельствуют об ожидаемых глубоких деформациях в возрастной структуре населения республики. Сокращение численности детей приведет к постепенному, а с 2025 года к значительному высвобождению работников социальной сферы (в детских дошкольных учреждениях и в сфере образования), что приведет соответственно к повышению уровня безработицы среди среднего класса, особенно интеллигенции [6]. При сложившейся в республике тенденции в сфере труда у молодежи возникнут проблемы с трудоустройством, что также приведет к росту уровня безработицы среди этой категории населения. Таким образом, в предстоящие годы в республике будет складываться довольно сложная социально-демографическая ситуация [6].

В целях смягчения депопуляции населения, на наш взгляд, в первую очередь необходима разработка социально-политической концепции семьи, основанной на двух различных и вместе с тем тесно взаимосвязанных направлениях – демографической и социальной.

В данном исследовании нами не был проведен глубокий анализ миграционных процессов, т.к. этой теме будет посвящена отдельная работа. Однако кратко скажем, что миграционный отток населения и в целом миграционные процессы существенно влияют на структуру населения. В результате оттока молодежи и наиболее активной части трудоспособного населения происходит существенное повышение доли старших возрастных групп. При сохранении наметившейся тенденции практически в ближайшие годы ожидается резкое сокращение русского населения [7]. В 2023 году миграционный прирост населения республики составил 934 человека, из них 335 уехали в другие регионы страны, 428 – в страны СНГ, 171 человек – в другие зарубежные страны.

Таким образом, СКФО является одним из не многих федеральных округов, где в целом демографическая ситуация характеризуется неким «остовом демографического благополучия», хотя и существуют определенные тенденции к сжатию естественного прироста населения. Демографическая ситуация в Кабардино-Балкарии имеет устойчивую положительную динамику, хотя коэффициент рождаемости незначительно превышает среднероссийские показатели.

Заключение

Подводя итоги, следует отметить, что в целом по РФ существует весьма непростая демографическая ситуация, осложненная влиянием низкой рождаемости, миграционными процессами, а также потерей человеческого потенциала на СВО, для комплексного решения которой необходимо разработать целую систему мер для улучшения протекающих негативных тенденций. В целом принимаемые меры по улучшению негативных последствий в демографической ситуации страны дают положительную динамику. Но в то же время они сопровождаются определенными барьерами, которые создают неустойчивый вектор долгосрочного планирования и стимулирования рождаемости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Табаксоев И. А.* Современные демографические и миграционные процессы в КБР и их влияние на социально-экономическое развитие // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 345–353. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-345-353

2. *Табаксоев И. А.* Демографическая ситуация в Кабардино-Балкарской Республике и ее влияние на устойчивое развитие региона // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2016. № 4(72). С 137–141. EDN: WKDYFF

3. *Белозеров В. С., Щитова Н. А., Соловьев И. А.* Демографическая ситуация в Северо-Кавказском федеральном округе // Наука о земле. 2021. № 4. С. 77–94. DOI: 10.37493/2308-4758.2021.4.5

4. *Кушхабиев А. В., Улаков М. З., Алхасов М. М., Табаксоев И. А.* Трансформация системы ценностей населения Кабардино-Балкарии в современных условиях. Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН, 2019. 192 с.

5. *Табаксоев И. А.* Трансформация структуры населения Кабардино-Балкарской Республики и ее влияние на демографические процессы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2015. № 6-1(68). С. 146–153. EDN: SWXDPM

6. *Берова Ф. Ж.* Результаты анализа и прогноза воспроизводства населения на макро- и мезоуровне // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 1(111). С. 37–48. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-1-111-37–48

7. *Берова Ф. Ж., Шериева А. А.* Миграционные процессы на Северном Кавказе и возможные их последствия (на примере Кабардино-Балкарской Республики) // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 3(113). С. 30–39. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-3-113-30-39

REFERENCES

1. Tabaksoev I.A. Current demographic and migration processes in the KBR and their impact on socio-economic development. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.* 2023. No. 6 (116). Pp. 345–353. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-345-353. (In Russian)

2. Tabaksoev I.A. Demographic situation in the Kabardino-Balkarian Republic and its impact on the sustainable development of the region. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2016. No. 4(72). Pp. 137–141. EDN: WKDYFF. (in Russian)

3. Belozerov V.S., Shchitova N.A., Soloviev I.A. Demographic situation in the North Caucasus Federal District. *Science of the Earth.* 2021. No. 4. Pp. 77–94. DOI: 10.37493/2308-4758.2021.4.5 (accessed 21.11.2025). (In Russian)

4. Kushkhabiev A.V., Ulakov M.Z., Alkhasov M.M., Tabaksoev I.A. *Transformaciya sistemy cennostey naseleniya Kabardino-Balkarii v sovremennyh usloviyah* [Transformation of the value system of the population of Kabardino-Balkaria in modern conditions]. Nalchik: Izdatel'stvo KBSC RAN, 2019. 192 p. (In Russian)

5. Tabaksoev I.A. Transformation of the population structure in the Kabardino-Balkarian Republic and its impact on demographic processes. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015. No. 6-1(68). Pp. 146–153. EDN: SWXDPM. (In Russian)

6. Berova F.Zh. Results of the analysis and forecast of population reproduction at the macro- and meso-levels. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.* 2023. No. 1(111). Pp. 37–48 DOI: 10.35330/1991-6639-2023-1-111-37–48. (In Russian)

7. Berova F.Zh., Sherieva A.A. Migration processes in the North Caucasus and their possible consequences (using the example of the Kabardino -Balkarian Republic). *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2023. No. 3(113). Pp. 30–39. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-3-113-30-39. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Табаксоев Ибрагим Ахматович, канд. социол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории социально-демографических исследований Центра социально-политических исследований, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18;

tabaksoev1982@list.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0007-3608-4882, SPIN-код: 7506-1674

Берова Фаризат Жамаловна, д-р экон. наук, зав. лабораторией социально-демографических исследований Центра социально-политических исследований, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18;

berova@list.ru, SPIN-код: 2186-2173

Information about the authors

Ibragim A. Tabaksoev, Candidate of Sociological Sciences, Senior Researcher, Center for Socio-Political Research, Laboratory of Social and Demographic Research, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia;

tabaksoev1982@list.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0007-3608-4882, SPIN-code: 7506-1674

Farizat Zh. Berova, Doctor of Economics, Head of Laboratory of Socio and Demographic Researches, Center for Socio-Political Research, Kabardino-Balkarian Scientific Centre of the Russian Academy of Science;

18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia;

berova@list.ru, SPIN-code: 2186-2173

МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 65.016.2 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-358-368
EDN: RROVXJ

Управление цифровой трансформацией IT-компании

А. С. Бандурян✉, А. В. Назаренко

Московский политехнический университет
107023, Россия, Москва, ул. Большая Семеновская, 38

Аннотация. Статья посвящена исследованию вызовов, возникающих перед IT-компаниями в период проведения цифровой трансформации. В текущих условиях глобальной турбулентности отраслей особенно острым остается вопрос организации цифровой трансформации в компании. Научная новизна исследования заключается в разработке модели поэтапной цифровой трансформации в IT-компании с упором на технологические и управленческие решения и трехуровневой «карты» оценки цифровой зрелости компании.

Цель исследования – разработка практико-ориентированной модели цифровой трансформации, позволяющей IT-компаниям проводить поэтапный переход в сторону современных технологий и оценивать текущий уровень цифровой зрелости компании.

Методы исследования. Научно-исследовательская методология характеризуется применением системного и сравнительного анализа, а также специфических методов, представленных многофакторным моделированием.

Результаты. Проведена оценка текущего состояния цифровой трансформации и выявлены основные факторы, способствующие эффективной работе IT-компании.

Заключение. Практическая значимость работы заключается в адаптивности разработок под различные сегменты компаний и их гибкости к модернизации под меняющиеся условия рынка. По результатам проведенного анализа формируются выводы о необходимости комплексного, последовательного подхода к организации процесса проведения цифровой трансформации, учитывая критическую значимость успешной кадровой политики, уделение особого внимания кибербезопасности и непрерывность развития.

Ключевые слова: автоматизация, цифровая трансформация, IT-компании, технологическое лидерство, модель управления, цифровая зрелость

Поступила 01.10.2025, одобрена после рецензирования 13.10.2025, принята к публикации 18.11.2025

Для цитирования. Бандурян А. С., Назаренко А. В. Управление цифровой трансформацией IT-компании // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 358–368. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-358-368

Original article

Management of digital transformation of an IT company

A.S. Banduryan✉, A.V. Nazarenko

Moscow Polytechnic University
38, Bolshaya Semyonovskaya street, Moscow, 107023, Russia

Abstract. The article is devoted to the study of challenges facing IT companies during the digital transformation. In the current conditions of global turbulence of industries, the issue of organizing digital transformation in companies remains especially acute. The scientific novelty of the study is the

© Бандурян А. С., Назаренко А. В., 2025

development of a phased digital transformation model in IT companies with an emphasis on technological and management solutions and a three-level "map" for assessing the company's digital maturity.

Aim. The study is to develop a practice-oriented digital transformation model that allows IT companies to make a phased transition towards modern technologies and assess the current level of digital maturity of the company.

Research methods. Research methodology is characterized by the application of systematic and comparative analysis, as well as specific methods represented by multivariate modeling.

Results. The current state of digital transformation was assessed and the main factors contributing to the effective operation of the IT company were identified.

Conclusion. The practical significance of the work lies in the adaptability of developments for different segments of companies and their flexibility to modernize to changing market conditions. Based on the results of the analysis, conclusions are drawn about the need for an integrated, consistent approach to organizing the digital transformation process, taking into account the critical importance of a successful personnel policy, special attention to cybersecurity and continuity of development.

Keywords: automation, digital transformation, IT companies, technological leadership, management model, digital maturity

Submitted 01.10.2025, approved after reviewing 13.10.2025, accepted for publication 18.11.2025

For citation. Banduryan A.S., Nazarenko A.V. Management of digital transformation of an IT company. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 358–368. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-358-368

Введение

Эпоха цифровой трансформации, характеризующаяся повсеместным проникновением цифровых технологий, радикально трансформирует экономические, социальные и культурные ландшафты. В авангарде этих изменений традиционно находятся IT-компании, которые выступают не только катализаторами, но и основными бенефициарами цифровой трансформации. Однако текущее положение IT-компаний не является статичным: оно динамично эволюционирует под воздействием ускоряющихся технологических изменений, меняющихся рыночных запросов, усиливающейся конкуренции и возрастающих регуляторных требований.

Цели и задачи исследования. Основной целью исследования является разработка практико-ориентированной модели цифровой трансформации, позволяющей IT-компаниям проводить поэтапный переход в сторону современных технологий и оценивать текущий уровень цифровой зрелости компании. Для достижения главной цели необходимы постановка и решение частных задач, включающих анализ современного состояния IT-рынка в контексте вызовов, связанных с цифровой трансформацией, в том числе технологические, организационные и кадровые вопросы; систематизация критериев оценки цифровой зрелости и выявление приоритетных компонентов; формулирование практических рекомендаций по внедрению, а также обоснование значимости непрерывности процесса адаптации к технологическим условиям и конъюнктурным изменениям.

Материалы и методы

Для развития IT-компании необходимо в первую очередь определить ее ключевые преимущества и возможности для роста, некоторые реперные точки. Среди них можно обозначить технологическое лидерство и инновационно-ресурсную емкость, гибкость и адаптивность, выход на глобальные рынки, имеющийся интеллектуальный капитал (в частности, способные кадры), организационную культуру, ориентированную на развитие информационных данных [1]. Рассмотрим каждое из направлений более подробно.

– Технологическое лидерство, с учетом высокого уровня ориентированности государства на технологический суверенитет, является одним из важнейших преимуществ компании, что заключается в самопроизводстве IT-компанией собственных решений и технологий, таких как искусственный интеллект (ИИ – AI), машинное обучение, большие данные, облачные решения, интернет вещей, технологии блокчейн и кибербезопасности [2]. Для того чтобы данное направление работало, компаниям следует осуществлять непрерывное инвестирование в сферу НИОКР, что позволит создавать инновационные продукты, услуги, сервисы в контексте условий современности и конъюнктурных изменений.

– Гибкость и адаптивность связаны с тем, что деятельность компаний основывается на принципах «agile», когда присутствует востребованность в непрерывном взаимодействии между участниками процесса [3]. В свою очередь данные принципы базируются на интегративном подходе, когда рабочая деятельность «модулируется» и по завершению каждой сессии представляется результат. Внутренняя гибкость и адаптивность в таких условиях – критические элементы успешной работы.

– Выход на глобальные рынки – это еще одна часть, являющаяся преимуществом, поскольку цифровые продукты, разрабатываемые компанией, могут быть применены в любой части земного шара. В связи с чем выход на глобальные рынки, а именно налаженные каналы сбыта, позволяет компаниям масштабировать свой бизнес и ориентировать его на международную аудиторию, следовательно, увеличивать свою прибыль в разы.

– Интеллектуальный капитал: когда IT-сектор привлекает высококвалифицированных специалистов для своей деятельности, концентрируя лучших в отрасли, компания приобретает одно из важнейших конкурентных преимуществ, потому что именно люди способны создавать творческие, ранее не существующие продукты.

– Организационная культура, ориентированная на большие данные, может быть выделена на основе набора стандартных действий компании: анализа, сбора данных, их использования для принятия каких-либо решений и так далее. С учетом Bigdata, всемирно лежащих в основе различных процессов, культура, ориентированная на данные, становится ключевым конкурентным преимуществом.

При всем этом компании подвержены столкновению с вызовами ввиду своей уязвимости в условиях цифровой трансформации. Например, усиленная конкуренция за лучшие кадры, в особенности в России, когда высока угроза «утечки» квалифицированных специалистов за рубеж. Нехватка профессионалов в новых развивающихся областях IT-экосистемы ставит под угрозу инновационное развитие и увеличивает операционные расходы компаний. Особенно заметно данное течение в областях искусственного интеллекта, облачных решений, а главное – кибербезопасности, востребованной во всех структурах.

Еще одним вызовом для IT-компаний может стать ускоренное технологическое устаревание. Темпы появления и внедрения технологий на сегодняшний день настолько высоки, что тренды способны меняться ежедневно. Для столь инновационной и уникальной сферы, как IT, важно не просто следовать за движением технологий, но и предугадывать дальнейшее развитие и ввод на рынки, чтобы быть либо разработчиками и поставщиками этих технологий, либо становиться одними из первых внедренцев. Здесь, как ранее упоминалось, наиболее верными шагами являются глубокое и стабильное финансовое вложение средств в сферу НИОКР, а также обучение персонала, обновление инфраструктурной информационной базы.

С ростом цифровизации увеличивается и количество кибер-угроз, которые к тому же растут качественно – сложность атак возрастает. Компании зачастую работают с большим объемом персональных данных, которые являются непосредственной мишенью

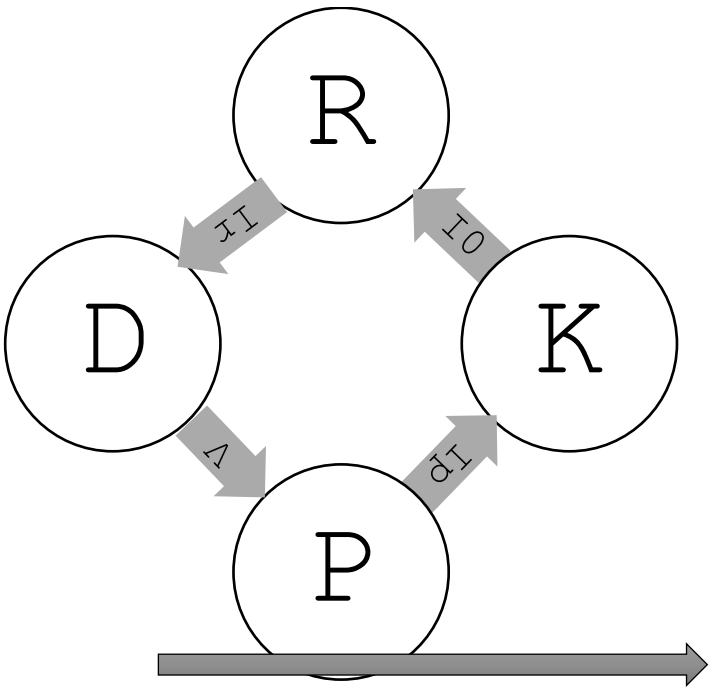
злоумышленников [4]. Угрозы утечек, шпионаж, программы-вымогатели, устанавливаемые посредством вирусов, требуют принятия таких мер, которые могли бы обеспечить кибербезопасность.

Современные тенденции цифровизации экономики и общества кардинально меняют бизнес-ландшафт, предъявляя новые требования к IT-компаниям. Традиционные модели управления, основанные на жесткой иерархии и линейных процессах, уступают место гибким, адаптивным и клиентоориентированным подходам [5].

Цифровая трансформация системы управления IT-компанией – это комплексный процесс, затрагивающий организационную структуру, бизнес-процессы, корпоративную культуру и технологическую инфраструктуру [6]. Для успешной трансформации необходимо переосмыслить ключевые принципы управления, внедрить современные методологии и инструменты, а также обеспечить плавный переход от устаревших практик к инновационным решениям.

Согласно теории систем, системного анализа и основным положениям теории самоорганизации делается логичный вывод, что в любой системе или структуре неизбежны изменения, которые могут быть вызваны бесконечным числом факторов как внешних, так и внутренних [7]. И все эти факторы, безусловно, заставляют любую систему подстраиваться под сложившиеся ситуации вне зависимости от их происхождения, будь то изменения в мире, стране, законодательстве, трендах или любом другом аспекте. Если у управляющего лица стоит задача сохранить организацию с целью дальнейшего осуществления деятельности, то управляющее лицо будет при каждом случае возникновения ситуации, влияющей на организацию, раз за разом вырабатывать и принимать решения, которые будут способствовать продолжению жизненного пути фирмы.

В классическом понимании контур управления представлен как самостоятельный процесс (рис. 1).



Где:
P – управляемый объект,
K – информатор,
R – лицо, решающее задачу,
D – исполнитель,
Ip – первичная информация о состоянии процесса,
I0 – осведомительная информация,
Ir – распорядительная информация,
V – воздействия.

***Рис. 1**. Контур управления / **Fig. 1**. Control loop*

Таким образом, на данном контуре процесс принятия управленческого решения представлен как отдельный элемент за гранью общего вектора управления организацией.

В то же время, разделяя этот контур управления на составляющие, можно выделить следующие элементы (Р) процесса управления [8] иллюстрируемые рисунком 2:

1. Поступление сигнала о проблеме.
2. Обработка информации для принятия решения.
3. Выработка и принятие решения.
4. Доведение решения до исполнителя.
5. Контроль, оценка результатов, внесение корректировок.
6. Вознаграждение или наказание исполнителя.

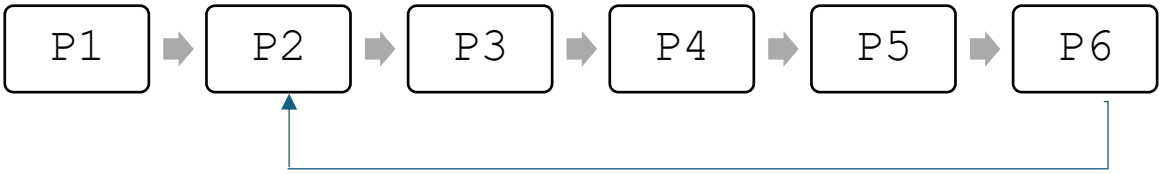


***Рис. 2**. Элементы процесса управления*

***Fig. 2**. Elements of the management process*

Очевидно, что при имеющемся классическом виде контура управления (рис. 1) невозможно вместить все процессы в рамках имеющихся схем.

Исходя из личного опыта формируется логичный вывод о нецелесообразности рассмотрения процесса управления в заданном русле, т.к. при таком подходе принятие решения выносится за рамки общего жизненного пути организации и рассматривается как некий объект, который появился, стал причиной изменений и в дальнейшем просто исчез. В связи с чем кажется правильным рассматривать процесс принятия решения в рамках жизненного пути организации, а саму ситуацию (внешнюю или внутреннюю), стимулирующую процесс выработки и принятия управленческого решения, – как фактор, вызывающий колебания в едином прямом процессе управления.

Справедливо отметить, что в каждой из систем управления рано или поздно встает вопрос: насколько эффективна именно эта система управления? Существует множество вариантов оценки качества систем управления, которые нацелены исключительно на компьютеризированные или автоматизированные системы управления [9]. В то же время практически отсутствует единая методика оценки эффективности действий лиц, задействованных в процессе выработки и принятия управленческого решения. Попытки привести это к единой форме оценки через какую-либо математическую формулу не увенчаются успехом, ибо в этом процессе слишком много переменных значений, зависящих от индивидуальных особенностей организации. В связи с чем в данной ситуации просчитать эффективность системы управления возможно только через систему экспертных оценок.

Цифровизация, как упоминалось ранее, требует перехода в сторону гибких моделей, включающих децентрализацию управления, внедрение центров экспертизы, гибридных и удаленных моделей работы. Децентрализация предполагает создание самостоятельных кросс-функциональных команд, которые занимаются отдельными продуктами, услугами или сервисами [10].

Центры экспертизы – это специализированные подразделения внутри компаний, которые занимаются поддержкой бизнес-направлений. Такими центрами могут быть сектора науки, облачных решений, кибербезопасности.

Гибридные модели, удаленные модели – это технология ведения рабочего дня, основанная на развитии цифрового рабочего места с совместной работой посредством инструментов «Microsoft Teams», «Slack», «Miro» и других[1].

При этом, имея вышеупомянутые налаженные системы, успех цифровой трансформации зависит и от профессионального уровня сотрудников, для которого можно использовать программы улучшения и переквалификации, корпоративное улучшение, наставничество и использование технологии распространения знаний. Упомянутые технологии и подходы в системе менеджмента имеют определенные названия:

– upskilling и reskilling на основе непрерывного обучения сотрудников актуальным технологиям [11], в данном случае – ИИ, блокчейн, облачные технологии как одни из самых базовых и распространенных;

– корпоративное улучшение – корпоративные образовательные платформы, а именно создание базы знаний – внутренних курсов, вебинаров, систем микрообучения, в том числе с элементами игры – «геймификации»;

– наставничество и распространение знаний – «knowledge sharing», «баддинг», менторство [12].

Ранее было выявлено, что среди угроз для IT-компаний высокую серьезность приобретают кибератаки, что приводит к необходимости внедрения современных систем управления информацией: «Data Governance», «Chief Data Officer», включающих систему управления данными, сбор, анализ, хранение и главное – их защиту. За кибербезопасность отвечают модели «Zero Trust», системы SIEM: «Splunk», «IBM», «QRadar», а также проведение мониторингов по проникновению угроз в систему [13].

Цифровая трансформация требует перехода от продукто-ориентированной модели к клиентоцентричной, что возможно благодаря цифровым платформам и API-экономике, персонализации услуг (в том числе могут быть использованы новейшие инструменты по типу ИИ для прогнозирования желаний клиентов и их дальнейших предпочтений, кастомизация предложений), системе «CXM» – «customer experience management», внедрению чат-ботов для работы с клиентами, CRM-систем и инструментов обратной связи, в том числе сразу с аналитикой.

Результаты исследования

Цифровая трансформация системы управления IT-компании – это не разовое мероприятие, а непрерывный процесс адаптации к меняющимся условиям рынка.

Рекомендуется начинать трансформацию с аудита текущих процессов, после чего внедрять изменения поэтапно, вовлекая всех сотрудников и стейкхолдеров. Это позволит минимизировать сопротивление изменениям и добиться устойчивых результатов. Рассмотрим предлагаемую модель цифровой трансформации IT-компаний на рисунке 3.

[1]Йоффи, Дэвид Б., Крити Гупта, Мехек Пунатар, Пунам Сачети и Пурви Виджай. Войны за сотрудничество: Slack против Microsoft Teams. Кейс 722-398 Гарвардской школы бизнеса, декабрь 2021 г. (обновлено в марте 2022 г.)

***Рис. 3**. Модель цифровой трансформации IT-компании. Составлено авторами*

***Fig. 3**. Digital transformation model for an IT company. Compiled by the authors*

При этом основной целью внедрения цифровой трансформации в компании является законченный системообразный результат цифровизации процессов. При реализации тех или иных стратегий в компании важным является проведение заключительных оценок и достижений показателей в контексте конкурентов. В случае с цифровой трансформацией подобную оценку возможно осуществить благодаря пониманию цифровой зрелости компании. Ко всему этому можно предложить следующую модель оценки цифровой зрелости IT-компании, отраженную в таблице 1.

Таблица 1. Модель оценки цифровой зрелости IT-компании

Table 1. Model for assessing the digital maturity of an IT company

Критерий	Имеющийся уровень в компании		
	I	II	III
Автоматизация процессов	Ручные операции	Частичная автоматизация	Полная автоматизация доступных процессов
Способ использования данных посредством	Отчетности	Аналитических докладов	Прогнозной аналитики
Организационная структура	Жесткая иерархия	Наличие гибких элементов структуры	Самоорганизующиеся команды
Клиентоориентированность	Решение ограниченного круга стандартных задач	Персонализированный подход	Кастомизация услуг под запросы

*Составлено авторами

Рассмотрим каждый предлагаемый критерий подробнее в таблице 2.

Таблица 2. Характеристика критериев по оценке цифровой зрелости IT-компании

Table 2. Characteristics of criteria for assessing the digital maturity of an IT company

Автоматизация процессов	Переход от ручных операций к полной автоматизации свидетельствует о зрелости технологической инфраструктуры. Компании, достигшие III уровня, демонстрируют не только высокую операционную эффективность, но и способность к быстрой адаптации за счет интеграции современных платформ (RPA, iPaaS)
Использование данных	Эволюция от ретроспективной отчетности к предиктивной аналитике отражает развитие data-driven культуры. Организации III уровня используют машинное обучение для прогнозирования трендов, что обеспечивает стратегическое преимущество на рынке
Организационная структура	Трансформация бюрократических структур в самоорганизующиеся команды указывает на зрелость управленческих практик. Такие компании демонстрируют повышенную инновационную активность за счет децентрализации принятия решений
Клиентоориентированность	Прогресс от стандартизированных услуг к полной кастомизации отражает глубину понимания потребностей рынка. Компании высшего уровня выстраивают экосистемы сервисов с использованием API и цифровых платформ

*Составлено авторами

Механизм использования модели связан с последовательными этапами:

I. Оценка текущего состояния по критериям, предлагаемым в модели оценки цифровой зрелости IT-компаний.

II.Определение желаемого уровня для компании:

– если компания по критерию находится на I-II уровнях, то необходимо начать с внедрения базовых инструментов автоматизации и аналитики;

– если компания уже имеет некоторый опыт цифровизации и находится на стадиях между уровнями II-III, следует начать интегрирование AI/ML (искусственного интеллекта и машинного обучения), реинжиниринг бизнес-процессов.

III. Несмотря на имеющийся уровень цифровой зрелости в компании, важно принять за правило непрерывное приращение цифровых компетенций сотрудниками IT-компании.

Наиболее благоприятный уровень развития для компании возможен при синхронном развитии четырех вышеобозначенных критериев, что характеризуется как ключевой индикатор успешной цифровой трансформации в IT-компании. Дисбаланс, например, в ситуации, когда отмечается высокая автоматизация процессов при слабой клиентоориентированности, снижает общий эффект, хоть и не усугубляя, однако приводит к рассредоточенным действиям и безрезультативности.

Предложенная модель служит не только диагностическим инструментом, но и дорожной картой для поэтапной цифровой трансформации, позволяя IT-компаниям на первоначальных этапах и в упрощенной форме оценить прогресс своего размещения на локальных или глобальных рынках, определяя стратегические направления развития.

Стремительная цифровизация всех сфер экономики диктует для IT-компаний немаловажное критичное требование – всегда находиться на шаг впереди. Это важно как в разрезе условий рыночной конкуренции, так и в кадровом подходе, когда горизонт сменяется на новое поколение работников – поколение зумеров, взращенное в эпоху глобальной цифровизации и предъявляющее высокие требования к работодателям.

Молодые специалисты, имеющие доступ к информации с раннего возраста, использующие новейшие средства для общения – социальные сети, цифровые сервисы для удовлетворения своих потребностей, психологически не готовы к замедленному подходу в работе. Молодежь как отдельная социальная группа не принимает во внимание требования к работе на устаревших корпоративных системах, бюрократические процедуры, неавтоматизированные процессы. Для данного типа работников цифровая зрелость – не абстрактное понятие, а базовый критерий выбора работодателя [14].

Заключение

Резюмируя, можно отметить, что современные тенденции цифровизации экономики и общества кардинально изменяют подходы к управлению IT-компаниями, требуя перехода к более гибким и адаптивным моделям. Этот процесс предполагает комплексную трансформацию организационной структуры, бизнес-процессов, корпоративной культуры и технологической инфраструктуры, что невозможно без внедрения передовых методологий управления и цифровых технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ценжарик М. К., Крылова Ю. В., Стешенко В. И.* Цифровая трансформация компаний: стратегический анализ, факторы влияния и модели // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. 2020. Т. 36. № 3. С. 390–420. DOI: 10.21638/spbu05.2020.303

2. *Зайченко И. М., Горшечникова П. Д., Лёвина А. И., Дубгорн А. С.* Цифровая трансформация бизнеса: подходы и определение // Экономика и экологический менеджмент. 2020. № 2. С. 205–212. DOI: 10.17586/2310-1172-2020-13-2-205-212

3. *Барышников В. С.* Особенности стратегического планирования в условиях цифровой трансформации бизнеса // Журнал монетарной экономики и менеджмента. 2024. № 12. С. 228–233. DOI 10.26118/2782-4586.2024.57.78.005

4. *Васильев А. В.* Причины роста количества кибератак: анализ технических и нетехнических факторов // Системный анализ и прикладная информатика. 2023. № 3. С. 48–54. DOI: 10.21122/2309-4923-2023-3-48-54

5. *Балыбердин Н. А., Матыцина Н. П.* Интеграция гибридных моделей управления в условиях нестабильности глобальных рынков // Символ науки: международный научный журнал. 2024. Т. 1. № 11-2. С. 32–34. EDN: FQTOFQ

6. *Бандурян А. С.* Концептуальные основы цифровой трансформации предприятий // Современная российская наука: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей X Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 17 июня 2025 года. Пенза: Наука и Просвещение, 2025. С. 55–58. EDN: FQOASI

7. *Сурмин Ю. П.* Теория систем и системный анализ: учеб. пособие. Киев: МАУП, 2003. 368 с. ISBN: 966-608-290-X

8. *Волков С. Д., Галузина С. М.* Управленческое решение в организационной системе управления // Экономика и экологический менеджмент. 2016. № 2. С. 92–99. DOI: 10.17586/2310-1172-2016-9-2-92-99

9. *Инджиев А. А.* Современная методология оценки эффективности управления предприятиями в сфере IT // Инновации и инвестиции. 2021. № 2. С. 55–57. EDN: WUSXZG

10. *Балаян В. С.* Трансформация корпоративного управления в эпоху цифровизации: вызовы и возможности // Вестник евразийской науки. 2024. Т. 16. № s4. EDN: LCCYZO

11. *Ruszanov A.* Change management through upskilling and reskilling // International Journal of Integrated Care. 2023. Vol. 23. No. S1. P. 671. DOI: 10.5334/ijic.icic23591

12. *Безносюк Ю. С., Видикер П. К., Хорхордина А. А., Токарева Ю. А.* Инновационные методы обучения и развития персонала: наставничество, менторство, баддинг // Инструменты и механизмы современного инновационного развития: сборник статей Международной научно-практической конференции, Казань, 03 октября 2019 года. Казань: ОМЕГА САЙНС, 2019. С. 219–222. EDN: RMIATZ

13. *Гаврилов С. В., Исмагилова Д. А.* Интеллектуальные системы обеспечения информационной безопасности // Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля – 2024: Материалы Международной научно-методической конференции, Салават, 22–26 апреля 2024 года. Салават: Издательство УГНТУ, 2024. С. 428–429. EDN: CLIKWX

14. *Рязанцева М. В., Субочева А. О., Белогруд И. Н.* Возрастание управленческих рисков трудовых отношений в эпоху цифровизации // Научное обозрение: теория и практика. 2018. № 11. С. 90–94. EDN: YWXDDF

REFERENCES

1. Tsenzharik M.K., Krylova Yu.V., Steshenko V.I. Digital transformation of companies: strategic analysis, influencing factors and models. *St Petersburg University Journal of Economic Studies*. 2020. Vol. 36. No. 3. Pp. 390–420. DOI: 10.21638/spbu05.2020.303. (In Russian)

2. Zaychenko I.M., Gorshechnikova P.D., Levina A.I., Dubgorn A.S. Digital transformation of business: approaches and definition. *Ekonomika i ekologicheskiy menedzhment* [Economics and environmental management]. 2020. No. 2. Pp. 205–212. DOI: 10.17586/2310-1172-2020-13-2-205-212. (In Russian)

3. Baryshnikov V.S. Features of strategic planning in the context of digital business transformation. *Journal of Monetary Economics and Management.* 2024. No. 12. Pp. 228–233. DOI 10.26118/2782-4586.2024.57.78.005. (In Russian)

4. Vasiliev A.V. Reasons for the increase in the number of cyberattacks: analysis of technical and non-technical factors. *System Analysis and Appliied Information Science*. 2023. No. 3. Pp. 48–54. DOI: 10.21122/2309-4923-2023-3-48-54. (In Russian)

5. Balyberdin N.A., Matytsina N.P. Integration of hybrid management models in the context of global market instability. *Symbol of Science: International Scientific Journal*. 2024. Vol. 1. No. 11-2. Pp. 32–34. EDN: FQTOFQ. (In Russian)

6. Banduryan A.S. Conceptual foundations of digital transformation of enterprises. *Sovremennaya Rossiyskaya nauka: aktual'nyye voprosy, dostizheniya i innovatsii: sbornik statey X Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern Russian Science: Current Issues, Achievements, and Innovations: Collection of Articles from the X All-Russian Scientific and Practical Conference], Penza, June 17, 2025. Penza: Nauka i Prosveshcheniye, 2025. Pp. 55–58. EDN: FQOASI. (In Russian)

7. Surmin Yu.P. *Teoriya sistem i sistemnyy analiz* [Systems Theory and Systems Analysis]: Textbook. Kiev: MAUP, 2003. 368 p. ISBN: 966-608-290-X. (In Russian)

8. Volkov S.D., Galuzina S.M. Management decision in the organizational management system. *Ekonomika i ekologicheskiy menedzhment* [Economics and environmental management]. 2016. No. 2. Pp. 92–99. DOI: 10.17586/2310-1172-2016-9-2-92-99. (In Russian)

9. Indzhiev A.A. Modern methodology for assessing effectiveness of enterprise management in IT sphere. *Innovations & Investments*. 2021. No. 2. Pp. 55–57. EDN: WUSXZG. (In Russian)

10. Balayan V.S. Transformation of corporate governance in digitalization era: challenges and opportunities. *Vestnik evrazijskoy nauki* [Bulletin of Eurasian Science]. 2024. Vol. 16. No. s4. EDN: LCCYZO. (In Russian)

11. Ruszanov A. Change management through upskilling and reskilling. *International Journal of Integrated Care.* 2023. Vol. 23. No. S1. P. 671. DOI: 10.5334/ijic.icic23591

12. Beznosyuk Yu.S., Vidiker P.K., Khorkhordina A.A., Tokareva Yu.A. Innovative methods of personnel training and development: mentoring, coaching, budding. *Instrumenty i mekhanizmy*

sovremennogo innovatsionnogo razvitiya: sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Tools and Mechanisms of Modern Innovative Development: collected articles from the International scientific and practical conference], Kazan, October 3, 2019. Kazan: OMEGA SAYNS, 2019. Pp. 219–222. EDN: RMIATZ. (In Russian)

13. Gavrilov S.V., Ismagilova D.A. Intelligent systems for ensuring information security. *Integratsiya nauki i obrazovaniya v vuzakh neftegazovogo profilya – 2024: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii* [Integration of Science and Education in Universities of the Oil and Gas Profile – 2024: Proceedings of the International scientific and methodological conference], Salavat, April 22–26, 2024. Salavat: Izdatel'stvo UGNTU, 2024. Pp. 428–429. EDN: CLIKWX. (In Russian)

14. Ryazantseva M.V., Subocheva A.O., Belogrud I.N. Growing management risks of labor relations in the era of digitalization. *Scientific Review: Theory and Practice*. 2018. No. 11. Pp. 90–94. EDN: YWXDDF. (In Russian)

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов:

Бандурян А. С. – провел основное исследование, собрал и проанализировал данные, написал разделы о теоретической базе, участвовал в разработке методологии, подготовил графики и таблицы;

Назаренко А. В. – написал введение и заключение, занимался редактированием текста.

Contribution of the authors:

Banduryan A.S. – is responsible for conducting the main research, collecting and analyzing the data, writing the sections on theoretical basis, participating in the development of methodology, and preparing graphs and tables.

Nazarenko A.V. – is responsible for writing the introduction and conclusion, as well as editing the text.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки

Funding. The study was performed with no external funding

Информация об авторах

Бандурян Андрей Сергеевич, аспирант, Московский политехнический университет;
107023, Россия, Москва, ул. Большая Семеновская, 38;
banduryan.andrey@gmail.com

Назаренко Антон Владимирович, д-р экон. наук, доцент, декан факультета экономики и управления, Московский политехнический университет;
107023, Россия, Москва, ул. Большая Семеновская, 38;
a.v.nazarenko@mospolytech.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2451-4471, SPIN-код: 8242-6652

Information about the authors

Andrey S. Banduryan, Postgraduate Student, Moscow Polytechnic University;
38, Bolshaya Semyonovskaya street, Moscow, 107023, Russia;
banduryan.andrey@gmail.com

Anton V. Nazarenko, Doctor of Economics, Associate Professor, Dean, Faculty of Economics and Management, Moscow Polytechnic University;
38, Bolshaya Semyonovskaya street, Moscow, 107023, Russia;
a.v.nazarenko@mospolytech.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2451-4471, SPIN-code: 8242-6652

МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 332.132 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-369-377
EDN: SRGZTW

Анализ развития креативной индустрии в России

К. В. Савка✉, А. В. Назаренко

Московский политехнический университет
107023, Россия, Москва, ул. Большая Семеновская, 38

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме развития креативного сектора как драйвера экономического роста и социальных изменений.

Цель исследования – детальный анализ современных вызовов и барьеров, с которыми сталкиваются креативные индустрии в России, и сопоставление их с успешными стратегиями, реализованными в ведущих зарубежных странах. В фокусе исследования такие проблемы, как фрагментированность сектора, недостаток институциональной поддержки, сложности с монетизацией идей и «утечка мозгов». На основе анализа определяются потенциальные пути решения этих проблем, включая развитие кластерных инициатив, создание специализированных фондов, модернизацию образовательных программ и адаптацию лучших международных практик к российским условиям.

Результаты. Проведена систематизация данных о мировых центрах креативных индустрий, методике оценки вклада творческих индустрий в результаты экономической деятельности и выявлении факторов успешного построения креативных кластеров в регионах.

Выводы. По результатам проведенного исследования формируются выводы о необходимости поддержки креативных индустрий в Российской Федерации на основе сформированных тезисов-преимуществ внедрения описываемых технологий, важности своевременной подготовки инфраструктуры и интеграции новых технологических решений. Особая значимость придается влиянию туризма, сотрудничества и инвестиционной привлекательности для развития городов.

Ключевые слова: креативная индустрия, творческие кластеры, центр общения, проект, креативная экономика, культурные ценности, развитие региона

Поступила 01.10.2025, одобрена после рецензирования 13.10.2025, принята к публикации 19.11.2025

Для цитирования. Савка К. В., Назаренко А. В. Анализ развития креативной индустрии в России // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 369–377. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-369-377

Original article

Analysis of the development of the creative industry in Russia

K.V. Savka✉, A.V. Nazarenko

Moscow Polytechnic University
38, Bolshaya Semyonovskaya street, Moscow, 107023, Russia

Abstract. The article is devoted to the current problem of developing the creative sector as a driver of economic growth and social change.

Aim. The study is to conduct a detailed analysis of the current challenges and barriers facing creative industries in Russia and compare them with successful strategies implemented in leading countries. The study focuses on issues such as sector fragmentation, lack of institutional support, difficulties monetizing ideas, and brain drain. Based on this analysis, potential solutions are identified, including the development

© Савка К. В., Назаренко А. В., 2025

of cluster initiatives, the creation of specialized funds, the modernization of educational programs, and the adaptation of best international practices to Russian conditions.

Results. We systematized data on global creative industry centers, developed a methodology for assessing the contribution of creative industries to economic performance, and identified factors for the successful development of creative clusters in regions.

Conclusions. Based on the results of the study, conclusions are drawn regarding the need to support creative industries in the Russian Federation, based on the identified advantages of implementing the described technologies, the importance of timely infrastructure development, and the integration of new technological solutions. Of particular importance is the impact of tourism, cooperation, and investment attractiveness on urban development.

Keywords: creative industry, creative clusters, communication center, project, creative economy, cultural values, regional development

Submitted 01.10.2025, approved after reviewing 13.10.2025, accepted for publication 19.11.2025

For citation. Savka K.V., Nazarenko A.V. Analysis of the development of the creative industry in Russia. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 369–377. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-369-377

Введение

Креативные индустрии, иногда называемые когнитивными, на фоне конъюнктурных изменений 2000-х годов все чаще связывают с перспективными возможностями по улучшению страны. Подобные тезисы стали появляться в контексте формирования инновационной модели экономического роста – «творческого рычага производства», цивилизационного сдвига. Сторонники и специалисты в сфере креативной экономики видят в ней дополнительные способы избавления от ресурсной зависимости [1].

Цели и задачи исследования. Целью настоящего научного исследования является определение роли и потенциала креативных индустрий в экономическом и культурном развитии регионов и городов. Для достижения цели необходимо последовательное решение следующих задач:

– систематизировать мировые данные о достижениях иностранных центров креативных индустрий;

– провести анализ методик оценки влияния креативных индустрий на региональную экономику и культурную идентичность;

– исследовать современное состояние отдельных направлений креативной индустрии в России;

– выявить факторы, способствующие успешному развитию творческих кластеров;

– сформировать умозаключения практического характера по интегрированию направлений креативных индустрий в развитие территорий.

Оценка фрагментарности креативных индустрий

В Атласе креативных индустрий Российской Федерации дается следующее определение креативной индустрии: «Креативные индустрии – это экономический сектор, включающий взаимозависимые и взаимопроникающие отрасли в области исследований, разработки и производства товаров и услуг, которые берут начало в индивидуальном творчестве, навыках и талантах и которые обладают потенциалом для обогащения и создания рабочих мест за счет создания и использования интеллектуальной собственности»[1].

[1]Распоряжение Совета министров Республики Крым от 1 февраля 2023 года № 128-р «Об утверждении стратегии развития креативного кластера на территории Республики Крым» [Электронный ресурс] / Правительство Республики Крым [сайт]. URL: https://rk.gov.ru/documents/247f81a8-7971-4f16-a2c5-05f783f03366 (дата обращения: 14.06.2025)

Индустрия творчества в России становится все более динамично развивающейся, в том числе как самостоятельный сектор экономики посредством создания, производства, распространения креативных продуктов в сферах музыки, искусства, дизайна, кинематографии, моды, цифровых технологий [2]. Творческая индустрия становится двигателем для оформления идеи и непосредственного формирования культурной идентичности и экономического роста государства.

Креативная индустрия – это неотъемлемая часть мировой культуры и экономики, демонстрирующая высокие темпы развития несмотря на ограниченность ресурсов [3]. Развитием креативных индустрий в России занимаются как на государственном, так и на частном уровнях в виде коммерческих и некоммерческих проектов. Совокупность всех предприятий, разделенных на 35 отраслей, есть непосредственный фактор роста креативной индустрии России [4].

Как отдельная категория креативность – катализатор для производства, в том числе новых технологий и конкурентных преимуществ. Благодаря факторам креативности в будущем будет основана нематериальная часть добавленной стоимости продукта или услуги [5].

Успешным примером развития в творческой сфере является киноиндустрия. За последнее время объем кассовых сборов, непосредственное количество представленных отечественных кинокартин, получивших международное признание, только растут. Так, можно отметить фильмы «Движение вверх», «Салют-7» и многие другие картины, завоевавшие сердца зрителей, показав высокий уровень результатов труда российских кинематографистов[2].

Музыкальная индустрия аналогично набирает обороты. Увеличивается число проводимых в России музыкальных событий и фестивалей, таких как «Кинотавр», «Усадьба Jazz», объединяющих и российских, и зарубежных исполнителей, что создает возможность культурного обмена и развития рынка услуг музыкальных исполнителей.

В числе творческих направлений отдельное место занимает креативная цифровая экономика, связанная с веб-стартапами в сфере творчества. Например, приложения для записи музыки, создания графики, монтажа видео. Подобное течение не только способствует развитию креативных профессий, но также создает рабочие места и делает творчество доступным для каждого. При этом можно предположить, что с повсеместным распространением искусственного интеллекта, способного, в частности, генерировать изображения, текст, видео, синтезировать речевые элементы, появится еще одно поднаправление, объединяющее специалистов, способных при помощи правильно заданного запроса создавать нечто новое и абсолютно уникальное, результат труда которых особо станет востребован в кинематографии и иллюстрировании.

Таким образом, российская творческая индустрия представлена как многообразный, многогранный, многоотраслевой, перспективный сектор, способный благодаря своему активному развитию приносить значительную пользу для экономики. Учитывая государственную поддержку отрасли, рост вовлеченности и заинтересованности граждан, можно ожидать стремительное развитие сектора в будущем.

В рамках работы над исследованием было выявлено, что в крупных мировых столицах и городах доля занятых творческим трудом (в частности, в творческих кластерах) значительна. Что говорит о весомом объеме административных центров в структуре доли креативных индустрий в ВВП.

[2]Владимир Мединский о перспективах и факторах успеха российского кино [Электронный ресурс] // РИА Новости – Правительство онлайн: [сайт]. URL: https://ria.ru/20190513/1553293187.html (дата обращения: 11.06.2025)

Мэрией Лондона проведено исследование мировых городов культуры, в ее отчете выявляется сеть городов, уделяющих большое внимание культурологическому развитию, созданию благоприятных для творчества условий, раскрытию человеческого капитала, его концентрации и привлечению в свои города. Следовательно, выявленные города непосредственно развивают творческие индустрии на своих территориях. Анализируемые открытые данные, основанные на докладе «World Cities Culture Report» за 2018 год, были систематизированы авторами работы и представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика центров, развивающих творческие индустрии

Table 1. Characteristics of centers developing creative industries

Город	Дублин	Эдинбург	Хельсинки	Гонконг	Лиссабон	Мельбурн	Париж	Торонто
Территория административного центра, кв. км	918	263	719	2 755	100	9 991	12 012	630
ВВП, млн долл.	163,510	27,958	92,799	455,060	114,196	204,346	821,816	156,108
Население административного центра, чел.	1 347 359	513 210	643 272	7 409 800	504 964	4 850 740	12 246 200	2 929 886
Доля занятых работников в творческой сфере	3,9 %	5,2 %	5 %	5,7 %	3,3 %	4,18 %	9 %	6,9 %
Количество иностранных студентов, чел.	11 333	18 150	1 500	4 347	18 282	105 460	111 678	20 956
Количество «центров общения»	40	37	40	119	190	468	280	148
Количество студентов в институтах искусства и дизайна	8 579	5 180	1 968	10 727	4 400	19 466	29 147	13 044
Число туристов в год, чел.	6 000 000	2 020 000	1 180 000	58 470 000	3 110 000	2 700 000	16 200 000	2 100 000

*Составлено по данным источника[3]

Исходя из данных, представленных в таблице, можно сделать ряд определенных выводов:

1. Доля занятого в креативных индустриях населения в рассматриваемых городах достаточно высока, отметка не опускается ниже 3 % от общего числа населения административного центра. Это говорит о высоком уровне привлекательности и развития отрасли, а также о положительном векторе развития экономики города и региона. Также исходя из этих данных можно судить о значительной доле ВВП-центра, которая приходится на креативные индустрии.

2. Центры общения – это различного вида пространства, где население может собираться для общения, работы, реализации идей и совместных проектов, а также для отдыха и проведения досуга. Подобные территории жизненно необходимы для любого города и административного центра в частности, поскольку в их «стенах» также ведется определен-

[3]World Cities Culture Report / [Электронный ресурс] // World Cities Culture Forum: [сайт]. – URL: https://worldcitiesculturefo rum.com/data/?_gl=1*cgp5hg*_up*MQ..*_ga*MTE3NTYzNTE4OC4xNzU0OTAyNTI4*_ga_0RH3RGNJVS*czE3NTQ5MDI1MjYkbzEkZzEkdDE3NTQ5MDI1NjkajI0JGwwJGgw (дата обращения: 07.04.2025)

ная экономическая деятельность, приносящая доход предпринимателям и экономике города и региона. Более того, такие места зачастую привлекают приезжих туристов как из других регионов страны, так и зарубежных, что также способствует притоку капитала. В анализируемых административных центрах концентрация подобных мест достаточно высока, что позволяет говорить о политике страны, региона, города, направленной на развитие социально-культурного аспекта.

3. О многом говорит большое количество студентов, обучающихся в институтах искусства и дизайна. В первую очередь это показывает, что государство и образовательная система заботятся о культурном наследии нации и подготовке кадров для деятельности в креативной индустрии. Также стоит отметить большое количество иностранных студентов, которые также задействованы в институтах искусства. Подобное явление говорит о том, что интеллектуальный человеческий капитал перемещается в места концентрации творчества и искусства, где можно найти возможность для самовыражения и реализации идей и творческих проектов.

4. Большое число туристов также указывает на привлекательность городов и их культурную составляющую, т.к. исторические, культурные ценности всегда привлекали поток туристов.

Один из основных факторов, на который стоит обратить внимание в данной таблице, – те самые «центры общения», в которые входят творческие кластеры. Тот факт, что их в городах большое количество, говорит о заинтересованности в них людей, в том числе и приезжих.

Многие креативные пространства, существующие сегодня в России, появились благодаря ревитализации промышленных зон [6]. Тем самым, привнося новые краски и функциональность в историческое здание, креативный кластер сам по себе становится объектом культурного наследия и региона.

Каждый отдельно взятый регион в стране имеет собственную историческую и культурную ценность, специфику, а также так называемый креативный потенциал, позволяющий ему в той или иной степени привлекать инвестиции и конкурировать на рынке с идентичными регионами. Для инвесторов и организаторов креативных индустрий очень важно понимать специфику региона и его потенциальные возможности для привлечения населения. Так или иначе одни регионы внутри страны являются лидерами на фоне других, у других же потенциал невелик, в связи с чем инициаторам креативных индустрий необходимо искать новые, инновационные методики для того, чтобы их регион мог конкурировать на равных со всеми. Креативный потенциал того или иного региона выражается через такой показатель, как индекс креативного капитала.

Индекс креативного капитала – система оценки реализованного и скрытого потенциала городов в сфере креативной экономики[4]. Под креативным капиталом разработчики данного индекса подразумевают специфику социального климата, культурного и научно-образовательного пласта, институциональной инфраструктуры, информационного поля, позволяющую привлекать трудящихся креативных профессий с целью реализации их творческого потенциала, принимая во внимание как глобальные тренды, так и региональные особенности.

Культурный стратегический план – это концептуальная дорожная карта, которая задает вектор местного культурного развития, а также расширенный план действий, включающий в себя показатели эффективности реализации плана и актуальную систему пространственных данных о культурных ресурсах и потребностях населения [7].

[4]Индекс креативного капитала / [Электронный ресурс] // Creative Capital Index: [сайт]. – URL: https://creativecapital-index.com/ (дата обращения: 11.08.2025)

Результаты исследования

Творческие проекты в Российской Федерации представляют собой важный аспект культурной жизни страны, способствуя развитию искусства, науки и технологий. Они охватывают широкий спектр направлений – от визуального искусства до цифровых технологий – и включают как индивидуальные, так и коллективные инициативы.

Для более полного понимания, какие профессии и предприятия могут входить в структуру креативной индустрии и формировать творческие проекты, представим ниже рисунок. Обратим внимание, что во всех представленных сферах доля занятых интеллектуальным трудом и творчеством составляет более 50 %, что позволяет относить организации к креативной индустрии и включать в число потенциальных резидентов творческих кластеров (рис. 1):

***Рис. 1**. Сферы, относящиеся к креативной индустрии*
Составлено авторами по данным источника[5].

***Fig. 1**. Spheres related to the creative industries.*
Compiled by the authors based on data from the source

Можно подвести некоторый итог: перечисленные ключевые сферы могут стать опорными для креативной индустрии, синтезируя воздействующие на среду факторы и отдачу по результатам проведения упомянутых мероприятий, давая максимизированный социально-экономический эффект.

После определения спектра предприятий происходит формирование центрального, управляющего органа, в котором заключены принципы государственно-частного партнерства, т.е. присутствуют как региональные органы управления, так и представители бизнес-структур, некоммерческие общественные организации и т.д. После определяются направления и при-

[5]Практическое руководство по созданию креативного кластера [Электронный ресурс] // Агентство стратегических инициатив: [сайт]. URL: https://asi.ru/library/creative/199157/ (дата обращения: 11.08.2025)

оритеты стратегического развития региона, а точнее – разрабатывается полноценная программа социально-культурного развития региона [8]. Данная программа подразумевает стратегическое планирование развития культурной составляющей региона (в том числе и творческих кластеров) с перспективой до 10 лет и включает в себя комплексное освоение внутренних творческих ресурсов и использование их с максимальной эффективностью.

Креативная индустрия представляет собой эффективную базу для развития информационного потока, технологий, знаний, инноваций [9]. Все это создается посредством деятельности резидентов творческих проектов, которые мотивированы работать сообща в едином пространстве. Основными причинами для вступления в творческие проекты представителей креативных индустрий являются:

1. Возможность участия в обширных маркетинговых компаниях, направленных на продвижение продуктов и услуг резидентов.

2. Творческие проекты могут стать основой, моделью для создания и поощрения взаимодействия и партнерских отношений между резидентами креативных индустрий в аспекте формирования различных творческих секторов деятельности, что может стать основой для различных междисциплинарных проектов с наличием эффекта синергии.

3. Креативные проекты помогают своим резидентам решать вопросы улучшения продаж и маркетинга. К примеру, снижать издержки на поиск партнеров, обучение новым навыкам, размещение продукта на различных интернет-площадках и т.д.

4. Проекты поощряют и развивают сотрудничество между различными группами резидентов и способствуют процессу обмена опытом и знаниями.

5. Благодаря творческим проектам упрощается доступ к источникам финансирования, формируются необходимые условия для улучшения возможностей экономической эксплуатации результатов деятельности креативного кластера. Как следствие – интеграция функций и бизнес-процессов различных творческих организаций для повышения экономической эффективности совместной деятельности.

Заключение

В статье представлены результаты сравнительного исследования моделей развития креативных индустрий в России и за рубежом. Выявлены значительные диспропорции в институциональной среде, уровне государственной поддержки и вкладе сектора в ВВП. Систематизирован зарубежный опыт стимулирования креативного предпринимательства через налоговые льготы, грантовые программы и инфраструктурные проекты. Сделан вывод о необходимости формирования в России целостной национальной стратегии, ориентированной на экспортный потенциал креативных товаров и услуг и укрепление международного сотрудничества. Таким образом, можно говорить о том, что креативные индустрии являются непосредственным инструментом повышения привлекательности городов и регионов. Они служат культурным достоянием, которое притягивает туристов и как следствие – человеческий и материальный капитал, а также способны находить и аккумулировать инвестиции в города и регионы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хестанов Р.* Креативные индустрии – модели развития // Социологическое обозрение. 2018. Т. 17. № 3. С. 173–196. DOI: 10.17323/1728-192X-2018-3-173-196

2. *Савка К. В.* Предпосылки и основы функционирования творческих региональных кластеров // Экономика, бизнес, инновации: актуальные вопросы теории и практики: сборник статей V Международной научно-практической конференции, Пенза, 25 марта 2025 года. Пенза: Наука и Просвещение, 2025. С. 91–94. EDN: DQWUZQ

3. *Присяжная Р. И.* Актуальные вопросы развития креативных индустрий в РФ и их роль в повышении конкурентоспособности регионов // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2020. № 1(121). С. 67–72. EDN: FQINDB

4. *Морданов М. А.* Креативные индустрии как драйвер экономического роста // Креативная экономика. 2021. Т. 15. № 10. С. 3725–3740. DOI: 10.18334/ce.15.10.113714

5. *Бабина Е. Н., Барашкина Е. В., Беганская И. Ю. и др.* Креативные индустрии как императив экономического роста: кросс-инновации и устойчивое развитие: монография. Самара: ПНК, 2024. 214 с.

6. *Храмцов А. Б., Порошин О. С.* Зарубежные и отечественные практики ревитализации заброшенных промышленных зон города: направления и перспективы // Строительство и архитектура. 2023. Т. 11. № 4. С. 14. DOI: 10.29039/2308-0191-2023-11-4-14-14

7. *Попов А. В.* Культурное картирование как форма создания инфраструктур пространственных данных в сферах культуры и туризма: сущность, организация, перспективы применения ГИС и WEB 2 технологий // Актуальные проблемы современных социально-гуманитарных наук: материалы I Международной очно-заочной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых, педагогов и преподавателей (1–4 июня 2011 г.): в 2 ч. Пермский государственный университет. Пермь, 2011. Ч. 1. С. 21–40.

8. *Кондратов М. А., Перепечкина Е. Г.* Совершенствование процесса управления сферой культуры на уровне региона // Современные проблемы экономики и управления: материалы Международной научно-практической конференции, Москва, 17 апреля 2024 года. М.: Российский государственный социальный университет, 2024. С. 206–211. EDN: RSEIIS

9. *Мирзахметова Д. Р.* Креативная индустрия и образование // Технические университеты: интеграция с европейскими и мировыми системами образования: материалы VI Международной конференции, Ижевск, 22–23 апреля 2014 года. Ижевск: ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2014. С. 405–406. EDN: SFKTZH

REFERENCES

1. Khestanov R. Creative industries – development models. *Sotsiologicheskoye obozreniye* [Sociological Review]. 2018. Vol. 17. No. 3. Pp. 173–196. DOI: 10.17323/1728-192X-2018-3-173-196. (In Russian)

2. Savka K.V. Prerequisites and foundations for the functioning of creative regional clusters. *Ekonomika, biznes, innovatsii: aktual'nyye voprosy teorii i praktiki: sbornik statey V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Economy, Business, Innovations: Current Issues of Theory and Practice: Collection of Articles from the V International Scientific and Practical Conference], Penza, March 25, 2025. Penza: Nauka i Prosveshcheniye, 2025. Pp. 91–94. EDN: DQWUZQ. (In Russian)

3. Prisyazhnaya R.I. Current issues of creative industries development in the Russian Federation and their role in improving the competitiveness of regions. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta* [Bulletin of the St. Petersburg State University of Economics]. 2020. No. 1(121). Pp. 67–72. EDN: FQINDB. (In Russian)

4. Mordanov M.A. Creative industries as a driver of economic growth. *Kreativnaya ekonomika* [Creative Economy]. 2021. Vol. 15. No. 10. Pp. 3725–3740. DOI: 10.18334/ce.15.10.113714. (In Russian)

5. Babina E.N., Barashkina E.V., Beganskaya I.Yu. et al. *Kreativnyye industrii kak imperativ ekonomicheskogo rosta: kross-innovatsii i ustoychivoye razvitiye* [Creative Industries as an Imperative of Economic Growth: Cross-Innovation and Sustainable Development]: monograph. Samara: PNK, 2024. 214 p. (In Russian)

6. Khramtsov A.B., Poroshin O.S. Foreign and domestic practices of revitalizing abandoned industrial zones of the city: directions and prospects. *Stroitel'stvo i arkhitektura* [Construction and Architecture]. 2023. Vol. 11. No. 4. P. 14. DOI: 10.29039/2308-0191-2023-11-4-14-14. (In Russian)

7. Popov A.V. Cultural mapping as a form of creating spatial data infrastructures in the spheres of culture and tourism: essence, organization, prospects for applying GIS and WEB 2 technologies. *Aktual'nyye problemy sovremennykh sotsial'no-gumanitarnykh nauk: materialy I mezhdunarodnoy*

ochno-zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov, molodykh uchenykh, pedagogov i prepodavateley [Actual problems of modern social and humanitarian sciences: Proceedings of the 1st international in-person and correspondence scientific and practical conference of students, graduate students, young scientists, teachers and lecturers] (June 1–4, 2011): in 2 parts. Permskiy gosudarstvennyy universitet. Perm, 2011. Part 1. Pp. 21–40. (In Russian)

8. Kondratov M.A., Perepechkina E.G. Improving the process of governance in the cultural sphere at the regional level. *Sovremennyye problemy ekonomiki i upravleniya: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern Problems of Economics and Management: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Moscow, April 17, 2024. Moscow: Rossiyskiy gosudarstvennyy sotsial'nyy universitet, 2024. Pp. 206–211. EDN: RSEIIS. (In Russian)

9. Mirzakhmetova D.R. Creative industry and education. *Tekhnicheskiye universitety: integratsiya s evropeyskimi i mirovymi sistemami obrazovaniya: materialy VI Mezhdunarodnoy konferentsii* [Technical Universities: Integration with European and World Education Systems: Proceedings of the VI International Conference]. Izhevsk, April 22–23, 2014. Izhevsk: IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova, 2014. Pp. 405–406. EDN: SFKTZH. (In Russian)

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов:

Савка К. В. – провел основное исследование, собрал и проанализировал данные, написал раздел о теоретической базе, участвовал в разработке методологии, подготовил рисунок и таблицу.

Назаренко А. В. – написал введение и заключение, занимался редактированием текста.

Contribution of the authors:

Savka K.V. – conducted the main research, collected and analyzed the data, wrote the theoretical framework sections, participated in the methodology development, and prepared the graphs and tables;

Nazarenko A.V. – wrote the introduction and conclusion and edited the text.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки

Funding. The study was performed with no external funding

Информация об авторах

Савка Константин Владимирович, аспирант, Московский политехнический университет;
107023, Россия, Москва, ул. Большая Семеновская, 38;
9037744305@ya.ru

Назаренко Антон Владимирович, д-р экон. наук, доцент, декан факультета экономики и управления, Московский политехнический университет;
107023, Россия, Москва, ул. Большая Семеновская, 38;
a.v.nazarenko@mospolytech.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2451-4471, SPIN-код: 8242-6652

Information about the authors

Konstantin V. Savka, Postgraduate Student, Moscow Polytechnic University;
38, Bolshaya Semyonovskaya street, Moscow, 107023, Russia;
9037744305@ya.ru

Anton V. Nazarenko, Doctor of Economics, Associate Professor, Dean of the Faculty of Economics and Management, Moscow Polytechnic University;
38, Bolshaya Semyonovskaya street, Moscow, 107023, Russia;
a.v.nazarenko@mospolytech.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2451-4471, SPIN-code: 8242-6652

МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 658.5.011 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-378-388
EDN: SSFMEQ

Принятие стратегических управленческих решений в условиях диферсификации предприятий телекоммуникационной отрасли

А. А. Федоров✉, А. В. Назаренко

Московский политехнический университет
107023, Россия, Москва, ул. Большая Семеновская, 38

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью адаптации и своевременной трансформации отечественных телекоммуникационных компаний к условиям цифровизации и санкционным вызовам, где приоритетность должна отдаваться диверсификации как ключевому инструменту обеспечения устойчивости. Новизна работы заключается в формировании нового комплексного подхода к выбору стратегии диверсификации для конкретной компании, учитывающего при этом интегрирующий анализ ресурсного состояния, наличия опорных компетенций, возможности синергетического эффекта, высокого уровня навыков руководителя и другие факторы.

Цель исследования – разработка теоретико-методологического и практического инструментария для запуска и проведения эффективного процесса диверсификации посредством формирования внутренних стратегий в телекоммуникационных компаниях.

Методика исследования основана на системном анализе, синтезе теоретических работ российских и зарубежных авторов.

Результаты. Выявлено, что эффективный процесс диверсификации связан с балансом внутренних возможностей и благоприятной внешней средой. Разработан собственный перечень мероприятий, способствующий эффективному проведению процесса диверсификации, предложены логическая схема принятия решения о целесообразности проведения диверсификации производства, а также матрица зависимости выбора возможных корпоративных стратегий от существующих факторов недиверсифицированной компании.

Ключевые слова: стратегия диверсификации, телекоммуникационный рынок, жизненный цикл, конкурентное преимущество, ключевые компетенции, ресурсное обеспечение, инновации, адаптация, позиционирование компании

Поступила 01.10.2025, одобрена после рецензирования 13.10.2025, принята к публикации 17.11.2025

Для цитирования. Федоров А. А., Назаренко А. В. Принятие стратегических управленческих решений в условиях диферсификации предприятий телекоммуникационной отрасли // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 378–388. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-378-388

Original article

Strategic decision-making in context of differentiation in telecommunications industry

A.A. Fedorov✉, A.V. Nazarenko

Moscow Polytechnic University
38, Bolshaya Semyonovskaya street, Moscow, 107023, Russia

© Федоров А. А., Назаренко А. В., 2025

Abstract. The relevance of the study is due to the need to adapt and timely transform domestic telecommunications companies to the conditions of digitalization and sanctions challenges, where priority should be given to diversification as a key tool for ensuring sustainability. The novelty of the work lies in the formation of a new integrated approach to choosing a diversification strategy for a specific company, taking into account the integrating analysis of the resource state, the availability of core competencies, the possibility of synergies, a high level of managerial skills and other factors.

Aim. The study is to develop theoretical, methodological and practical tools for launching and conducting an effective diversification process through the formation of internal strategies in telecommunications companies.

The research methodology is based on system analysis, synthesis of theoretical works of Russian and foreign authors.

Results. It was revealed that an effective diversification process is associated with a balance of internal opportunities and a favorable external environment. We have developed our own list of activities that contribute to the effective diversification process, we have also proposed a logical scheme for deciding on the feasibility of diversifying production, and a matrix for understanding the dependence of the choice of possible corporate strategies on the existing factors of an undiversified company.

Keywords: diversification strategy, telecommunication market, life cycle, competitive advantage, key competencies, resource provision, innovation, adaptation, company positioning

Submitted 01.10.2025, approved after reviewing 13.10.2025, accepted for publication 17.11.2025

For citation. Fedorov A.A., Nazarenko A.V. Strategic decision-making in context of differentiation in telecommunications industry. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 378–388. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-378-388

Введение

Существующее положение телекоммуникационной отрасли находится в стадии переходного периода, когда компании как в России, так и за рубежом должны адаптироваться под условия цифровизации экономики. Данный тезис подтвержден различными исследовательскими работами в сфере телекоммуникаций. На российском телекоммуникационном рынке действуют несколько крупных операторов, среди которых:

– «Ростелеком» – крупнейший оператор фиксированной связи, активно развивающий услуги широкополосного доступа и IPTV;

– «МТС» – один из лидеров мобильной связи, предлагающий широкий спектр услуг, включая мобильный интернет и цифровые сервисы;

– «ВымпелКом» – оператор под брендом «Билайн», известный своими инновациями в области мобильной связи;

– «МегаФон» – активно развивает сети 4G и 5G, а также предлагает услуги интернета вещей.

Эти компании конкурируют друг с другом, внедряя новые технологии и улучшая качество обслуживания.

Необходимо обратить внимание, что диверсификация является прочным стержнем развития не только отдельно взятого субъекта экономических отношений, но и всей отрасли связи и телекоммуникации в целом. Такие направления осуществления хозяйственной деятельности и развития корпораций, имеющие тесную связь финансовых, информационных, организационных и управленческих потоков, составляют целостно-концептный экономический геном, действуя в русле интегрального масштабного стратегического замысла.

Цели и задачи исследования. Целью настоящего исследования выступает разработка теоретико-методологического и практического инструментария для запуска и проведения

эффективного процесса диверсификации посредством формирования внутренних стратегий в телекоммуникационных компаниях. Для достижения цели выполнялись задачи:

– проведение анализа существующего ресурсного обеспечения диверсификационных процессов в отечественных корпорациях телекоммуникативной среды;

– обоснование значимости и роли синергетического эффекта для разработки и реализации стратегий диверсификации внутри компаний;

– систематизиация и оценка существующих теоретических подходов к определению степени диверсификации;

– разработка авторских механизмов, алгоритмов и инструментов для принятия стратегических управленческих решений в области проведения процесса диверсификации: логической схемы принятия решения о необходимости диверсификации внутри компании, матрицы выбора корпоративных стратегий в зависимости от скорости роста отрасли и конкурентоспособности компании, оптимального перечня конкретных мероприятий для проведения диверсификации;

– выявление и обозначение ключевых внутренних и внешних драйверов, способствующих успешному внедрению синергетической стратегии диверсификации в современных реалиях.

Методы исследования

В представленной работе использовались теоретические методы: методы анализа и синтеза в работе с изучением научной литературы, системный подход при рассмотрении диверсификации как комплексной системы, метод сравнительного анализа, примененный при обзоре различных существующих стратегий и методик уровня измерения диверсификации. Абстрагирование и конкретизация в переходе от теоретической части исследования с изучением научных трудов к рассмотрению конкретных практических инструментов. Моделирование в разработке собственных схем, а также методы обработки данных и оценки, наблюдение, сравнительно-сопоставительный метод.

Результаты исследования

Среди современных российских авторов, которые занимались исследованиями в области диверсификации производств и формировали ее концептуальные положения, можно отметить Е. Г. Новицкого. Автор определяет диверсификацию как «формирование предпринимательской среды, в которой в рамках общей стратегии и с использованием единого финансового и информационного потока действует горизонтально интегрированная совокупность вертикально интегрированных бизнесов, которые представляют собой различные бизнес-направления диверсифицированного предприятия, единые технологические цепочки производственного процесса» [1, с. 8].

Актуальным вопросом является своевременность и обоснованность принятия решения о внедрении стратегии диверсификации. В связи с этим имеется необходимость определения кореляции ресурсов и способности генерации ключевых компетенций, в совокупности дающих эффект укрепления конкурентных преимуществ [2, с. 13–21]. При этом важно отметить необходимость присутствия синергического эффекта в подходе к познанию и разработке диверсификации (рис. 1).

Следует отметить, что многогранный вариативный выбор типов стратегии дает возможность увеличения прибыли корпорации и ограничен только уровнем обладания стратегическим потенциалом (набором исключительных ресурсов, редких способностей и ключевых компетенций) [2, с. 13–21]. Рассмотрим матрицу выбора корпоративных стратегий диверсификации по ряду признаков и ее классифицированию в таблице 1.

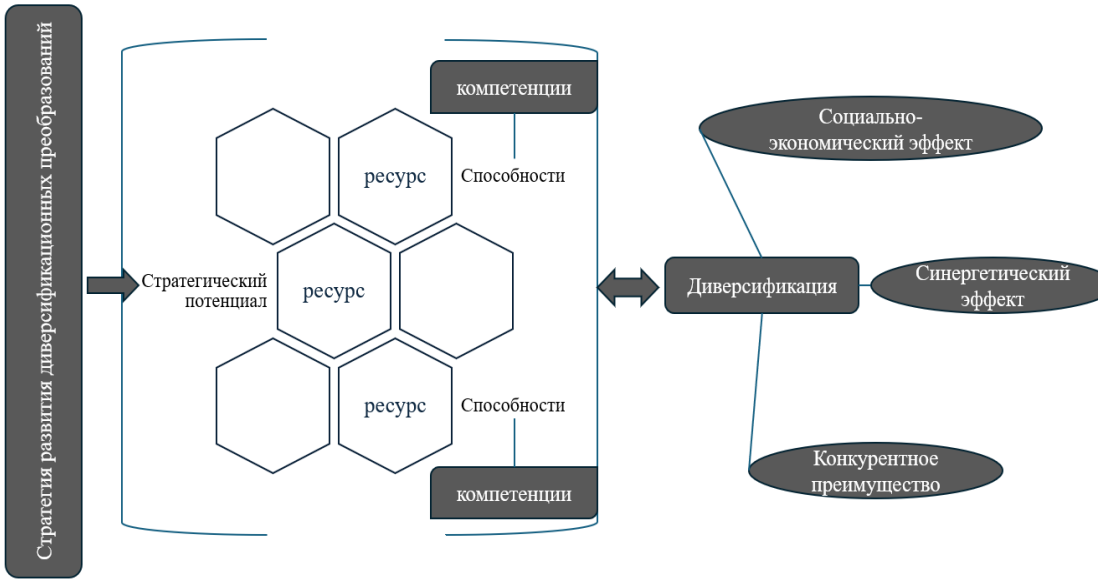


Рис. 1. *Логическая схема принятия решения о целесообразности проведения диверсификации производства. Составлено авторами по данным [3, с. 125]*

Fig. 1. *Logical diagram for making a decision on the feasibility of diversifying production. Compiled by the authors based on data from the source [3, p. 125]*

Таблица 1. Матрица выбора действий корпоративных стратегий

Table 1. Matrix of corporate strategy action selection

Скорость роста отрасли - темп		Конкурентоспособность организации	
		слабая	**сильная**
	высокий	1. Трансформация потенциала «стратегии концентрации в одной сфере (для увеличения товарооборота)»	1. Углубление присутствия на рынке с дальнейшим расширением на международные каналы сбыта
		2. Приобретение нового бизнеса в одной отрасли для достижения эффекта большего капитала	2. Расширение бизнеса при возможности потенциала. Выход на международные рынки
		3. Интеграция «верх-низ»	3. Освоение новых векторов бизнеса в текущей отрасли посредством интегрирования накопленных знаний в меняющуюся среду
		4. Процесс диверсификации	
		5. Продажа активов/слияние	
		6. Ликвидация (как крайний случай)	
	низкий	1. Для большего товарооборота концентрация в одной сфере	1. Глобальное расширение каналов сбыта: выход на международный уровень) с параллельной фиксацией достигнутых результатов и их дальнейшее развитие
		2. Процесс слияния с более успешной компанией на рынке (для усиления собственных конкурентных преимуществ)	2. Освоение новых направлений, применяя накопленный опыт, развитые компетенции, корпоративные практики
		3. Использование интеграции «верх-низ», если она способна укрепить позиции компании	3. Диверсификация производства посредством освоения новых ниш
		4. Процесс диверсификации	4. Стратегическое развитие через новые совместные проекты в перспективных отраслях рынка
		5. Получение прибыли с последующей продажей компании	5. Формирование устойчивых конкурентных преимуществ посредством интеграции «верх-низ»
		6. Ликвидация (как крайний случай)	6. Смещение фокуса и концентрации на единственную отрасль + действия, направленные на снижение конкурентных преимуществ конкурентов посредством собственных улучшений

*Составлено авторами по данным [4, с. 35].

Одной из наиболее привлекательных особенностей является не сохранение тенденции продолжения концентрации на единственном виде бизнеса, а перспектива развития эмерджентности в смежных отраслях и секторах производства.

Также необходимо учитывать, что при проведении диверсификации необходим механизм для принятия эффективных управленческих решений в области функционирования предприятий [5, с. 19–22]. Таким образом, в настоящее время «диверсификация экономики» – это ответ на все вызовы, брошенные экономике страны мировым рынком и введенными экономическими санкциями против России [6, с. 402].

В рамках выбора корпоративной стратегии диверсификации авторы предлагают рассмотреть следующие виды классификации стратегий диверсификации по принципу доли присутствия синергии (рис. 2).

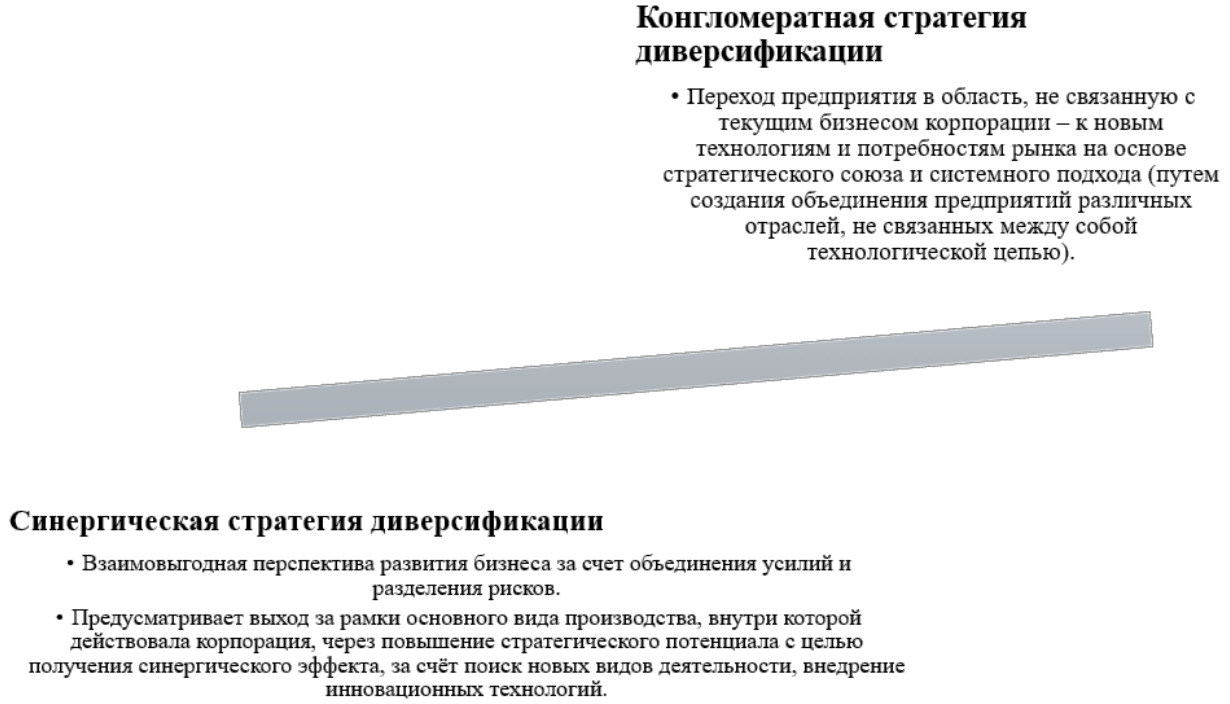


***Рис. 2**. Виды диверсификации по принципу использования синергического эффекта.*

***Fig. 2**. Types of diversification based on the principle of using the synergistic effect.*

Следует отметить, что данные стратегии относятся к типу основных производственных диверсификаций. Авторы данной работы не только допускают, что количество подвидов диверсификации может быть значительно больше по типу диверсификационных процессов, но и считают, что важен комплексный подход при выборе инструментов и методов ее реализации, что позволяет значительно расширить применение эффекта синергии на другие вероятные множества видов диверсификации.

Наличие эффекта синергизма достигается за счет обладания специфическим набором ресурсов, наличия ключевых компетенций и уникальных способностей (в том числе управленческих), что дает мощный стратегический потенциал и создает специфическое конкурентное преимущество, которое реализуется на уровнях организации и выражается в конечном результате получения максимальной выгоды. Достигается результат во многих отраслях рынков товаров и услуг за счет снижения уровня издержек либо приобретения продукцией (услугой) уникальных свойств. Важная роль отводится обладанию компетенциями управлять потенциальными возможностями и перспективе эффекта синергии.

Синергическая стратегия диверсификации предполагает повышение эффективности деятельности за счет умелого использования ресурсов: внедрения инноваций и сокращения издержек, поддержания устойчивой рыночной инфраструктуры организации (правильно выстроенные экономическая организационная структура и связь), отрегулируемой системы взаимодействия (синергия планирования и управления). При этом стоит отметить, что одну из важных ролей играет действующая корпоративная социальная ответственность в рамках внедренной корпоративной культуры, что в известной степени влияет на благотворное развитие умения кадрового ресурса и формирование резерва.

В работах ученых и исследователей было отмечено, что выбор стратегии синергической диверсификации осуществляется высшим управленческим звеном в тех компаниях, где четко и конкретно обозначается ориентир на лидерскую позицию на рынке, создание уникального бренда, использование инновационных технологий, выстраивание позитивного мнения в лице покупателей. Если же корпорацию интересуют только финансовые перспективы в виде получения максимальной прибыли, то, как правило, высший менеджмент внедряет конгломератную диверсификацию [1, с. 4, 7].

Однако авторы данной работы усматривают комплексный подход, имеющий опору на возможность использования «синергетики знаний», учет суммарной факторной зависимости (отрасли, направления), выбранного времени с целью получения гибкой стратегии диверсикации с полным набором инструментария ее реализации в корпоративной среде. При этом, как было рассмотрено авторами в анализе определения степени диверсификации организации, экономические исследователи и ученые выделяют: «Абсолютный уровень диверсификации – определяется общим количеством отраслей, которые технологически не связаны между собой» [8, с. 31]. В рамках этого определения используются такие показатели, как удельный вес и количество отраслей опорного и второстепенного значения. К примеру, в МТС это направления розничного бизнеса (новинки), предоставление новых видов услуг – страхование, кредитование. Но при этом необходимо дополнить уже исследованные замеры и рассматривать принятие общей оценки уровня диверсификации не только технологически не связанных отраслей, но и новые тенденции единой цепи, смежные кроссфункциональные направления. Подобный расчет возможно произвести, используя индекс Херфиндаля–Хиршмана или интегральный показатель, опираясь на коэффициент концентрации отраслей [8, с. 31]. Необходимо учесть, что данные показатели актуальны, если известны все достаточные массивы данных финансово-экономического состояния компании, но, как правило, такая информация закрыта при изучении деятельности компании извне и является коммерческой тайной. В данном случае имеются альтернативные способы проведения классификации организации.

В своей работе С. С. Зайцева предлагает целый комплекс мер для определения степени диверсификации деятельности компании, в том числе с помощью индекса энтропии [9, с. 52]. По сути, индекс энтропии включает три компонента: количество отраслей, в которых осуществляет свою деятельность компания; сегментное распределение выручки компании; степень связанности между отраслями ведения бизнеса. Именно наличие третьего компонента дает определенные преимущества данной модели по сравнению с индексом Херфиндаля–Хиршмана.

Еще одним способом определения степени диверсификации компаний является применение составных индексов. Суть метода заключается в умножении количества сфер, в которых функционирует компания, на долю крупнейшей бизнес-единицы [9].

Л. Н. Шутенко определяет возможность использования «коэффициента реализованности хозяйственных устремлений отдельного направления (*Pi*) и коэффициента реализованности хозяйственных направлений организации в целом (*Рорг*)» [9]. Это означает, что сама оценка эффективности диверсификации происходит, опираясь на уже полученные результаты в ходе диверсифицированной деятельности. Но до сих пор остаются малоизученными вопросы степени внедрения диверсификации.

Исследователь Д. В. Чернов предлагает свои авторские подходы в данном вопросе. Предложенная версия определяет и предлагает рассмотрение жизненного цикла организации посредством фаз, таких как зарождение, формирование, рост, стабилизация, стагнация, кризис, деструкция [10, с. 124–133; 11, с. 27–35].

Данный метод дает общий подход для принятия решения о внедрении стратегии диверсификации без учета изменения внешних и внутренних факторов (номенклатуры, ассортиментной матрицы, доли рынков сбыта), не только продлить фазы жизненного цикла, но и вернуться к предыдущим его фазам развития. Проведение диверсификации дополнительно позволит выявить новые актуальные и перспективные направления основной деятельности. Такого же мнения придерживаются и другие экономические деятели – С. М. Ильяшенко, Ж. В. Поплавская, Т. В. Доненко, которые указывают на эффективность проведения диверсификации в соответствии с фазами жизненного цикла товара и услуги [8, с. 33]. Авторы исследования также поддерживают данную позицию, которая на современном этапе развития российской экономической практики хорошо укладывается в теорию принятия решения о необходимости внедрения стратегии диверсификации в соответствии с фазами жизненного цикла продукции. К примеру, на этапах роста и зрелости легко определяется момент удачного или необходимого запуска диверсификации.

Исходя из вышеперечисленного реализация стратегии диверсификации при рациональном использовании имеющихся ресурсов и ключевых компетенций дает возможность получения эффективного стратегического потенциала.

В данном случае авторы данной работы предлагают использовать комплекс мероприятий (там, где это целесообразно), направленный для достижения максимальной эффективности от проведения диверсификации корпорации (табл. 2).

Таблица 2. Оптимальный список комплекса мероприятий диверсификации

Table 2. Optimal list of diversification measures

№ п/п	Перечень комплекса мероприятий
1	Расширение номенклатуры и ассортиментной матрицы товаров и услуг
2	Усовершенствование товаров и услуг
3	Выход на новый инновационный сегмент рынка
4	Создание собственной сырьевой или сбытовой базы
5	Организация нового производства (складского комплекса) на базе существующей или приобретенной компании
6	Расширение доли рынков за счет территориального захвата освобожденных и незанятых зон
7	Создание альянсов и коммерческих союзов между компаниями без перехода права собственности для получения эффекта синергии
8	Образование группы компаний посредством приобретения новых компаний (в том числе и конкурентов)
9	Проведение мероприятий по объединению с другими компаниями, слиянию и поглощению, избавлению от нерентабельных «портфелей бизнеса»

*Составлено авторами

Таким образом, в компании важно выделять особое место процессу диверсификации, поскольку этот управляемый инструмент позволяет регулировать инновации в компании, опираясь на имеющийся ресурсный потенциал и стратегические идеологические ориентиры предприятия.

Следовательно, стратегия синергизма – увеличение стимулирующих элементов производства, обеспечивающих стратегическую стабильность деятельности организации,

которое снижает зависимость от внешних экономических и политических факторов и орентирует на постоянное улучшение внутренних.

Такой вывод обоснован и подтверждается практикой крупных российских корпораций – операторов связи. Диверсификацию производства эффективно применяют в ПАО «МТС» и других компаниях, входящих в состав АФК «Система», в ближайшей конкурентной среде ПАО «Вымпелком» и ПАО «МегаФон». Проведенные за последние десятилетия экономические исследования позволяют обозначить, что именно отрасль инфокоммуникаций проходила стадии развития и укрепления увереннее остальных, несмотря на конъюнктурные изменения в последние 3–5 лет в Российской Федерации. Но следует также отметить тот факт, что вероятность достижения успеха в большинстве примеров была предопределена логичностью и дальновидностью при выборе перспективной стратегии. Данный аспект показывает присутствие сильной позиции в вопросе менеджмента «телекоммуникационной тройки», принцип которой в том, что наработанная эффективная модель управления за двадцать с небольшим лет применяется во всех вновь созданных новых направлениях, а также в интеграционных проектах (приобретенных видах бизнеса). Вполне очевидно, что данная концепция управления еще раз позволит обойти высокую степень риска при ведении узкопрофильного бизнеса, позволяя во время замедления темпов роста во всех фазах развития своевременно переориентировать финансовые потоки, материальные и трудовые ресурсы.

Проведенный анализ указывает на то, что активы организации – это основа ее перспективной и долгосрочной стратегии. При имеющихся данных наличие баланса внутренного (корпоративного) и внешнего (финансово-экономической, социально-политической среды) соответствия обусловлено начальными исходными данными возможности разработки, готовностью и проведением корпоративной стратегии диверсификации.

Та стратегия диверсификации, которую определяет для себя компания, раскрывает свое предназначение на основе адаптации имеющихся опорных ресурсов компании, ее преимуществ, выстроенных в сложную взаимосвязанную систему, способную к гибким изменениям. В данном случае под эффективной способностью следует понимать наличие имеющегося или приобретенного потенциала группы ресурсов, полученного в результате взаимодействия с невидимыми активами, основной целью которых является получение максимальной выгоды организации.

Исходя из вышеуказанных моментов основными внутренними драйверами, подтверждающими своевременное и актуальное на данный момент обоснованное решение о внедрении синергической стратегии диверсификации корпоративного сектора в российской экономике, являются:

1. Правильное позиционирование компании и представленного бренда.
2. Наличие высокого профессионализма кадров и кадрового резерва.
3. Возможность создания многоотраслевой корпорации или холдинга.
4. Инновационный подход к управлению.

Из внешних драйверов важно отметить такие, как:

1. Наличие государственной поддержки в процессе установления благоприятного экономического климата внутри государства (социально ориентированный бизнес).

2. Устранение искусственных препятствий внешнеэкономического пространства.

3. Нивелирование внешних угроз мирового масштаба за счет устойчивости внутренней экономической системы.

Выводы

Определено, что ресурсы представляют собой источник особых способностей организации, которые являются важным источником ее ключевых компетенций и конкурентных преимуществ. Важным аспектом на этапе планирования является разработка стратегии диверсификации нового инновационного качества для каждой конкретной организации на

основе комплексного подхода, обеспечивающего высокую степень конкурентоспособности и устойчивость. Определена значимость синергического эффекта к познанию и разработке диверсификации телекоммуникационного сектора путем компеляции многогранных ресурсов, присутствия возможности и ключевых компетенций, на основе теоретических работ И. Ансоффа [12], Л. П. Евстигнеева и Р. Н. Евстигнеева [13], А. А. Кофанова [14] и собственных изысканий авторов.

Определено, что реализация синергической стратегии диверсификации предполагает повышение эффективности деятельности за счет умелого использования ресурсов: внедрения инноваций и сокращения издержек, поддержания устойчивой рыночной инфраструктуры организации, отрегулируемой системы взаимодействия, которая дает возможность приобретения экономического баланса между рациональным использованием ресурсов компании, управлением рисками и гибкостью управления.

Разработана логическая схема принятия решения о целесообразности проведения диверсификации в крупных телекоммуникационных корпорациях. В отличие от имеющихся подходов к определению взаимосвязи, представленных в работах таких авторов, как Е. Г. Новицкий [1, с. 8], И. В. Корчагина, О. В. Сычева-Передеро [15, с. 4], изложенные в данной работе подходы позволяют отразить роль взаимосвязи внутренних активов компании, являющихся ее стратегическим потенциалом, который будет реализован в том числе благодаря диверсификационному процессу через социально-экономическую отдачу и демонстрацию устойчивости вопреки внешней турбулентности.

Заключение

Исследование позволило обратить внимание на ключевой вопрос о необходимости использования такого стратегического инструмента, как стратегия диверсификации в компаниях телекоммуникационной отрасли. В условиях санкций и проактивной цифровой трансформации это важно для обеспечения и усиления устойчивости, конкурентоспособности и долгосрочного развития компаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Новицкий Е. Г.* Проблемы стратегического управления диверсифицированными корпорациями. М.: БУКВИЦА, 2001. 163 с.

2. *Абрамов Д. В.* Методические предложения по определению и развитию стратегического потенциала диверсификационного процесса в крупных компаниях – операторах связи в условиях конкурентной борьбы // Экономика, социология и право. 2016. № 4-1. С. 13–23. EDN: VZAJBX

3. *Абрамов Д. В.* Систематизация факторов, воздействующих на диверсифицированные процессы в российских компаниях. В кн.: Экономический рост: факторы и механизмы устойчивого развития. Пенза: Наука и просвещение, 2017. С. 124–133. EDN: ZBJDTH

4. *Аронов А. М., Петров А. Н.* Диверсификация производства: теория и стратегия развития. СПб.: Лениздат, 2000. 127 с. EDN: TKWMAB

5. *Познякова О. О., Щербанюк К.* Диверсификация как фактор устойчивого развития предприятия в рыночных условиях // Стратегия предприятия в контексте повышения его конкурентоспособности. 2014. № 3. С. 19–22. EDN: WEFPKN

6. *Порохин А. В., Яркова Т. А., Соина-Кутищева Ю. Н.* Основные направления диверсификации экономики региона // Фундаментальные исследования. 2016. № 9-2. С. 399–403. EDN: WKTYRR

7. *Абрамов Д. В.* Возможный вероятный выбор оптимальной стратегии компании в условиях глобального экономического кризиса и ограничений экономических санкций // Экономика, социология и право. 2016. № 4-1. С. 6–13. EDN: VZAJBN

8. *Бабиев В. Ю., Чернорук А. А.* Диверсификация как инструмент управления развитием предприятия // Экономика и управление. 2010. № 4(24). С. 29–34. EDN: VRCZZW

9. *Жмудь Т. А.* Переносимая инновация как способ открытия новых рынков и диверсификации компаний // Инновационное развитие экономики. 2017. № 1 (37). С. 25– 31.

10. *Чернов Д. В.* Стратегические коммуникации российского бизнеса // ГБУВПО ГУ ВШЭ. 2010. 198 с.

11. *Чернов Д. В., Солдатенков С. В., Приданцев С. В. и др*. Генератор прибыли, или Как создать в России эффективную компанию розничных услуг. Russian Service Book, 2010. 370 с.

12. *Ансофф И.* Новая корпоративная стратегия. СПб.: Питер Ком, 1999. 416 с.

13. *Евстигнеева Л. П., Евстигнеев Р. Н.* Методологические основы экономической синергетики // Научный доклад. М.: ИЭ РАН, 2007. 64 с.

14. *Кофанов А. А.* Диверсификация региональной экономики как доминирующая стратегия структурного развития в условиях глобализации экономических отношений: автореф. дис… док-ра. экон. наук: 08.00.05/ Краснодар, 2011. 46 с.

15. *Корчагина И. В., Сычева-Передеро О. В.* Потенциал технологического предпринимательства как фактора диверсификации экономики территории // Региональная экономика. Юг России. 2019. Т. 7. № 4. С. 4–12. DOI: 10.15688/re.volsu.2019.4.1

REFERENCES

1. Novitsky E.G. *Problemy strategicheskogo upravleniya diversifitsirovannymi korporatsiyami* [Problems of Strategic Management of Diversified Corporations]. Moscow: BUKVITSA, 2001. 163 p. (In Russian)

2. Abramov D.V. Methodological proposals for defining and developing the strategic potential of the diversification process in large telecom operators in a competitive environment. *Economy, Sociology and Law.* 2016. No. 4-1. Pp. 13–23. EDN: VZAJBX. (In Russian)

3. Abramov D.V. Systematization of factors influencing diversification processes in Russian companies. The book: Economic Growth: Factors and mechanisms of sustainable development. Penza: Science and Education, 2017. Pp. 124–133. EDN: ZBJDTH. (In Russian)

4. Aronov A.M., Petrov A.N. *Diversifikatsiya proizvodstva: teoriya i strategiya razvitiya* [Diversification of production: theory and strategy of development]. St. Petersburg: Lenizdat, 2000. 127 p. EDN: TKWMAB. (In Russian)

5. Poznyakova O.O., Shcherbanyuk K. Diversification as a factor in sustainable development of an enterprise in market conditions. *Enterprise Strategy in the context of increasing its competitiveness.* 2014. No. 3. Pp. 19–22. EDN: WEFPKN. (In Russian)

6. Porokhin A.V., Yarkova T.A., Soina-Kutishcheva Yu.N. The main directions of economic diversification in the region. *Fundamental Research.* 2016. No. 9-2. Pp. 399–403. EDN: WKTYRR. (In Russian)

7. Abramov D.V. Possible probable choice of optimal strategy of a company in context of global economic crisis and restrictions of economic sanctions. *Economy, Sociology and Law*. 2016. No. 4-1. Pp. 6–13. EDN: VZAJBN. (In Russian)

8. Babiev V.Yu., Chernoruk A.A. Diversification as a tool for managing enterprise development. *Economy and Management.* 2010. No. 4(24). Pp. 29–34. EDN: VRCZZW. (In Russian)

9. Zhmud T.A. Transferable innovation as a way to open new markets and diversify companies. *Innovative Development of the Economy.* 2017. No. 1(37). Pp. 25–31. (In Russian)

10. Chernov D.V. *Strategicheskiye kommunikatsii rossiyskogo biznesa* [Strategic communications of Russian business]. HSE State University, 2010. 198 p. (In Russian)

11. Chernov D.V., Soldatenkov S.V., Pridancev S.V. et al. *Generator pribyli, ili Kak sozdat' v Rossii effektivnuyu kompaniyu roznichnykh uslug* [Profit generator, or how to create an effective retail services company in Russia]. Russian Service Book, 2010. 370 p. (In Russian)

12. Ansoff I. *Novaya korporativnaya strategiya* [New Corporate Strategy]. SPb: Piter Kom, 1999. 416 p. (In Russian)

13. Evstigneeva L.P., Evstigneev R.N. *Metodologicheskiye osnovy ekonomicheskoy sinergetiki* [Methodological foundations of economic synergetic]. Nauchnyy doklad. Moscow: Institut ekonomiki Rossiyskoy akademii nauk, 2007. 64 p. (In Russian)

14. Kofanov A.A. *Diversifikatsiya regional'noy ekonomiki kak dominiruyushchaya strategiya strukturnogo razvitiya v usloviyakh globalizatsii ekonomicheskikh otnosheniy* [Diversification of regional economy as a dominant strategy of structural development in the context of globalization of economic relations]: avtoref. dis. dok. ekon. nauk: 08.00.05. Krasnodar, 2011. 46 p. (In Russian)

15. Korchagina I.V., Sycheva-Peredero O.V. Potential of technological entrepreneurship as a factor in diversifying a territory's economy. *Regional Economy. South of Russia.* 2019. Vol. 7. No. 4. Pp. 4–12. DOI: 10.15688/re.volsu.2019.4.1. (In Russian)

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов:

А. А. Федоров – провел основное исследование, собрал и проанализировал данные, написал разделы о теоретической базе, участвовал в разработке методологии, подготовил рисунки и таблицы;

А. В. Назаренко – написал введение и заключение, занимался редактированием текста.

Contribution of the authors:

A.A. Fedorov – conducted the main research, collected and analyzed data, wrote sections on the theoretical basis, participated in the development of the methodology, prepared figures and tables;

A.V. Nazarenko – wrote the introduction and conclusion and edited the text.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки

Funding. The study was performed with no external funding

Информация об авторах

Федоров Андрей Анатольевич, аспирант, Московский политехнический университет;
107023, Россия, Москва, ул. Большая Семеновская, 38;
fyodorov_home@mail.ru

Назаренко Антон Владимирович, д-р экон. наук, доцент, декан факультета экономики и управления, Московский политехнический университет;
107023, Россия, Москва, ул. Большая Семеновская, 38;
a.v.nazarenko@mospolytech.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2451-4471, SPIN-код: 8242-6652

Information about the authors

Andrey A. Fedorov, Postgraduate Student, Moscow Polytechnic University;
38, Bolshaya Semyonovskaya street, Moscow, 107023, Russia;
fyodorov_home@mail.ru

Anton V. Nazarenko, Doctor of Economics, Associate Professor, Dean of the Faculty of Economics and Management, Moscow Polytechnic University;
38, Bolshaya Semyonovskaya street, Moscow, 107023, Russia;
a.v.nazarenko@mospolytech.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2451-4471, SPIN-code: 8242-6652

ИСТОРИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 93/99(093.2.64)+94(470.6) Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-389-405
EDN: SYWVGU

Документы к истории Высочайшего пожалования земель по Золке и Этоке (1841–1842 гг.)

З. Ж. Глашева

Институт гуманитарных исследований –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18

Аннотация. Представленные в работе материалы актуальны в связи с тем, что они позволят раскрыть ранее неизвестные аспекты исторических событий, связанных с землями по Золке и Этоке.

Цель исследования заключается в введении в научный оборот новых архивных документов: межведомственной переписки за 1841–1842 гг. из фондов Российского государственного военно-исторического архива. Анализ этих документов позволит по-новому взглянуть на обстоятельства выделения кабардинцам земель в районе рек Золка и Этока, проследить, как менялось понимание этого вопроса в исторической науке, и наметить перспективы для дальнейшего изучения.

Материалы и методы исследования. Методологическая база статьи основана на принципах и методах исторических исследований. В ходе работы применялись два принципа: научность и историзм. Статья подготовлена на основе сборника документов и литературы по данной проблеме, а также материалов межведомственной переписки среднего управленческого звена.

Результаты. В ходе исследования представлены материалы, раскрывающие ранее неизвестные аспекты исторических событий, связанных с землями по Золке и Этоке. Обращение к данной проблеме позволяет рассмотреть механизмы управления, с помощью которых на Кавказе проводилась пророссийская политика, направленная на интеграцию региона в состав Российского государства.

Ключевые слова: П. Х. Граббе, А. Г. Пирятинский, Кучук Джанхотов, Алхас Мисостов, Кабарда, Нальчик, Золка, Этока

Поступила 22.09.2025, одобрена после рецензирования 05.11.2025, принята к публикации 14.11.2025

Для цитирования. Глашева З. Ж. Документы к истории Высочайшего пожалования земель по Золке и Этоке (1841–1842 гг.) // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 389–405. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-389-405

Original article

Historical documents on Imperial Land Grant along Zolka and Etoka rivers (1841–1842)

Z.Zh. Glasheva

Institute of Humanitarian Researches –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. The materials presented in this study are significant because they will enable us to uncover previously unknown aspects of historical events related to the lands along the Zolka and Etoka rivers.

Aim. This study aims to introduce new archival documents to academic research: interdepartmental correspondence from 1841–1842, from the collections of the Russian State Military Historical Archive.

© Глашева З. Ж., 2025

Analysis of these documents provides a fresh perspective on the circumstances surrounding the allocation of land to the Kabardian people in the Zolka and Etoka river valleys, in addition it traces how understanding of this issue has developed within historical scholarship and outlines avenues for future research.

Research materials and methods. The article's methodology is based on the principles and methods of historical research. Two principles were applied throughout the study: a scientific approach and an emphasis on historicism. The article was prepared based on a collection of documents, literature, and interdepartmental communication between middle-level managers.

Results. The study presents materials that reveal previously unknown aspects of historical events related to the lands along the Zolka and Etok rivers. This approach allows us to examine the governance mechanisms used in the Caucasus to implement pro-Russian policies aimed at integrating the region into the Russian state.

Keywords: P.Kh. Grabbe, A.G. Piryatinsky, Kuchuk Dzhankhotov, Alkhas Misostov, Kabarda, Nalchik, Zolka, Etoka

Submitted 22.09.2025, approved after reviewing 05.11.2025, accepted for publication 14.11.2025

For citation. Glasheva Z.Zh. Historical documents on Imperial Land Grant along Zolka and Etoka rivers (1841–1842). *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 389–405. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-389-405

Интерес к изучению процесса интеграции горских народов в состав Российской империи и последующих изменений как в дореволюционной, советской, так и в современной историографии по-прежнему высок. В современной кавказологии особенно важно вводить в научный оборот новые архивные материалы, которые позволят лучше понять ситуацию в землевладении и землепользовании в равнинной и предгорной частях Центрального Кавказа в конце 30-х – начале 40-х гг. XIX в. Предлагаемые документы представляют большой научный интерес для изучения социально-политической и экономической истории народов региона. Кавказская администрация столкнулась с крайне сложной задачей по урегулированию земельных отношений, которые затрагивали интересы всех слоев кабардинского общества. Интеграция Кабарды в административно-политическую систему Российской империи обострила этот вопрос, сделав необходимым определение прав кабардинцев на владение землей.

Историография вопроса, несмотря на всю свою актуальность, недостаточно разработана. Отдельные аспекты данной проблемы освещались в работах Х. М. Думанова [1, 2, 3], П. А. Кузьминова [4], Д. Н. Прасолова [5], З. Ж. Глашевой [6, 7]. Х. М. Думанов в сборнике документов опубликовал: Прошение князей, узденей и черного народа кабардинского Его Светлости военному министру генерал-адъютанту А. И. Чернышеву; Рапорт от командующего войсками Кавказской линии генерал-адъютанта П. Х. Граббе военному министру генерал-адъютанту А. И. Чернышеву; Выписку, по предмету устройства Нальчикского военного поселения и о притязаниях кабардинцев на землю, лежащую между речками Золкою и Этокою за 1842 г. [3, с. 39–56]. З. Ж. Глашева в двух статьях опубликовала документы межведомственной переписки за 1838, 1839, 1840 гг. [6, 7]. Изучение данного вопроса позволит понять суть процессов, происходивших в кабардинском обществе, определить роль и место земель по Золке и Этоке и их влияние на экономику Кабарды.

Начиная с последней четверти XVIII в. кабардинские общественные деятели регулярно обращались к центральной (российской) и местной (кавказской) военной и гражданской администрации для закрепления за кабардинцами земель по Золке и Этоке. В 1786 г. кабардинцы обратились к Г. А. Потемкину[1], который собирался посетить Кавказ. По мнению И. В. Бентковского, «имея огромное влияние на Екатерину II, он намеревался организовать посольство из кавказских народов для признания над собою верховную власть императрицы» [8, с. 5; 9, с. 1]. Однако визит Г. А. Потемкина на Кавказ не состоялся, и посольство не было организовано. Вместо этого он отправил кабардинцам грамоту, под-

писанную 24 декабря 1786 г. в Херсоне. Она, как пишет И. В. Бентковский, «доказывает, что поводом всех неудовольствий и враждебных действий кабардинцев, доходивших до отрицания подданства, был аграрный иск, или вернее, борьба за существование…» [8, с. 5; 9, с. 1]. В первом пункте грамоты Г. А. Потемкин пишет кабардинцам: «Если настоящее пребывание обоих Кабард, тесно и не выгодно, то можете требовать лучших просторных и привольных мест, какие только есть в Российской империи» [8, с. 5; 9, с. 1]. Говоря так, по мнению И. В. Бентковского, Г. А. Потемкин понимал, «что кабардинцы крайне стеснены отнятием земель под русские поселения» [8, с. 5; 9, с. 1]. Г. А. Потемкин поэтому обещал ходатайствовать перед императрицей об отводе им «лучших, просторных и привольных мест, какие только есть в Российской империи» [8, с. 5; 9, с. 1]. Далее И. В. Бентковский рассуждает: «Давая такое обещание, или вернее, подавая кабардинцам надежду на удовлетворение их заветных желаний, Потемкин в свою очередь требовал, чтобы обе Кабарды сформировали 9 сотен милиции для охранения границ, а в случае европейской войны, давали 200 лучших наездников; на что кабардинцы, выслушав грамоту в народном собрании весною 1787 г. охотно согласились и свое согласие утвердили присягою» [8, с. 5; 9, с. 1]. Данные договоренности не привели к возвращению земель кабардинцам.

Вопрос о землях возник и при отправке в 1811 г. в Петербург кабардинской депутации, они должны были сообщить императору, что при проведении Моздоко-Азовской линии командующий российскими войсками генерал И. В. Якоби «захватил наши земли вверх от устья реки Малки и по рр. Большой и Малой Куме, производя при том еще многие нашему народу притеснения и опустошения, в противность Высочайше данной нам грамоты; противу чего мы приносили светлейшему князю Потемкину жалобу, который чрез наших посланцев дал ответ, что генерал Якоби, за нарушение нашего спокойствие будет сменен, а крепостей на новой тогда линии, по причине, что оне дорого казне стоят, до времени снять не можно» [10, с. 2]. Генерал-майор И. В. Якоби сыграл ключевую роль в укреплении пограничной линии, руководил строительством десяти крепостей и поселений волгских и хоперских казаков на Кавказе [10, с. 2].

В 1827 г. кабардинские князья и уздени в своем обращении просили у И. И. Дибича «о возвращении земель, взятых от кабардинцев, и укреплении таковых в их владении и о возвращении в особенности земель около соляных озер на новом поселении Волгского казачьего полка находящихся» [11, с. 869]. Во время путешествия Николая I по Кавказу в 1837 г. кабардинские депутаты обратились с прошением о закреплении за ними предгорных и горных пастбищных земель [5, с. 83]. В нем они просили о закреплении за ними земель, лежащих «на старой линии за рекою Малкою и Курою» [12, л. 10–11]. В добавление к докладной записке сообщали, что учреждение крепостей будет препятствовать «пастьбе разного скота на урочище Этоке и на Золке» [12, л. 11].

17 ноября 1837 г. командующий войсками на Кавказской линии и в Черномории А. А. Вельяминов получил из Военного министерства ответ на прошение кабардинцев. Ему было поручено детально изучить вопрос и предоставить свое мнение «о возможности удовлетворить сию просьбу» [12, л. 1–2 об.]. Неоднозначность ответа на просьбу кабардинцев привела к длительной переписке между ведомствами на протяжении 1838–1842 гг. Новые прошения были поданы в 1842–1843 гг.: 1 июля 1842 г. «Прошение князей, узденей и черного народа кабардинского Его Светлости военному министру генерал-адъютанту А. И. Чернышеву» [3, с. 39–42], по мнению Д. Н. Прасолова, «продолжено по случаю пожалования в 1843 г. Николаем I почетного знамени кабардинскому народу» [5, с. 84].

В конце 30-х гг. XIX в. российская администрация начала работу по систематизации земель в Кабарде, включая земли, ранее принадлежавшие кабардинцам, которые переселились за Кубань. Сбор сведений поручался Я. М. Шарданову[2], его кандидатура была выбрана, поскольку он обладал знаниями, приобретенными в период работы управляющим делами валия Кабарды и секретарем Временного кабардинского суда: «Не излишним щитаю при этом случае заметить, что совершенное знание края, приобретенное Шардано-

вым во время 16 летнего заведывания делами, может быть весьма полезно начальству он один в состоянии привести в исполнение предложение генерала от инфантерии Ермолова, …и дать нужные сведения определенности земель в Кабарде вообще на землях принадлежавших кабардинцам удалившимся за Кубань» [13, л. 3–3 об.].

1 мая 1839 г. начальник штаба войск Кавказской линии А. С. Траскин обратился к Я. М. Шарданову: «По воле командующего войсками на Кавказской линии и в Черномории, вследствие предписания господина командира Отдельного Кавказского корпуса предлагаю Вашему Высокоблагородию составить в дополнение к инструкции данной главноуправляющим генералом от инфантерии Ермоловым кабардинскому народу о управлении сим народом. В проекте этом определить с точностью отношение между собой князей, узденей и черного народа и вообще образ управления или в отношении полиции, суда и расправы и в быту хозяйственном все сии предметы изложить с точностию, сообразно древним обычаям и правам кабардинцев, но вместе с тем объяснить как бы вы полагали согласовать или сблизить обычаи азиатцев с законоположениями России, потому, что многие из сих обычаев не могут быть допущены в исполнении их со стороны правительства» [13, л. 6–7 об.].

20 мая 1839 г. Я. М. Шарданов представил командующему войсками на Кавказской линии и в Черномории П. Х. Граббе докладную записку о принадлежности земель в Кабарде и землях, составлявших собственность удалившихся за Кубань кабардинцев [1, с. 265–277; 12, л. 11–30 об.]. Им также был подготовлен дополнительный проект [1, с. 278–317; 12, л. 40–71]. В первой записке Я. М. Шарданов описал 174 владения с указанием их расположения. В записке он писал, что имелись участки, принадлежавшие всему народу, среди которых были разделенные и неразделенные, которые считались общенародными, имея в виду районы Малки, Золки и Этоки: «Начиная от старой линии до речки Женалки и по рекам Малке, двум Золкам и Этоке к ущелью, земли есть неразделенные, общенародные, на коих хотя производилось хлебопашество, но наиболее сберегались оные в летнее время для пастьбы скота, табунов и баранов. По рекам же Куме, Жицу и Нарзани хотя и были разделены кабардинцами и даже занимали жительство, но ныне я не указываю о принадлежности их, потому что оные отошли под владение русского правительства» [1, с. 275]. Положение о пользовании этими землями будет выработано позже. Социально-политическая обстановка в Кабарде в 30-х гг. XIX в. находит отражение в докладных записках, письмах и рапортах Я. М. Шарданова. Введение в научный оборот ранее неопубликованных архивных документов становится необходимым для более глубокого анализа, который позволит объяснить появление записок и проектов Я. М. Шарданова и причины нерешенности земельного вопроса по рекам Золке и Этоке с конца XVIII в.

С конца 30-х гг. XIX в. горские народы Центрального Кавказа столкнулись с земельным голодом. Представленные документы показывают, как решался вопрос по наделению кабардинцев землей, они также отражают социально-политическую и экономическую политику России в регионе. Российское правительство, не имея возможности удовлетворить просьбу кабардинских депутатов, прибегло к временной мере: разрешив пользоваться землями вдоль рек Золки и Этоки на один сельскохозяйственный год, отложив окончательное решение на потом. Эта стратегия была направлена в первую очередь на укрепление российского присутствия в регионе, так как эти территории были необходимы для расселения казаков Волжского полка.

Приведенные ниже архивные документы выявлены в Российском государственном военно-историческом архиве, в фонде «Штаб войск Кавказской линии и в Черномории расположенных». Они освещают межведомственную переписку за 1841 и 1842 гг. между командиром Отдельного Кавказского корпуса Е. А. Головиным, командующим войсками на Кавказской линии и в Черномории П. Х. Граббе, начальником Центра Кавказской линии В. С. Голицыным, Комиссией по наделению землями Кавказского линейного казачьего войска, штабами войск Отдельного Кавказского корпуса и Кавказской линии и Черномории, особой канцелярией по управлению мирными горцами.

Введение в научный оборот материалов, касающихся пастбищных земель, представляется вполне перспективным направлением в отечественной исторической науке. Представленные документы публикуются с сохранением стилистических, пунктуационных и археографических особенностей подлинника, как и цитаты вводной статьи.

№ 1

1841 г. Января 7. – Командующему войсками на Кавказской линии и в Черномории, господину генерал-адъютанту и кавалеру П. Х. Граббе из штаба Отдельного Кавказского корпуса

Штаб
Отдельного Кавказского корпуса
по Генеральному штабу
Отделение
военного поселения
Тифлис.
7 генваря 1841 года.
№ 28

Командующему войсками Кавказской линии и в Черномории,
господину генерал-адъютанту и кавалеру Граббе.

Соглашаясь с мнением Вашего Превосходительства изложенным в рапорте от 26 прошлого ноября за № 1115, насчет изволения кабардинцам пользоваться землею между Золкою и Этокой на основаниях Вами изложенных, т.е. и пасти на оных табуны и другой скот и поить их в соленом озере, предлагаю объявить им, что дозволение это сделано во внимание их преданности к Государю Императору обращаемому отеческое свое попечение к нужде своих подданных.

Вместе с тем предлагаю делать также распоряжение, дабы вместо земель, которыми пользуются войска и военные поселяне около Нальчика, во избежание всякого ропота и не удовольствий со стороны горцев предоставить хозяевам тех земель, для хлебопашества такое же количество между Золкой и Этокой, сколько отходит для войск и поселян. Но землю эту не утверждая за ними отдать в виде временной меры, впредь до размежевания всех владений в Кабарде находящихся.

Из рапорта к Вашему Превосходительству начальника штаба генерал-майора Коцебу от 17 апреля за № 514, Вам известно, что кабардинский князь прапорщик Алхас Мисостов пользовался участком земли из числа предназначенной Пришибской станице и кроме того по показанию корпуса топографов подпоручика Горшкова, пахал также в прошлом году земли около поста Погорелодубского где устраивается военное поселение.

Рассматривая донесение командовавшего Кабардинскою линиею полковника Короткова о принадлежности, земель от Екатериноградa и Минарета, равномерно уведомлении о том же начальника Центра Кавказской линии от 18 августа 1839 года за № 391, Генерального штаба подполковнику барону Россилину, которому Ваше Превосходительство поручали дознать о правах кабардинцев на земли отошедшие малороссийским казакам и военным поселянам, и наконец последнее о том же исследование произведенное подпоручиком Горшковым с узденями Хату, Магомет-Мирзой Анзоровыми, Ильясом Баковым, корнетом Кожоковым и Бек-Мурзою Сузаевым, оказывается, что Алхас Мисостов, на всем протяжении от Екатериноградa до Дурдура, вовсе не владеет никакими землями, и что он самовольно завладел землею от Екатериноградa к Пришибу верст на 9-ть, принадлежавшую Бек-Мурзиной фамилии умершему подполковнику князю Кучуку Джанхотову[3], двоюродному его брату, на которую он сей последний, как находившийся в бегах за Кубанью, на основании прокламации господина генерала от инфантерии Ермолова не имеет ни какого

права. Равномерно участок который он вспахал около поста Погоролодубского так же ему не принадлежит, ибо по всем показаниям кабардинских князей и соседних владетелей, он находится во владении узденей Анзоровых и Коголковых, которые за взятую от них землю, получили уже вознаграждения другую в Малой Кабарде и остались тем довольны.

Принимая во внимание, что земли, которыми пользовался до сего времени Алхас Мисостов, уже отмежеваны Пришибской станице, и как необходимые для казаков, не могут быть возвращены, и между тем генерал-майор Пирятинский[4] свидетельствует, что Алхас Мисостов действительно имеет недостаток в земле, то дабы и в этом случае не подать кабардинцам повода к ропоту и во внимание преданности его со времени возвращения из бегов, равномерно действительного недостатка в земле, предлагаю Вашему Превосходительству, дозволить как Алхас Мисостову, так и полковнику Айдемирову, как наследникам покойного подполковника Кучука Джанхотова, занимать под хлебопашество между Золкой и Этокой такое количество земли, т.е. 1092 десятины, сколько из земель покойного Кучука Джанхотова отошли под Пришибскую станицу и Александровское поселение, на вышеизложенном основании.

О последующем прошу уведомить меня в свое время.

Командир корпуса, генерал от инфантерии [подпись].

Начальник штаба генерал-майор Коцебу.

РГВИА. Ф. 13454. Оп. 2. Д. 281. Л. 67–69. Подлинник.

№ 2

1841 г. Января 27. – Докладная записка об учреждении военного поселения при крепости Нальчике и дозволении кабардинцам пользоваться временно, землею между рр. Этокою и Золкою

№ 82

27 генваря 1841 года.

Город Ставрополь.

Докладная записка об учреждении военного поселения при крепости Нальчике и дозволении кабардинцам пользоваться временно, землею между рр. Этокою и Золкою

Господин начальник корпусного штаба, рапортом от 29 сентября 1838 года за № 684, донес господину командующему войсками, что господин корпусный командир находя весьма полезным учредить в некоторых местах на Кавказе, военные поселения, просит господина командующего войсками представить предположение, между прочим и об учреждении военного поселения при крепости Нальчике в 1839 году.

Вследствие этого Его Превосходительство Павел Христофорович излагая мнение свое, в рапорте господину корпусному командиру от 9 октября 1838 года за № 212, вообще о предполагаемых на Кавказе военных поселениях, между прочим полагает, что устройство такового поселения при крепости Нальчике, несмотря на его пользу, нужно отложить на некоторое время, потому подобные поселения на Военно-Грузинской дороге, возбудили уже некоторым образом тайный ропот в кабардинцах.

Из рапорта же генерал-майора Коцебу от 25 октября 1838 года за № 742, видно, что господин корпусный командир; вполне разделяя мнение господина командующего войсками касательно отложения до некоторого времени, учреждения Нальчикского поселения, изложенное в упомянутом рапорте от 9 октября № 212, между прочим находит возможным учредить означенное поселение при крепости Нальчике, таким образом, чтобы нижние чины Кабардинского егерского полка оставались на месте настоящего водворения, получив от казны определенное положением о военном поселении на Кавказе, пособие деньгами и провиантом, до времени, в которое можно будет наделить их положенною пропорциею земли; а до того они могут заниматься хлебопашеством без отвода им земли, на тех полях близ Нальчика, кои остаются не занятыми кабардинцами.

Господин командующий войсками находя удобоисполнительным и весьма полезным учреждение военного поселения при крепости Нальчике, на вышеизложенном основании, донес о том господину корпусному командиру, рапортом от 11 ноября 1838 года № 420.

В последствии господин начальник корпусного штаба, рапортом от 31 марта 1840 года № 441 донес, что согласно с мнением господина командующего войсками, изложенным в означенном рапорте к господину корпусному командиру за № 420, предписано корпуса топографов подпоручику Горшкову, отвести для поселян, водворяемых при крепости Нальчике, столько земли, сколько окажется возможным, из земель занимаемых войсками, при оной крепости квартирующими, уделив на перед оным войскам необходимый участок для сенокошения, нисколько не касаясь земли, принадлежащей кабардинцам.

Потом генерал-майор Коцебу, рапортом от 17 апреля 1840 года № 514, донес господину командующему войсками, что кабардинский князь прапорщик Алхас Мисостов приехав к начальнику Центра Кавказской линии генерал-майору Пирятинскому, объявил ему, что подвластные его, выехав по прежнему, для запашки земли, отмежеванной к Пришибской станице, были не допущены к оной женатыми казаками этой станицы; по этому случаю генерал-майор Пирятинский желая удостовериться, имеют ли подвластные прапорщика Мисостова необходимость в этой земле посылал адъютанта своего поручика Абаева осмотреть их земли, который возвратившись донес, что за отмежеванием земли казакам Пришибской станицы, означенным кабардинцам совершенно негде занять места для посева хлеба.

Принимая в уважение, что по этому обстоятельству, кабардинцы неизбежно будут терпеть крайность в продовольствии, и что при этом случае, тем более, по тогдашнему положению дел в Чечне, могло возникнуть волнение в народе, и без того уже подстрекаемом неблагомеренными людьми, господин начальник корпусного штаба просил генерал-майора Пирятинского приостановить распоряжение об отводе земли поселянам при Нальчике, а командиру Владикавказского казачьего полка подполковнику Ильинскому предписал, впредь до особого распоряжения, относительно отмежевания земли казакам Пришибской станицы, во избежание неудовольствий и явного ропота со стороны кабардинцев, допустить подвластных князя Алхаса Мисостова в 1840 году к распашке тех полей, которые они занимали в 1839 году из участка, отмежеванного Пришибской станицы, тем более, что казаки сами в прошедшем году не намерены были пахать оной земли.

Но дабы и в нынешнем году не могло встретиться какого либо недоразумения в принадлежности этой земли, то господину корпусному командиру угодно было, чтобы господин командующий войсками поручил кому либо сделать исследование по оному предмету и сим просьбы кабардинцев оказались бы справедливыми, то определить, какое нужно сделать им удовлетворении.

Относительно же нальчикского поселения, согласно с волею господина корпусного командира, изложенного в том же рапорте генерал-майора Коцебу за № 514, было предписано господином командующим войсками, генерал-майору Пирятинскому, чтобы он приостановил разделение земли при Нальчике, между войсками и поселянами и отвел для последних земли свободные, находящиеся на левом берегу речки Нальчика, ниже укрепления того же имени, потому что этот участок с давнего времени состоит в ведении казны и не занят кабардинцами. Что и было исполнено генерал-майором Пирятинским и донесено о том Вашим Высокоблагородием, господину начальнику корпусного штаба, 21 июня прошедшего года за № 718.

Господин корпусный командир, в предписании своем от 6 ноября 1840 года за № 1668, сообщил господину командующему войсками, что по ведомости представленной генерал-майором Пирятинским заготовляется при Нальчике сена для 1116 голов лошадей и рогатого скота, принадлежащих всем лицам служащим и проживающим в Нальчике.

Полагая, что можно снять с одной квадратной сажени 2 фунта чистого сена, потребно для 1116 голов скота, на время продовольствия их сухим фуражом, $12^1/_2$ квадратных верст и еще 3 квадратных версты для выгона, всего $15^1/_2$ квадратных верст земли. Но как из плана земель занимаемых войсками при Нальчике, снятого глазомерно корпуса топографов под-

поручиком Горшковым, видно, что таковые сенокосные места заключаются из 29 квадратных верст, то означенные войска занимают земли более 13 с половиною квадратными верстами, нежели сколько оной для них нужно.

Поэтому вместе с тем было предписано господином корпусным командиром, для выиграния времени, прямо генерал-майору Пирятинскому, чтобы он, по прибытии подпоручика Горшкова в крепости Нальчик, поручил ему снять инструментально земли занимаемые войсками и по окончании оной сделать разделение означенной земли следующим образом:

1-е. Из всего количества этой земли отмежевать $15^{1}/_{2}$ квадратных верст войскам, состоящим Нальчикской гарнизон.

2-е. Остальной за тем участок из оной отдать военным поселянам, не отмежевывая оный в потомственное их владение, а дозволить им пользоваться оною землею, также как и войскам и не выставлять межевых знаков, дабы кабардинцы не могли подумать, что эту землю отбирают от них без всякого вознаграждения. Но по случаю позднего времени года означена инструментальная съемка не была произведена.

При всем этом Его Высокопревосходительство просит господина командующего войсками представить свое мнение о вознаграждении кабардинцев за землю, отошедшую от них под военные поселения в Кабарде, таковым же количеством земли между рр. Золкою и Этокою; дабы тем успокоить их и устранить всякой ропот между ними.

Вследствие этого Его Превосходительство Павел Христофорович донес господину корпусному командиру, рапортом от 26 ноября прошедшего года за № 1115, что требования кабардинцев, но с другой стороны пребывание не устроенных аулов между означенными реками, внутри кордонной линии неудобно потому, что это может препятствовать водворению прочного порядка и спокойствия в пределах наших и не дозволит усилить эту слабейшую часть нашей линии, русским военным поселением; а потому решение этого вопроса считает необходимым отложить до того времени, когда можно будет размежевать владения во всей Кабарде. Ныне же господин командующий войсками находит достаточным дозволить кабардинцам пользоваться землею, между Золкою и Этокою, на тех основаниях, на коих они теперь ею пользуются, т.е.: пасти на оной конские табуны и прочий скот и поить их в соленом озере; а в случае необходимости, можно дозволить аулам, крайне нуждающимся в земле, и посевы хлеба на некоторых участках этой земли, в виде временной меры, не утверждая оных за кабардинцами.

Ныне господин корпусный командир, соглашаясь на это мнение господина командующего войсками, в предписании его им от 7 генваря за № 28, предлагает Его Превосходительству объявить кабардинцам, что во внимание их преданности к Государю Императору, дозволяется вместе с тем Его Высокопревосходительство просит господина командующего войсками, сделать распоряжение, дабы вместо земель; которыми пользуются войска и военные поселяне около Нальчика, представить кабардинцам хозяевам тех земель для хлебопашества такое же количество оной между Золкою и Этокою, в виде временной меры впредь до размежевания всех владений в Кабарде.

Касательно удовлетворения поэтому же предмету наследников полковника князя Кучука Джанхотова: кабардинского князя прапорщика Алхаса Мисостова и подполковника Айдемирова, господин корпусный командир предлагает следующее:

По всем исследованиям оказалось, что прапорщик Мисостов, на всем протяжении от Екатериноградa до Дурдура, вовсе не имеет собственных земель, но самовольно завладел землею от Екатериноградa к Пришибу на 9 верст, принадлежавшую двоюродному его брату умершему подполковнику князю Кучуку Джанхотову, на которую прапорщик Мисостов, по случаю его побега за Кубань, потерял наследственные права, на основании прокламации генерала Ермолова. Равномерно и участок земли, который он вспахал около Погорелодубского поста, так же ему не принадлежал, ибо по всем показаниям кабардинских князей и соседних владетелей, оной находится во владении узденей Анзоровых и Коголковых, которые за взятую у них землю, получили уже в вознаграждение другую, в Малой Кабарде и остались тем довольны.

А потому земли, которыми до сего времени пользовался прапорщик Мисостов; уже отмежеваны Пришибской станицы и как необходимые для казаков, не могут быть возвращены. Но как по засвидетельствованию генерал-майора Пирятинского, прапорщик Мисостов действительно имеет недостаток в земле, то дабы и в этом случае не подать кабардинцам повода к ропоту, и во внимание преданности его к нашему правительству, со времени возвращения его из бегов, Его Высокопревосходительство предлагает господину командующему войсками дозволить, прапорщику Алхасу Мисостову и подполковнику Айдемирову, как наследникам покойного подполковника Кучука Джанхотова, занимать под хлебопашество на вышеизложенном основании, между рр. Золкою и Этокою 1092 десятины, то есть такое количество, какое отошло от земли умершего подполковника Джанхотова, под Пришибскую станицу и Александровское поселение.

Обер-квартирмейстер [полковник].

В должности старшего адъютанта поручик [полковник].

РГВИА. Ф. 13454. Оп. 2. Д. 281. Л. 71–76 об. Подлинник.

№ 3

1841 г. Февраля 8. – В Комиссию по наделению землями Кавказского линейного казачьего войска из особой канцелярии по управлению мирными горцами

Общего журнала
№
Наст. регист.
От господина командующего войсками
Особая канцелярия
По управлению мирными горцами
8 февраля 1841 года.
№ 270

В Комиссию наделения землями Кавказского линейного казачьего войска.

По имеющимся при делах штаба ведомости казенным землям гражданского ведомства и лесам кочующих в области магометан степям и помещичьим дачам; вошедшим в середину земель Кавказского линейного войска и граничащих с ними, показана временно отмежеванное в пользу кабардинцев одновременная пропорция земли с соляными озерами в числе 1045 десятин и 1783 сажень.

По неимению в делах канцелярии сведения об этой земле имею честь покорнейше просить Комиссию доставить мне для доклада господина начальника штаба сведения. Когда и с чьего разрешения временно отмежеваны кабардинцам означенные земли.

Подлинное подписал исполняющий должность правителя канцелярии гвардии капитан Бибиков.

Верно: [подпись].

РГВИА. Ф. 13454. Оп. 2. Д. 281. Л. 77–77 об. Подлинник.

№ 4

1841 г. Февраля 11. – Командующему войсками Кавказской линии и в Черномории, господину генерал-адъютанту и кавалеру П. Х. Граббе из штаба Отдельного Кавказского корпуса

Штаб
Отдельного Кавказского корпуса
по Генеральному штабу
Отделение III

11 февраля 1841 года.
Тифлис.
№ 994

Командующему войсками на Кавказской линии и в Черномории, господину генерал-адъютанту и кавалеру Граббе.

Из отзыва моего от 6 ноября прошлого 1840 года за № 1668 Вашему Превосходительству известно, что генерал-майору Пирятинскому поручено было, земли занимаемые из давних времен войсками около Нальчика, разделить между гарнизоном и военными поселянами по наставлению ему для сего препровожденному, и вместе с тем приписано было сообщить не пожелают ли кабардинцы которым земли эти принадлежали, получить в замен другие между Золкой и Этокой.

Ныне генерал-майор Пирятинский доносит, что кабардинцы не изъявили на то свое желание но просят, чтобы им дали земли в горах выше крепостей, куда по мнению генерал-майора Пирятинского нельзя дозволять им переселяться.

Обстоятельство это предоставляя совершенно решению Вашего Превосходительства по ближайшему Вашему усмотрению, прошу о последующем не оставить меня уведомлением. Командир корпуса генерал от инфантерии Головин.

Начальник штаба генерал-майор Коцебу.

РГВИА. Ф. 13454. Оп. 2. Д. 281. Л. 70–70 об. Подлинник.

№ 5

1841 г. Февраля 12. – Из Комиссии по наделению землями Кавказского линейного казачьего войска в штаб войсками Кавказской линии и в Черномории

Комиссия по наделении землями
Кавказского линейного казачьего войска
№ 87
12 февраля 1841 года.
Город Ставрополь.

В штаб войсками Кавказской линии и в Черномории.

На отношение онаго штаба от 8-го сего февраля № 270, Комиссия наделения землями Кавказского линейного казачьего войска уведомить честь имеет, что относительно отмежеванной временно в пользу кабардинцев одно верстной пропорции земли с соленными озерами в числе 1045 десятин и 1783 сажень, находящихся на левом берегу речки Этоки или близ поста Ессентукского; когда и с чьего разрешения земля с озерами отмежевана в пользу кабардинцев; ею было уже донесено 19-го апреля и 25-го июня прошлого 1839 года за № 98 и 197. Начальнику штаба флигель-адъютанту господину полковнику Траскину и оному штабу.

Управляющий Комиссиею, полковник [Потрубей].

РГВИА. Ф. 13454. Оп. 2. Д. 281. Л. 78–78 об. Подлинник.

№ 6

1841 г. Февраля 21. – Командующему войсками Отдельного Кавказского корпуса господину генералу от инфантерии и кавалеру Е. А. Головину из особой канцелярии по управлению мирными горцами

Общего журнала
№ 1026
Наст. регист.
От господина командующего войсками

Особая канцелярия
По управлению мирными горцами
21 февраля 1841 года.
№ 345

Секретно

Командиру Отдельного Кавказского корпуса господину генералу от инфантерии и кавалеру Головину 1-му.

Ваше Высокопревосходительство при предписании от 23 сентября прошлого 1840 года за № 994, препроводив ко мне прошение общества Большой Кабарды, о возвращении им земель лежащих между реками Золкою и Этокою, и о том, чтобы разбирательство между ими спорных дел предоставлено было избирательному ими кадию или шариату без вмешательства Кабардинского временного суда, изволите требовать моего по этим предметам мнения, объясняя при том, что по мнению Вашему для успокоения кабардинцев необходимо дать им просимые земли и до утверждения положения об управлении горцами, предоставить свободу в своих тяжбах обращатся во Временной суд или к шариату, с тем чтобы одно из этих мест не имело права опровергать решение другого и тогда на не правильное решение суда или шариата кабардинцы могут жаловаться одному лишь начальству.

Рассмотрев внимательно просьбу кабардинцев ~~в прошении~~ к Вашему Высокопревосходительству ~~изложенную~~*, и исполняя вышеупомянутое предписание ко мне, имею честь представить на благоусмотрение Ваше следующее:

1. В рапорте моем от 31 июля прошлого 1839 года за № 13392, я имел честь излагать причины неудобств и даже вреда, которые произойти могли бы отдачи кабардинцам земель между Золкою и Этокою; – с мнением моим по сему предмету Ваше Высокопревосходительство изволили вполне согласиться, и уведомили меня о том предписание за № 434. С того времени обстоятельства дела этого ни в чем не изменились, а следовательно и те причины, по коим было признано вредным отдать кабардинцам просимую ими землю, в настоящее время, как прежде устранены быть не могут. По мнению моему отдачу просимой земли можно бы было допустить только для тех кабардинцев, кои по согласию целого аула сходного с желанием владельца, просили бы позволения поселиться на левой стороне Малки подчинив себе в одинаковой степени с жителями станиц по левой стороне Малки лежащих, и всем условиям, как в отношении военного охранения границы, так и в соблюдении надлежащих карантинных осторожностей, подобная мера могла бы сблизить их с бытом казачьим и несомненно было бы со временем полезна для правительства, но так, как предмет этот требует большой осторожности и по настоящим обстоятельствам края его можно назвать совершенно прежде временным, то ~~я нахожу, что~~ не теряя из виду этой мысли, отнюдь недолжно отдавать кабардинцам просимой ими земли на другом основании. Для успокоения же их и до времени более удобного, к достижению вышесказанного, можно ежегодно под разными уважительными причинами дозволять им пользоваться временно землею между Этокою и Золкою без всякой платы, как это было дозволено в прошедшем году и разрешено им вместе с сим и на настоящий год, ибо действительно они имеют недостаток в удобной земле для хлебопашества.

2. Допустить кабардинцев в своих тяжбах по произволу разбираться во Временном кабардинском суде, или по правилам шариата, по мнению моему значило бы, уничтожив совершенно действие первого, распространить во всей силе правила последнего, и изменив давно и правильно принятую методу ослаблять власть – духовенства, возобновить вполне влияние его на народ. Не думаю, чтобы подобная мера могла согласоваться с общею целью принятою для введения лучшего и более согласного с видами правительства управления между горцами, напротив, она будет совершенно противна принятым правилам, ибо во всех более или менее устроенных управлениях иноверцами, не допускается ни какое вмешательство духов-

*Здесь и далее зачеркнуто в самом документе.

ных лиц в дела гражданские и только предметы подлежащие до веры и совести, дела по несогласию мужа с женой и родителей с детьми, определено разбирать по их законам, что ясно определено в 10 томе /о суде по делам кавказских инородцев/ в статьях 2644 и 2645-й, и в том же томе/ о суде инородцев астраханских/ в статьях 2687-й и 2691-й. По сему выше изложенному я нахожу, что просьба кабардинцев принята быть не может и что правила изданные генералом Ермоловым для Кабардинского временного суда, до введения между туземцами управления на основании представленного мною проекта, должны оставаться во всей своей силе, ибо допустив согласно просьбе кабардинцев разбирательство всех дел по шариату мы дали бы повод мусульманам думать, что без шариата ни какое управление существовать не может, духовенство же магометанское, конечно не пропустило бы случая скорее утвердить их в этой мысли и тогда всякое предприятие начальства относительно введения лучших правил в управлении горцами, более нежели когда-нибудь встретить к тому затруднений. При сем нахожу нужным сказать, что введение правил шариата по прямому их смыслу сколько мне то известно, согласовалось бы только с желанием духовенства и низшим классом кабардинцев, князья же и узденья первостепенные, конечно не были бы довольны этим, ибо они вполне отдают преимущество при разбирательстве большой части дел правилам адата.

Представляя все вышеизложенное на благоусмотрение Вашего Высокопревосходительства, имею честь покорнейше просить, почтить меня предписанием, какой ответ удобно будет Вам приказать сделать кабардинцам на поданное ими прошение.

Верно: секретарь [подпись].

РГВИА. Ф. 13454. Оп. 2. Д. 281. Л. 79–81 об. Подлинник.

№ 7

1841 г. Апреля 6. – Из особой канцелярии по управлению мирными горцами командующего войсками Отдельного Кавказского корпуса господину начальнику Центра Кавказской линии

Общего журнала
№
Наст. регист.
От господина командующего войсками
Особая канцелярия
По управлению мирными горцами
6 апреля 1841 года.
№ 843

Господину начальнику Центра Кавказской линии.

Господин корпусный командир поручал Вашему Превосходительству, земли занимаемые из давних времен войсками около Нальчика, разделив между гарнизоном и военными поселянами, сообразить, не пожелают ли кабардинцы, которым земли эти принадлежали, получить взамен их другие между Золкою и Этокою.

Вследствие этого Ваше Превосходительство донесли, что кабардинцы не изъявили на то своего желания, но просят чтобы им даны были земли в горах выше наших укреплений, куда по мнению Вашему нельзя дозволить им переселится.

Господин корпусный командир сообщая мне вышеизложенное в предписании от 11 февраля за № 292, предоставил решение этого, дела совершенно моему усмотрению, а потому имея честь уведомить Ваше Превосходительство, что я вполне согласен с изложенным мнением Вашим что, кабардинцам не должно дозволять переселиться к горцам, но объявлением им, этого решения, я прошу Ваше Превосходительство на некоторое время и впредь до особого моего предписания, приостановится.

Генерал-адъютант Граббе.

РГВИА. Ф. 13454. Оп. 2. Д. 281. Л. 83–83 об. Подлинник.

№ 8

1841 г. Апреля 6. – Из особой канцелярии по управлению мирными горцами господину командующему войсками Отдельного Кавказского корпуса

Общего журнала
№
Наст. регист.
От господина командующего войсками
Особая канцелярия
По управлению мирными горцами
6 апреля 1841 года.
№ 846

Господину командиру Отдельного Кавказского корпуса.

Вследствие предписания Вашего Высокопревосходительства от 11 февраля № 282, имею честь донести, что я совершенно согласен с мнением генерал-майора Пирятинского о невозможности взамен отошедшей близ Нальчика земли для гарнизона, укрепления и военного поселения, дать кабардинцам землю согласно их желанию в горах выше наших укреплений и что переселение это ни в каком случае быть не может.

Поставив о том в известность вместе с сим генерал-майора Пирятинского я предписал ему на время приостановится с ответом кабардинцам на выше упомянутую просьбу их.

Верно: [подпись].

РГВИА. Ф. 13454. Оп. 2. Д. 281. Л. 82. Подлинник.

№ 9

1841 г. Апреля 27. – От правителя канцелярии господину секретарю особой канцелярии господина командующего войсками на Кавказской линии и в Черномории

№ 1
27 апреля 1841 года.
Станица Екатериноградская.

От правителя канцелярии
Господину секретарю особой канцелярии господина командующего войсками на Кавказской линии и в Черномории.

Предлагаю Вам Милостивый Государь немедленно доставить ко мне дела: 1-е, об отводе 1000 десятин земли кабардинскому узденю поручику Шоре-бек-Мурзину и 2-е, об отводе земли кабардинцам или о дозволении им пасти свои стада между Этокою и Золкою, для доклада господину командующему войсками.

Подлинное подписал правитель канцелярии гвардии капитан Бибиков.

Верно: в должности старшего адъютанта хорунжий [подпись].

РГВИА. Ф. 13454. Оп. 2. Д. 281. Л. 84. Подлинник.

№ 10

1842 г. Апреля 10. – От господина командующего войсками Отдельного Кавказского корпуса Е. А. Головина господину военному министру А. И. Чернышеву

Общего журнала
№ 1521
Наст. регист.
От господина командующего войсками
Канцелярии по управлению мирными горцами
10 апреля 1842 года.
№ 1657

Господину военному министру.

По дошедшим сведениям о притязаниях кабардинцев на земли между Этокою и Золкою, и принимая во внимание, что в нынешних обстоятельствах устройство покорных народов и в особенности кабардинцев имеет особенную важность, Ваше Сиятельство предписанием от 16 июля за № 181 изволите требовать мое мнение не найду ли возможным для окончания этого дела и отклонения всяких на будущее время недоразумений предоставить кабардинцам взамен означенной земли соответствующее вознаграждение, обратив на сей конец часть земель принадлежавших бежавшим в горы единоплеменникам их.

Вследствие сего имею честь Вашему Сиятельству донести:

Самые большие побеги владельцев кабардинских Закубань, делались начиная с 1816 и до 1822 года, в течении этого времени действительно весьма значительная часть земель между реками Тереком и Малкою согласно прокламации генерала Ермолова должна бы была поступить в распоряжение правительства, но местное начальство от того ли что не считало возможным или от других каких либо неизвестных причин, земли бежавших владельцев не только не отбирало но и даже и не приводило в известность какою кто до побега землею пользовался; по этой причине, оставшаяся земля с того времени переходила во владение от одного к другому родственнику бежавших, за это присваивали себе подобные земли сильнейшие роды князей и узденей без всякого права и нередко сами бежавшие получив прощение от правительства возвращались от непокорных горцев в Кабарду и владели беспрепятственно землею с оставшеюся их собственностию до побега. В таком положении дело это оставалось по настоящее время, а между тем народонаселение в Кабарде умножилось, благосостояние их состоящее большею частию в конных табунах и скотоводстве значительно увеличилось и сверх того кабардинцы начали приметно более заниматься хлебопашеством, и потому, теперь несмотря на то что участки земли бежавших князей и узденей остаются в постоянном владении других лиц в Кабарде встречается действительной в земле недостаток, до такой степени, что отмежевание части земель для военных поселений на Военно-Грузинской дороге было для кабардинцев ощутительным стеснением, по сим причинам я полагаю, что земля между Этокою и Золкою не может быть заменена оставшегося от бежавших владельцев землею, которая по настоящее время состоит в постоянном более 10 лет владении у разных лиц. Для определения участков земель бежавшим принадлежавших необходимо будет составлять особую Коммисию и разбор этих дел, кроме затруднений которые будут при сем встречаться, возбудит несомненно неудовольствие со стороны многих кабардинцев. Сверх сего означенные земли не могут заменить пространство между Этокою и Золкою потому, что на сем последнем находится удобная земля для хлебопашества, которой весьма недостаточно между реками Малкою и Тереком и главное потому, что между Этокою и Золкою кабардинцы пасут свои табуны и стада, поят их в соляных озерах, а на зиму запасают из них соленую грязь для скота необходимую.

Представляя все выше изложенное на благоусмотрение Вашего Сиятельства, имею честь доложить, что кабардинцы крайне нуждаются в земле между Этокою и Золкою, а потому им представляется это право ежегодно под разными уважительными причинами, как объяснил Вашему Сиятельству в докладной записке от 8 июня начальник штаба командуемых мною войск, изложив притом и причины по коим я нахожу, что в настоящее время земля эта не может отдана быть кабардинцам в постоянное их владение.

Генерал-адъютант Граббе.

Верно: помощник секретаря [подпись].

РГВИА. Ф. 13454. Оп. 2. Д. 281. Л. 97–98 об. Подлинник.

№ 11

1842 г. Июля 25. – Предписания господина командующего войсками исполняющему должность начальника Центра Кавказской линии полковнику князю В. С. Голицыну[5]

Копия с предписания господина командующего войсками исполняющему должность начальника Центра Кавказской линии полковнику князю Голицыну от 25 июля 1842 года № 519.

Дошло до сведения моего, что Ваше Сиятельство объявили жителям Большой Кабарды, что земля между Этокою и Золкою принадлежит: Волжскому полку и потому пользоваться ею не должно.

Если это справедливо, то я должен заметить, что распоряжение Вашего Сиятельства не противно воле начальства, из переписки прежних лет в делах по управлению начальника Центра имеющихся хотя и видно, что земли между Этокою и Золкою признаны принадлежащими казакам, но в объявлении этого кабардинцам не предстояло никакой надобности и еще менее не должно было возвращать им пользоваться тою землею тем более, что из прежних дел Вашему Сиятельству должно было быть известно ежегодно даваемое разрешение пользоваться означенною землею в уважении стеснения кабардинцев в земельном довольствии.

Вследствие сего предлагаю Вашему Сиятельству объявить кабардинцам, что сделанное воспрещение им пользоваться землею случилось по ошибке и что они в настоящее время как и прежде могут ею пользоваться без всякого стеснения, в чем я вместе с сим подтверждаю командиру Волжского казачьего полка.

Верно: правитель канцелярии подполковнику [подпись].

РГВИА. Ф. 13454. Оп. 2. Д. 281. Л. 89–89 об. Подлинник.

---

[1]*Потемкин Григорий Александрович* (1739–1791) – под управлением Г. А. Потемкина находились Новороссийская и Азовская губернии (просуществовавшие до 1784 г.), Днепровская линия, Астраханская и Саратовская губернии, а также (с февраля 1775 г.) войско Донское. Одновременно он стал командующим всеми войсками, размещенными в Астраханской, Новороссийской и Азовской губерниях, наместником которых был назначен в 1775 г. В состав Новороссийского наместничества входили Саратовская, Астраханская, Новороссийская и Азовская губернии. В 1784 г. Г. А. Потемкин был произведен в генерал-фельдмаршалы, в том же году назначен президентом Военной коллегии; в 1787 г. – харьковским генерал-губернатором (1787–1791). Г. А. Потемкин, не посещавший никогда Кавказ, управлял им из Санкт-Петербурга. Ему удалось упрочить позиции России между реками Дон, Терек и Кубань. Управление территориями от Черного до Каспийского моря осуществлялось через его личную канцелярию.

[2]*Шарданов Якуб Магометович* (1787–1849) – родился в селении Шалушка, получил духовное образование, владел русским, персидским, арабским и турецким языками. Российская администрация пользовалась услугами Я. М. Шарданова для перевода персидских и турецких текстов. А. П. Ермолов включил его в 1817 г. в состав посольства в Персию. В этом же году ему было присвоено звание капитана. Прокламацией 29 августа 1822 г. А. П. Ермолов объявил о создании Кабардинского временного суда под председательством валия Кабарды Кучука Джанхотова. Я. М. Шарданов был назначен секретарем Кабардинского временного суда (1822–1838). До этого Я. М. Шарданов был заведующим канцелярией и секретарем при валие Кабарды Кучуке Джанхотове.

[3]*Кучук Джанхотов* (1758–1830) – происходил из рода кабардинских князей Бекмурзиных, старший сын Джанхота Бекмурзина. В 1795 г. был произведен в премьер-майоры с жалованьем по чину, в 1796 г. – в полковники «за отличное усердие при учреждении Родовых судов». Кучук Джанхотов к началу XIX в. становится одним из влиятельнейших князей Кабарды. В 1809 г. избирается валием (*пщышхуэ* – великим князем) Кабарды (1809–1822). В 1822 г. с утверждением в Кабарде российских административных и судебных учреждений институт валия был упразднен. В том же году Кучук Джанхотов был назначен председателем Кабардинского временного суда (1822–1830).

[4]*Пирятинский Александр Григорьевич* (1786–1841) – в 1830 г. назначен командиром Бутырского пехотного полка, в 1831 г. произведен в полковники, в 1832 г. назначен командиром Кабардинского егерского пехотного полка, с 1833 по 1839 г. командующий Кабардинской линией. В 1839 г. произведен в генерал-майоры, в том же году назначен начальником Центра Кавказской линии.

[5]*Голицын Владимир Сергеевич* (1794–1861) – в 1819 г. переведен в Тираспольский конно-егерский полк. В том же году произведен в майоры с переводом в Переяславский конно-егерский полк. В 1820 г. произведен в подполковники; в 1823 г. – в полковники. В 1825 г. за непристойный ответ корпусному командиру уволен со службы. В 1826 г. вновь принят на службу в Тираспольский полк. В 1827 г. по Высочайшему повелению исключен из придворных списков, в том же году состоял по кавалерии при Отдельном Кавказском корпусе. В 1829 г. уволен со службы из-за ран и определен на гражданскую службу в чине статского советника. В том же году определен в Министерство иностранных дел для особых поручений и произведен в действительные статские советники. В 1835 г. по распоряжению Николая I отстранен от службы в чине действительного статского советника. В 1839 г. вновь определен на службу в чине полковника. В 1843 г. произведен в генерал-майоры и назначен начальником Центра Кавказской линии (1843–1849), состоял по кавалерии при Отдельном Кавказском корпусе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы Я. М. Шарданова по обычному праву кабардинцев первой половины XIX века. / Сост. Х. М. Думанов. Нальчик: Эльбрус, 1986. 320 с.

2. *Думанов Х. М.* Якуб Шарданов. Из истории изучения обычного права кабардинцев. Нальчик: Эльбрус, 1988. 84 с.

3. Территория и расселение кабардинцев и балкарцев в XVIII – начале XX веков. Сборник документов / Сост. Х. М. Думанов. Нальчик: Нарт, 1992. 270 с.

4. Аграрные отношения у народов Северного Кавказа в российской политике XVIII – начала XX века: архивные материалы и научные исследования. / Сост. П. А. Кузьминов. Нальчик: Эль-Фа, 2008. Т. II. 550 с.

5. *Прасолов Д. Н.* «Высочайшее пожалование» Александра III от 21 мая 1889 г. в общественной жизни кабардинцев и балкарцев // Вестник Кабардино-Балкарского института гуманитарных исследований. 2021. № 1 (48). С. 83–90. DOI: 10.31007/2306-5826-2021-1-48-83-90.

6. *Глашева З. Ж.* Документы к истории Высочайшего пожалования земель по Золке и Этоке (1839 г.) // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 3(113). С. 55–67. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-3-113-55-67

7. *Глашева З. Ж.* Документы к истории Высочайшего пожалования земель по Золке и Этоке (1840 г.) // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 5. С. 251–263. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-5-251-263

8. *Бентковский И.* Движение гражданской колонизации на Северном Кавказе, со времени открытия в 1786 году Кавказской губернии, до перевода губернских присутственных мест из Екатеринограда в Георгиевск в 1804 году // Ставропольские губернские ведомости. 1876. № 38. 18 сентября. С. 5.

9. *Бентковский И.* Упразднение города Екатеринограда в переселение губернских присутственных мест в Астрахань // Ставропольские губернские ведомости. 1887. № 4. 24 января. С. 1.

10. Генерал-майор Якоби: основатель Моздокско-Азовской линии в 1777 году // Ставропольские губернские ведомости. 1877. № 7. 12 февраля С. 2.

11. АКАК. Тифлис, 1878. Т. VII. Ст. 843.

12. РГВИА. Ф. 13454. Оп. 2. Д. 281.

13. РГВИА. Ф. 13454. Оп. 2. Д. 282.

REFERENCES

1. *Materialy Ya. M. Shardanova po obychnomu pravu kabardincev pervoy poloviny XIX veka* [Materials of Ya.M. Shardanov on the customary law of Kabardians of the first half of the 19th century]. Comp. Kh.M. Dumanov. Nalchik: Elbrus, 1986. 320 p. (In Russian)

2. Dumanov Kh.M. *Yakub Shardanov. Iz istorii izucheniya obychnogo prava kabardincev* [Yakub Shardanov. From the history of the study of Kabardian customary law]. Nalchik: Elbrus, 1988. 84 p. (In Russian)

3. *Territoriya i rasselenie kabardincev i balkarcev v XVIII – nachale XX vekov* [The territory and settlement of Kabardians and Balkarians in the XVIII – early XX centuries]: collection of documents. Comp. Kh.M. Dumanov. Nalchik: Nart, 1992. 270 p. (In Russian)

4. *Agrarnye otnosheniya u narodov Severnogo Kavkaza v rossiyskoy politike XVIII – nachala XX veka: arhivnye materialy i nauchnye issledovaniya* [Agrarian relations among the peoples of the North Caucasus in Russian politics of the XVIII – early XX century: archival materials and scientific research]. Comp. P.A. Kuzminov. Nalchik: El-Fa, 2008. Vol. II. 550 p. (In Russian)

5. Prasolov D.N. «The highest award» of Alexander III dated May 21, 1889 in the public life of Kabardians and Balkarians. *Vestnik Kabardino-Balkarskogo instituta gumanitarnyh issledovaniy* [Bulletin of the Kabardino-Balkarian Institute of Humanitarian Research]. 2021. No. 1(48). Pp. 83–90. DOI: 10.31007/2306-5826-2021-1-48-83-90. (In Russian)

6. Glasheva Z.Zh. Documents on the history of the Highest land grant for Gold and Silver (1839). *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2023. No. 3(113). Pp. 55–67. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-3-113-55-67. (In Russian)

7. Glasheva Z.Zh. Documents on the history of the Highest land grant for Gold and Silver (1840). *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2024. Vol. 26. No. 5. Pp. 251–263. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-5-251-263. (In Russian)

8. Bentkovsky I. The movement of civil colonization in the North Caucasus, since the opening of the Caucasian province in 1786, before the transfer of provincial offices from Yekaterinograd to Georgievsk in 1804. *Stavropol'skie gubernskie vedomosti* [Stavropol provincial Gazette]. 1876. No. 38. September 18. P. 5. (In Russian)

9. Bentkovsky I. The abolition of the city of Yekaterinograd in the relocation of provincial offices to Astrakhan. *Stavropol'skie gubernskie vedomosti* [Stavropol provincial Gazette]. 1887. No. 4. January 24. P. 1. (In Russian)

10. Major General Jacobi: founder of the Mozdok-Azov line in 1777. *Stavropol'skie gubernskie vedomosti* [Stavropol provincial Gazette]. 1877. No. 7. February 12. P. 2. (In Russian)

11. ACAC. Tiflis, 1878. Vol. VII. St. 843.

12. RGVIA. F. 13454. Op. 2. D. 281.

13. RGVIA. F. 13454. Op. 2. D. 282.

Финансирование. Работа выполнена по теме НИР «Социально-экономическое развитие государственно-политических образований и обществ Северо-Западного и Центрального Кавказа в XVII–XIX вв.».

Funding. The work is carried out on the topic of scientific research “The socio-economic development of state-political entities and societies in the North-West and Central Caucasus during the 17th–19th centuries.”

Информация об авторе

Глашева Зулейха Жамботовна, канд. ист. наук, стар. науч. сотр., Институт гуманитарных исследований – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

36000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18;

zu-20.80@list.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2484-2398, SPIN-код: 9636-1238

Information about the author

Zuleikha Zh. Glasheva, Candidate of Historical Sciences, Senior Researcher, Institute of Humanitarian Researches – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia;

zu-20.80@list.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2484-2398, SPIN-code: 9636-1238

ИСТОРИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 009 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-406-425
EDN: SZMFYX

Опыт музеефикации курганов и перспективы создания кургана-музея на территории Кабардино-Балкарской Республики

И. Х. Гукемух

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы музеефикации курганов Кабардино-Балкарии и превращение их в археологические музеи под открытым небом. Актуальность данной темы заключается в необходимости сохранения и актуализации памятников археологии на территории региона ввиду их быстрого разрушения от воздействия природных и антропогенных факторов.

Цель исследования – рассмотрение перспектив превращения одного из курганов бронзового века на территории сельского поселения Аушигер (Черекский район КБР) в объект историко-этнографического туризма с учетом европейского и отечественного опыта.

Материалы и методы. В работе автор пользовался сравнительно-аналитическим методом. В предлагаемом исследовании использованы публикации в научной и периодической печати и данные, полученные в процессе полевой работы в Черекском районе Кабардино-Балкарии.

Результаты. Выявлены факторы, определяющие привлекательность курганов-музеев для туристического бизнеса.

Выводы. Музеефикация отдельных археологических памятников in situ в таких исторических местах, каким является Черекское ущелье, представляется наиболее перспективным направлением развития историко-этнографического туризма в Кабардино-Балкарии.

Ключевые слова: музеефикация, курган-музей, Кабардино-Балкария, Черекское ущелье, археологические памятники, посещаемость, туристический бизнес

Поступила 20.10.2025, одобрена после рецензирования 11.11.2025, принята к публикации 14.11.2025

Для цитирования. Гукемух И. Х. Опыт музеефикации курганов и перспективы создания кургана-музея на территории Кабардино-Балкарской Республики // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 406–425. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-406-425

Original article

Burial mounds museifying experiences and prospects for creating burial mound museum in Kabardino-Balkarian Republic

I.Kh. Gukemukh

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

Abstract. This article examines the prospects for converting burial mounds in Kabardino-Balkaria into open-air archaeological museums. The importance of this topic stems from the need to protect and preserve archaeological sites in the region, which are rapidly being destroyed by natural and human-made factors.

Aim. The study is to examine the prospects for transforming one of the Bronze Age burial mounds in the rural settlement of Aushiger (Chereksky district of the Kabardino-Balkarian Republic) into an object of historical and ethnographic tourism, taking into account European and domestic experience.

© Гукемух И. Х., 2025

Materials and methods. The author used a comparative analytical method. The research draws on publications in the scientific and periodical press and data obtained during fieldwork in the Cherek District of Kabardino-Balkaria.

Results. Factors determining the attractiveness of burial mound museums for the tourism industry were identified.

Conclusions. The in-situ museumification of individual archaeological sites in historical sites such as the Cherek Gorge appears to be the most promising direction for the development of historical and ethnographic tourism in Kabardino-Balkaria.

Keywords: museumification, burial mound museum, Kabardino-Balkaria, Cherek Gorge, archaeological sites, attendance, tourism industry

Submitted 20.10.2025, approved after reviewing 11.11.2025, accepted for publication 14.11.2025

For citation. Gukemukh I.Kh. Burial mounds museifying experiences and prospects for creating burial mound museum in Kabardino-Balkarian Republic. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 406–425. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-406-425

Курган разрыт. В тяжелом саркофаге
Он спит, как страж. Железный меч в руке.
Поют над ним узорной вязью саги,
Беззвучные, на звучном языке…
И. А. Бунин

Введение

В последние два десятилетия в мире обозначилась тенденция к росту количества музеефицированных памятников археологии [1, с. 205]. Она отмечается во многих странах, где государство и бизнес-сообщество оценили выгоды от создания музеев *in situ* и превращения их в туристические объекты. Популярность того или иного памятника поднимает престиж региона. Памятник становится его символом, подобно тому, как пирамиды в Гизе стали символом Египта, Парфенон – символом Афин, Колизей – Рима. За известностью идет интерес, за интересом – туристы. Так появляется туристический бренд.

В Российской Федерации недвижимые памятники археологии достаточно давно стали объектами музейного интереса, но лишь немногие из них были превращены в объекты показа. Это замечание более чем справедливо и для Кабардино-Балкарии, где музеефицированных «на месте» памятников археологии фактически нет.

Одна из причин – малоизученность территории республики по сравнению с соседними регионами – Северной Осетией, Карачаево-Черкесией, районом Кавказских Минеральных Вод, Адыгеей и Краснодарским краем. Отсутствие систематической подготовки профессиональных кадров и, как следствие, слабый интерес молодежи (студенчества) республики к археологии надолго предопределили данную ситуацию. Местные научные и образовательные учреждения и в наши дни практически не участвуют в археологических экспедициях, которые проводятся в регионе специалистами из столичных учреждений [2, с. 10].

Рукотворные курганные насыпи зафиксированы практически во всех районах республики, главным образом на равнине и в предгорьях.

Это обстоятельство обусловлено целым рядом причин, подробное рассмотрение которых не входит в задачи статьи. Укажем лишь на то, что практика возведения курганов на Северном Кавказе берет начало в V–IV тыс. до н. э., а пережитки курганной погребальной традиции прослеживаются до XIX в. [2, с. 9].

Цель исследования – рассмотрение перспектив превращения одного из курганов бронзового века на территории с. п. Аушигер (Черекский район КБР) в объект исторического туризма с учетом европейского и отечественного опыта.

В одном кургане могут открыться культурные слои, отстоящие друг от друга на тысячи лет. Исследователям нередко удается установить их хронологические границы и пролить свет на социальные, экономические, этнические процессы, происходившие в регионе в разные эпохи. Кроме того, обращаясь к фольклору, антропологии, палеогенетике, геологии, используя современные технологии, ученые могут установить традиционный рацион питания, способы охоты, степень социального расслоения и другие важные подробности жизни древнего населения той или иной местности. Такая информационная многослойность делает курганы Кабардино-Балкарии ценными объектами историко-культурного наследия, которые нуждаются не только в сохранении и изучении. Они обладают серьезным потенциалом в части их использования в образовательных, воспитательных целях, а также в целях развития исторического туризма.

Однако уже на первом этапе музеефикации, в ходе мероприятий по обеспечению сохранности объекта, исследователи сталкиваются с рядом проблем. Помимо разрушения в силу естественных причин и хозяйственной деятельности человека, археологи нередко обнаруживают следы незаконного кладоискательства. По сведениям местных краеведов, только за последние несколько лет было утрачено более 300 курганов, и этот процесс продолжается[1]. Более точными данными о количестве уничтоженных в разное время курганов мы не располагаем, так как подобная статистика в республике не ведется, но если сопоставить цифры середины и конца XIX в. [3, с. 93–96], то мы увидим, что на одном только Константиновском плато (район Пятигорска), на исторической территории средневековой Кабарды, их количество сократилось с 5 тысяч до нескольких десятков [4, с. 37–60]. Такая же участь постигла и крупный Усть-Джегутинский курганный могильник – из 65 курганных насыпей в период с 1901 по 1964 год исследованы (раскопаны) были лишь несколько наиболее крупных [5–7].

Следует сказать, что до недавнего времени задача сохранения курганов как части культурно-исторического ландшафта перед отечественными археологами не ставилась. Музеефикация происходила следующим образом: в ходе раскопок курган разрушался, а добытые артефакты для хранения и экспонирования передавались в традиционные коллекционные музеи. Иногда на месте разрушенных таким образом памятников устанавливались стелы или другие памятные сооружения, информирующие о некогда находившемся здесь объекте. Такая стела установлена на месте, где ранее находился эталонный памятник майкопской культуры курган *Ошад*[2] (рис. 1). Артефакты же, найденные в ходе археологических исследований этого кургана, находятся в Государственном Эрмитаже (Санкт-Петербург).

В отечественном музееведении такой подход к музеефикации (актуализации) археологических памятников назвался *коллекционный*.

В XX в. в музейном деле обозначилась тенденция к росту удельного веса музеев in situ, созданных на основе архитектурных сооружений, дольменов, курганов и других объектов культурно-исторического наследия. Такие музеи получили название *ансамблевые,* но вскоре их стали подразделять на *музеи-памятники*, создаваемые на основе отдельного объекта, и *музеи под открытым небом* [1, с. 207]. Последние, в свою очередь, могут подразделяться на транслоцируемые, стационарные и смешанные [8]. В конце 1980-х – нач. 1990-х гг. в научный оборот входит понятие «средовой музей». Первые рекомендации по созданию таких музеев были разработаны Л. А. Фотий [9], а само понятие наиболее полно сформулировала в своих работах М. Е. Каулен [10, с. 87].

[1]Кабардино-Балкария не может защитить курганы от варваров и разрушений / Сайт: Версия на Северном Кавказе. https://kavkaz.versia.ru/kabardino-balkariya-ne-mozhet-zashhitit-kurgany-ot-varvarov (дата обращения: 20.10.2025).

[2]Ошад. Майкопский курган. Сайт Министерства труда и социального развития Республики Адыгея. https://pokolenie.adygheya.gov.ru/tourism/oshad-maykopskiy-kurgan/ (дата обращения: 22.10.2025).

Представляется, что задачам по сохранению и оптимальному использованию курганов Кабардино-Балкарии как объектов культурного наследия народов России отвечает именно ансамблевый подход (с делением на музеи-памятники и музеи под открытым небом). Рассмотрим подробнее зарубежный и отечественный опыт музеефикации курганов и других археологических памятников.

I

Европейский опыт превращения курганов, курганных полей и других недвижимых памятников археологии в объекты музейного показа включает удачные примеры.

***Рис. 1**. Памятная стела на месте разрушенного в ходе раскопок кургана Ошад (Майкопского кургана)*[3]

***Fig. 1**. Memorial stele at the site of the Oshad burial mound destroyed during excavations (Maikop burial mound)*

В частности, к ним можно отнести музеефицированный неолитический комплекс *Бру-на-Бойн (Ирландия)*, возраст которого около 5 тысяч лет (прибл. датировка: *2500 г. до н. э.)*. Этот комплекс из 40 намогильных курганных насыпей занимает территорию в 10 км². Его центральными объектами являются три гигантские подкурганные гробницы – *Ньюгрейндж, Даут и Наут*. Все они окружены множеством курганов меньшего размера (курганы-спутники) и относятся к коридорному типу гробниц[4].

Наиболее известный и хорошо сохранившийся из этих курганов – Ньюгрейндж (высота – 13,5 м, диаметр – 85 метров) (рис. 2). Внутренняя камера кургана была открыта еще в XVII в. рабочими-каменщиками, добывавшими здесь строительный камень. В 1960-х годах данное сооружение было исследовано О. Келли. Курган обнесен каменным бордюром, основная его часть сложена из гранитных камней, покрытых слоем почвы. Облицовка сделана из белого кварца.

Вход в гробницу отмечен пороговым камнем, который украшен резьбой в виде спиралей и ромбов. Коридор внутри кургана ведет в камеру со ступенчатой крышей и тремя нишами. Многие камни в камере и нишах также украшены вырезанными на них спиралями и волнистыми линиями. Петроглифы Ньюгрейнджа составляют около четверти всех известных памятников западноевропейского неолитического искусства.

[3]Образы России https://www.culture.ru/institutes/34282/maikopskii-kurgan (дата обращения:17.10.2025)
[4]Бру-на-Бойн / Википедия https://ru.wikipedia.org/wiki/Бру-на-Бойн (дата обращения: 17.10.2025)

Из первоначального хенджа, окружавшего этот курган в древности, сохранилось лишь несколько камней-столпов.

Рис. 2. *Курган Ньюгрейндж (комплекс Бру-на-Бойн. Ирландия)*[5].

Fig. 2. *Newgrange mound (Brú na Bóinne complex. Ireland)*

Ньюгрейндж выполнял функции не только гробницы и культового объекта. Предположительно он также являлся древнейшей из известных на сегодняшний день обсерваторией. Над главным входом кургана расположено отверстие, через которое в дни зимнего солнцестояния (18–23 декабря) внутрь камеры проникает луч света. Солнечные лучи достигают самого дальнего камня и затем заполняют все помещение. Ньюгрейндж и два соседних кургана объединены в один археологический комплекс Бру-на-Бойн, посетить их самостоятельно, минуя общий визит-центр, не получится.

Продолжительность экскурсии в Ньюгрейндж чуть более часа, максимальное количество людей в группе – 24. Туристы, путешествующие самостоятельно, а также малые группы могут приобрести билеты на месте. Группы более 15 человек должны заказывать их заранее. Фото и видеосъемка разрешаются везде, кроме главного зала в Ньюгрейндже[6].

Для привлечения туристов и популяризации памятника на официальном сайте Ньюгрейнджа ежегодно разыгрывается лотерея, в которой участвуют те, кто хочет увидеть это явление своими глазами. По результатам розыгрышей определяются имена 50 человек, для которых бронируются места на посещение галереи утром одного из указанных дней. В последней лотерее участвовали более 30 тысяч человек[7].

Еще один пример удачной музеефикации – курган Наут из того же комплекса Бру-на-Бойн (рис. 3). Курган был раскопан в 1962 году ученым Дж. Йоганом. За без малого четверть века была исследована всего лишь треть памятника. Ныне находки в Науте составляют около 25 % всех известных памятников западноевропейского неолитического искусства.

В разные эпохи Наут выполнял функции обсерватории, гробницы (найдены останки 35 человек), укрепления. Это самый древний, самый изученный и самый крупный (17 м;

[5]Мегалитика https://megalithica.ru/nyugrejndzh.html(20.10.2025) (дата обращения: 23.10.2025)

[6]Ньюгрейндж / Magic World https://www.magic-world.info/places/newgrange (дата обращения: 20.10.2025)

[7]Ньюгрейндж: обсерватория в кургане / Travel.ru https://www.travel.ru/ (дата обращения: 13.09.2025)

диаметр около 85 м) курган комплекса Бру-на-Бойн. В ходе его раскопок были обнаружены следы неолитической культуры IV – III тыс. до н.э., захоронения и петроглифы кельтского периода. Всего было найдено 200 камней с петроглифами, вотивные предметы и раннехристианские надписи, вырезанные на камнях одной из камер с помощью огамического письма[8]. Кроме того, в коридоре кургана на одном из камней выгравировано изображение полумесяца. Под насыпью находятся два не связанных между собой коридора, каждый из которых ведет в погребальную камеру. В XII в. норманны использовали курган Наут в качестве опорного пункта, обнесенного частоколом. В раннехристианскую эпоху курган был превращен в полноценную крепость, окруженную рвами и подземными галереями, затем стал частью аббатства, а в 1939 году этот участок приобрело государство. Доступ в Наут разрешен лишь экскурсиям. Посетители могут заглянуть в один из двух подземных коридоров, однако доступ вовнутрь закрыт. Отправной точкой для посещений Ньюгрейнджа и Наута является упомянутый визит-центр Бру-на-Бойн, здесь же работает выставка, посвященная неолитической культуре и ее памятникам.

Ньюгрейндж и Наут являются примером рационального подхода к музеефикации, благодаря которому были сохранены и актуализированы как сами объекты, так и находящиеся внутри них артефакты. Популярнее все же Ньюгрейндж, где доступ внутрь для посетителей открыт, и они могут увидеть больше интересного. С эстетической точки зрения привлекательным и запоминающимся этот курган делает контраст между ярко-зеленым газоном, ровно покрывающим курган, и белой облицовкой подножия и входа.

***Рис. 3**. Курган Наут (Бру-на-Бойн)*[9]

***Fig. 3**. The tomb at Knowth (Brú na Bóinne)*

Эти памятники (Ньюгрейндж и Наут) с 1993 года являются объектами Всемирного наследия (ЮНЕСКО) и уже давно стали объектами туристического бизнеса. Различные турагентства предлагают услуги – как включенные в стоимость тура (встреча и доставка в отель, входные билеты в гробницу и пр.), так и дополнительные[10].

[8]Огамическое_письмо/// Википедия https://ru.wikipedia.org/wiki/Огамическое_письмо (дата обращения: 23.10.2025)

[9]Advisor.travel https://ru.advisor.travel/poi/Bru-na-Boyn-1482 (дата обращения: 15.09.2025)

[10]Лучшие частные гиды https://www.bestprivateguides.com/guide-in-ireland/ireland-travel-7415/unesco-castles-12703/ index.php (дата обращения: 28. 09. 2025)

В настоящее время в качестве туристического объекта в Европе также действует частично музеефицированная гробница курганного типа Гаврини (Гавринис), построенная в эпоху неолита, на рубеже V–IV тысячелетий (рис. 4). Гробница находится на небольшом одноименном острове в историческом регионе Бретань (Франция) в заливе Морбиан.

Высота курганной насыпи Гаврини – 8 м, диаметр – около 50 м. Всего для строительства этого кургана потребовалось 52 мегалита, часть которых декорирована резными символами (спиралями, концентрическими овалами, бороздами и т.д.). В 1832 году был найден вход в античное святилище, в 1930-х годах французский археолог Закари Ле Рузик начал реставрацию памятника, а в 1979–1984 гг. экспедиция Шарля-Танги Леру ее завершила, благодаря чему курган (каирн) Гаврини приобрел нынешний вид[11].

Рис. 4*. Каменный курган (каирн) Гаврини (Бретань, Франция)*[12]

Fig. 4*. Stone mound (cairn) Gavrini (Brittany, France)*

В 1991 г. раскопки продолжились. Исследования не завершены по сей день. Ввиду продолжения раскопок посещение памятника (проникновение в коридор) ограничено. Однако реконструкция части коридора из Гаврини, изображающая камни с декоративными резными изображениями, сегодня экспонируется в Музее Бугонского мегалитического некрополя в Дё-Севре[13].

Гаврини существенно проигрывает в популярности своим ирландским «соперникам». Причинами могут быть: затрудненный доступ, отсутствие на островке туристской инфраструктуры и других достопримечательностей. От находящихся на материке объектов культурного наследия, близость которых могла бы положительно отразиться на посещаемости кургана, этот памятник отрезан проливом. Гаврини можно посетить, преодолев эту водную преграду на катере (15 минут переправы и 1,5 часа экскурсии на месте), причем билет нужно заказывать заранее. Однако и при наличии расположенной недалеко друг от друга и связанной сухим путем целой группы достопримечательностей на материке (мегалитический

[11]Гробница Гавриниса – Бретань – Франция / Вне строк https://vstrokax.net/v-mire/grobnicza-gavrinisa-bretan-francziya/ (дата обращения 28.09.2025)

[12]Мегалитика https://megalithica.ru/kairn-gavrini.html (дата обращения 14.09.2025)]

[13]Бугонский некрополь / Википедия https://ru.wikipedia.org/wiki/Бугонский некрополь (дата обращения 29.09.2025)

комплекс Карнакские камни, курган Эр-Грах, замок Шато-Сусиньо и др.,)[14] Гаврини так и не стал для туристов объектом обязательного посещения. Даже на туристических ресурсах департамента Морбиан (Бретань, Франция), к которому территориально относится остров Гаврини, он упоминается нерегулярно.

II

Приведем примеры музеефикации курганов из отечественной практики. В 1980-годах в ходе раскопок в Чесменском районе Челябинской области (Г. Б. Зданович и М. К. Хабдуллина) был срыт курган Темир (рис. 5), представлявший собой погребальную насыпь на сарматском элитном захоронении раннего железного века (V–IV вв. до н. э., по другим данным – IV–II вв. до н.э.) [11, с. 425]. В первой половине 1990-х годов уничтоженный курган был воссоздан на новом месте – на территории историко-археологического музея-заповедника «Аркаим» (Челябинская область).

Курган Темир имеет пирамидальную форму. Конструктивно погребение состоит из ямы-котлована, возведенного над ней ступенчатого деревянного перекрытия и уложенного на него грунта. В усыпальницу (камеру) ведет длинный коридор.

Этот курган является одной из самых крупных реконструкций памятника археологии на Южном Урале. Автором проекта реконструкции и руководителем работ стал археолог А. Д. Таиров. Работы по воссозданию внешнего и внутреннего облика древнего захоронения производились с 1997 по 2006 г. Экспозиция реконструированного кургана состоит из муляжей погребенных вождя и его жены, лежащих на смертном ложе, а также из копий и реконструкций предметов, найденных при раскопках кургана и аналогичных ему памятников (рис. 6). В погребениях кургана Темир обнаружены и украшения – бронзовые спиральные браслеты, две сердоликовые бусины, две бусины из стекла и раковина. Такое малое количество украшений и отсутствие среди них изделий из золота объясняется тем, что курган, вероятно, был ограблен еще до раскопок.

Помимо украшений, в погребении было найдено большое количество наконечников стрел и керамическая вьючная фляга кочевнического типа вместимостью более 6 литров. В настоящий момент она хранится в музее археологии и этнографии Челябинского Государственного университета[15]. Большая часть находок, добытых археологами, исследовавшими Темир, хранится в фондах музея-заповедника «Аркаим».

Посещаемость выставки призваны обеспечить построенные на его территории туристический лагерь со столовой и костровищем, музей древних производств и мастерские, где туристы могут попробовать свои силы в разных древних ремеслах с применением аутентичных инструментов. Кроме того, желающие могут составить представление о заповеднике и его отдельных объектах, не выходя из дома, – с помощью виртуальных туров и экскурсий.

Подлинные предметы из кургана Темир хранятся в фондах музея-заповедника «Аркаим» и экспонируются во время передвижных выставок Чесменского районного краеведческого музея[16]. Посетить реконструированный курган Темир можно как в частном порядке, так и в составе тематической экскурсии «Наследие великой степи»[17].

---

[14]25 самых популярных достопримечательностей и мест для посещения в Бретани / Tripates.com. https://tripates.com/ru/25-top-rated-attractions-places-to-visit-in-brittany (дата обращения 29.09.2025)

[15]Курган Темир / Сайт Челябинского Государственного историко-археологического музея-заповедника https://arkaim-center.ru/maps/kurgan_temir (дата обращения: 14.09.2025)

[16]Аркаимские артефакты впервые в Чесме / Без формата https://chelyabinsk.bezformata.com/listnews/arkaimskie-artefakti-vpervie-v-chesme/115703483/ (дата обращения: 20.09.2025)

[17]Курган Темир. Сайт Челябинского государственного историко-археологического музея-заповедника «Аркаим» https://arkaim-center.ru/excursion/kurgan-temir (дата обращения: 16.09.2025)

***Рис. 5**. Курган Темир. Челябинский государственный историко-археологический музей-заповедник «Аркаим»*[18]

***Fig. 5**. Temir burial mound. Chelyabinsk State Historical and Cultural Reserve "Arkaim"*

***Рис. 6**. Муляжи тел усопших в кургане Темир. Челябинский государственный историко-археологический музей-заповедник «Аркаим»*[19]

***Fig. 6**. Replicas of deceased bodies in the Temir burial mound. Chelyabinsk State Historical and Cultural Reserve "Arkaim"*

[18]Курган Темир / Сайт Челябинского государственного историко-археологического музея-заповедника «Аркаим» https://arkaim-center.ru/excursion/kurgan-temir (дата обращения: 19.10.2025)

[19]Курган Темир / Сайт Челябинского государственного историко-археологического музея-заповедника «Аркаим» https://arkaim-center.ru/excursion/kurgan-temir (дата обращения: 19.10.2025)

Сайт музея-заповедника «Аркаим» информирует потенциальных посетителей о льготной и полной ценах за посещение кургана, скидках и категориях населения, для которых экскурсии на объект бесплатны (дети в составе взрослой группы, инвалиды, ветераны ВОВ, ликвидаторы аварии на ЧАЭС и т. д.). Там же указаны контакты, по которым турагентства, организации и частные лица могут заказать экскурсию[20]. Сайт адаптирован для слабовидящих. Музей-заповедник «Аркаим» также имеет группу в социальных сетях.

Еще один отечественный пример музеефикации археологических объектов – это курган Аржаан II (высота – 2 м; диаметр 80 м) в Республике Тыва (рис. 7). Он был раскопан российско-германской экспедицией (К. В. Чугунов, Г. Парцингер, А. Наглер) в 2001–2003 гг. Результатом раскопок стало открытие непотревоженной могилы VI–V веков до н. э. [12].

По описаниям археологов, в центре деревянного сруба, сделанного из бревен сибирской лиственницы, на тщательно обработанном полу были обнаружены женский и мужской скелеты в костюмах, украшенных большим количеством золотых бляшек. Среди останков найдена массивная золотая гривна – символ власти, а также золотые пластины с изображениями лошадей, оленей и барсов, которые украшали головные уборы скифов.

Ученые предположили, что в могиле была погребена супружеская чета, принадлежавшая к скифской элите. Общий вес золота, извлеченного из гробницы, составил около 20 кг, а количество золотых предметов, выполненных в скифо-сибирском зверином стиле, превысило 6000 единиц (рис. 8). При раскопках Аржаана II археологи также нашли большое количество железного оружия, инкрустированного золотом, а также изделия из бронзы и керамики.

В первые годы после раскопок предметы из кургана Аржаан II экспонировались в Государственном Эрмитаже и ряде музеев Германии, а по возвращении в Тыву хранились в Национальном банке. Лишь с приобретением необходимых охранных систем артефакты из Аржаана II (общая страховая сумма – 44 миллиона долларов) разместили в пуленепробиваемых витринах Национального музея имени Алдан-Маадыр (г. Кызыл, Республика Тыва)[21].

Рис. 7*. Курган Аржаан II (вид сверху)[22] [13]*

Fig. 7*. Royal burial mound Arzhaan-2 (top view) [13]*

[20]Курган Темир / Сайт Челябинского государственного историко-археологического музея-заповедника «Аркаим» https://arkaim-center.ru/excursion/kurgan-temir (дата обращения: 19.10.2025)

[21]Сайт Национального музея им. Алдан-Маадыр Республики Тыва https://музейтыва.рф/?page_id=11015 (дата обращения: 29.10.2025)

[22]Каменная обкладка центрального захоронения в кургане Аржаан II / Культура. Историко-культурный заповедник «Долина царей» https://www.culture.ru/institutes/81552/istoriko-kulturnyi-muzei-zapovednik-dolina-carei (дата обращения: 16.09.2025)

***Рис. 8**. Золотые украшения в виде фигурок снежного барса диаметром около 1 мм, нашитые на одежду «царя»-воина и его женщины. Коллекция из кургана Аржаан II. Национальный музей Республики Тыва [13]*

***Fig. 8**. Gold ornaments in the form of snow leopard figurines, approximately 1 mm in diameter, sewn onto the clothing of a warrior "king" and his woman. Collection from the burial mound Arzhaan II. National Museum of the Republic of Tuva [13]*

Сам курган решением Министерства культуры Республики Тыва был музеефицирован. В результате проведенных мероприятий авторами раскопок были воссозданы все важнейшие конструктивные элементы погребально-поминального комплекса, в том числе каменная ограда. Глубокие могилы и ямы на территории памятника были засыпаны и вымощены плитами. Таким образом, сейчас на месте кургана остался лишь кромлех из мегалитов.

В 2004 году было создано государственное учреждение «Историко-культурный музей-заповедник «Долина царей», который в 2019 г. стал филиалом ГБУ «Национальный музей Республики Тыва». Помимо кургана Аржаан II, на территории музея-заповедника расположены еще два кургана скифского времени – Аржаан I и Туннуг I. В 2019 году «Историко-культурный музей-заповедник «Долина царей» был зарегистрирован как филиал Государственного бюджетного учреждения «Национальный музей Республики Тыва»[23]. Этот филиал представляет собой музей под открытым небом. Основными его посетителями являются российские и иностранные туристы, а также местные жители.

На сайте Национального музея Тывы (г. Кызыл) представлена информация о ценах на билеты для разных категорий населения. По данным из государственного доклада «О состоянии культуры и туризма в республике Тыва в 2021 году», всеми филиалами Национального музея Тывы за 2021 год обслужено 20 363 человек (26 575 чел. – в 2019 г.)[24]. Для сравнения: количество туристов, ежегодно прибывающих для осмотра Ньюгрейнджа, по некоторым данным, составляет 200 тыс. человек[25]. Сведения о статистике посещений непосредственно «Долины царей», на территории которого находится курган Аржаан II, в открытом доступе отсутствуют.

[23]Филиал «Долина царей» / Сайт Национального музея Республики Тыва https://музейтыва.рф/?page_id=11015 (дата обращения: 01.08.2025)

[24]Государственный доклад «О состоянии культуры и туризма в республике Тыва в 2021 году» / Министерство культуры Республики Тыва. С.17 (дата обращения: 09.10.2025)

[25]Newgrange Megalithic Passage Tomb / Website: knowth.com https://www.knowth.com/newgrange.htm#:~:text=Newgrange%20has%20been%20designated%20a,the%20village%20of%20Donore%2C%20Co (дата обращения: 02.08.2025)

Перейдем к следующему объекту. В 2007 году был создан музей под открытым небом «Древние курганы Салбыкской степи», центральным объектом которого стал Большой Салбыкский курган (рис. 9), расположенный в Хакасии (Усть-Абаканский р-н). Курган является памятником федерального значения. Это крупнейший мегалитический памятник бассейна Среднего Енисея. Он датируется V–IV вв. до н.э. и является памятником тагарской культуры[26]. Характерной особенностью Салбыкского кургана является пирамидальная форма насыпи и прямоугольная ограда из мегалитов.

В 1954–1956 годах курган был раскопан (фактически срыт) совместной экспедицией Института истории материальной культуры (Санкт-Петербург) и Хакасского НИИ языка, литературы и истории, которой руководил С. В. Киселев[27].

Высота курганной насыпи до раскопок составляла 11,5 м, длина стены каменной ограды – 71 м. К моменту раскопок насыпь сильно оплыла, однако сохранила изначальную правильную форму. В западной части насыпи имелась яма диаметром до 19 м и глубиной до 5 м – следы грабительских раскопок XVIII века[28].

В кургане при раскопках были обнаружены останки семи человек разного пола. Ученые до сих пор не могут точно определить статус того, кто был похоронен внутри кургана: оружие, украшения, культовые и бытовые предметы, которые могли бы в этом помочь, не найдены. Вероятно, здесь погребен вождь крупного племени. В строительстве принимали участие сотни людей, использовались неизвестные до сих пор технологии распиливания и перемещения гигантских каменных глыб.

Однако на момент раскопок курган был не единожды ограблен, и кроме костных останков, бронзового ножа и битой керамики археологам ничего найти не удалось.

***Рис. 9**. Большой Салбыкский курган. Фото Н. В. Федорова (1878–1918)*[29]

***Fig. 9**. Great Salbyk kurgan. Photo by N. V. Fedorov (1878–1918)*

[26]Тагарская культура / Большая российская энциклопедия (2004–2017) https://old.bigenc.ru/archeology/text/4178398 (дата обращения: 24.08.2025)

[27]Киселев Сергей Владимирович / Большая российская энциклопедия (2004–2017) https://old.bigenc.ru/archeology/text/2067939 (дата обращения: 12.08.2025)

[28]Большой Салбыкский курган / Википедия https://ru.wikipedia.org/wiki/Большой Салбыкский курган (дата обращения: 29.08.2025)

[29]Минусинский краеведческий музей им. Н. М. Мартьянова, Общественное достояние, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=29336770 (дата обращения: 19.10.2025)

Концепция проекта музеефикации Большого Салбыкского кургана включала два этапа. Это строительство музейного комплекса в виде трех юрт со всей необходимой инфраструктурой, а также ремонтно-реставрационные работы, в том числе по сохранению разрушающейся каменной ограды кургана, включая очистку мегалитов от современных надписей. Свежей статистикой посещений Салбыкского кургана в открытом доступе нет, но известно, что за 11 месяцев 2016 года объект в составе экскурсий посетило более 30 тыс. человек[30] (в среднем 90–91 человек в день). К сожалению, удаленность объекта от крупных населенных пунктов (до Абакана – 70 км, до автотрассы – 5 км)[31], отсутствие вблизи мест для ночевки и пунктов питания не позволяют эффективно использовать Большой Салбыкский курган в качестве объекта туризма.

Отсутствие в свободном доступе регулярной статистики посещаемости указанных российских курганов существенно затрудняет оценку степени их популярности как объекта туризма.

III

Рассмотрев вышеприведенные примеры музеефикации курганов, мы можем прийти к некоторым выводам. Наиболее посещаемыми объектами из них стали те, которые:

- являются частью более крупных музейных комплексов либо находятся поблизости от других археологических и архитектурных памятников. Примером могут служить курганы Ньюгрейндж и Наут, входящие в археологический комплекс Бру-на-Бойн, состоящий из 40 объектов. Таким образом, приезжающие сюда туристы получают возможность осмотреть все составляющие комплекса;

***Рис. 10**. Большой курган долины р. Хеу (курган № 25), с. Аушигер, Черекский р-н КБР. 2025 г. (фото З. Э. Ягановой)*

***Fig. 10**. Large burial mound in the Heu River valley (Mound No. 25), Aushiger village, Kabardino-Balkarian Republic. 2025 (photo by Z. E. Yaganova)*

[30]Большой Салбыкский курган в Хакасии за год посетили 30 377 туристов / Сайт Министерства культуры Республики Хакасия https://culture19.ru/news/3188-bolshoy-salbyikskiy-kurgan-v-hakasii-za-god-posetili-30-377-turistov.html (дата обращения: 14.09.2025)

[31]Маленькое путешествие на большой Салбыкский курган / Сайт Запад 24 https://zapad24.ru/articles/8668-malenkoe-puteshestvie-na-bolshoy-salbykskiy-kurgan.html (дата обращения: 30.09.2025)

- хронологически и культурно многослойны, а следовательно, более информативны (в случае курганов Бру-на-Бойн – это неолитический, кельтский, норманнский и позднесредневековый слои);

- расположены недалеко от городов и населенных пунктов (в частности, расстояние от Бру-на-Бойн до столицы Ирландии Дублина составляет 44 км, а до ближайшего города Дроэда – 8,3 км) и имеют с ними регулярное сообщение;

- находятся в местности, где имеется достаточное количество отелей разного уровня и действуют курортно-рекреационные объекты (лечебные воды, кафе, сувенирные магазины, объекты этнографического туризма);

- администрация которых в целях привлечения туристов использует различные «маркетинговые ходы» – организует квесты, разыгрывает лотереи и викторины (например, лотерею, которая разыгрывается для желающих посетить шоу в дени зимнего солнцестояния в камере-обсерватории кургана Ньюгрейндж) или дает возможность принять участие в раскопках под руководством профессионалов и т.п.;

- имеют презентабельный вид и гармонируют с окружающим природным ландшафтом;

- администрация которых регулярно публикует и обновляет на своих электронных ресурсах и в других СМИ рекламу с подробной информацией о пути следования до объекта, ценах на услуги и т. д., прогнозе погоды, местонахождении отелей и других объектов туристической инфраструктуры.

Рис. 11. *Архитектурная 3D-визуализация визит-центра (кургана-музея) в с. Аушигер. Вариант экстерьера. Выполнена творческим объединением компаний «S+K Project» и ПСК «Парио» под руководством В. С. Самбурского и И. А. Блиева*

Fig. 11. *3D architectural visualization for the mound-museum visitor center in Aushiger village. Exterior version. Produced by the creative team of S+K Project and Pario Construction and Construction Company, under the leadership of V.S. Sambursky and I.A. Bliev*

Ориентируясь на эти установки, мы определили подходящий для музеефикации объект на территории Кабардино-Балкарии и разработали предложения к концепции перспективного музея-кургана (рис. 11–13).

Объект, получивший условное обозначение «Курган № 25», местные жители именуют Большим курганом долины Хеу (каб-черк: *Хъыу губгъуэ Іуащхьэжь*). Он расположен в

долине р. Черек на территории с. п. Аушигер, по левую сторону от автодороги федерального значения Урвань – Верхняя Балкария – Уштулу (А-154).

Курган имеет четкие границы. Склоны в некоторых местах поросли кустарником. Высота курганной насыпи – около 5 м, окружность подножия – около 100 м. Вероятнее всего, он относится к эпохе бронзы. Местные информанты из числа старожилов сообщали, что здесь также находится погребение князя из рода Идаровых [13, с. 50]. Минувшим летом научными сотрудниками КБНЦ РАН курган № 25 был осмотрен и геолоцирован, как и целый ряд других археологических памятников долины р. Черек.

Окружающий курган природный ландшафт и существующая на указанной территории транспортная, энергетическая и рекреационная инфраструктура создают благоприятный фон для музеефикации и превращения его в объект исторического туризма.

Доступ к объекту обеспечивается указанным шоссе, проходящем в 70 м от него. Остается оборудовать паркинг, съезд на него и пешеходную дорожку, ведущую непосредственно к кургану. Расстояние между курганом № 25 и г. Нальчик составляет 28 км, причем автодорога связывает несколько населенных пунктов Черекского и Урванского районов республики, в которых проживают потенциальные посетители объекта – учащиеся средних школ, студенты вузов и т. д.

В окрестностях кургана № 25 на территории с. п. Аушигер располагается несколько десятков других объектов культурного наследия (большие и малые курганы и городища), которые относятся к разным периодам – от эпохи бронзы до эпохи средневековья. Это обстоятельство должно поднять туристическую привлекательность как самого кургана, так и всей местности в целом.

В границах с. п. Аушигер уже действуют следующие объекты рекреационной инфраструктуры:

- две гостиницы (3-х и 4-звездные) и коттеджи;
- один ресторан и три кафе;
- минеральные источники и термальный комплекс, оборудованный для купания и отдыха[32].

Дополнительным туристическим объектом могут служить сооружения Аушигерской ГЭС.

Для усиления эстетической привлекательности объекта планируется обнести его стеной, сложенной из необработанного дикого (речного) камня. Поросшие дикорастущей травой и кустарником склоны должны быть подстрижены и очищены от мусора. Все эти мероприятия не должны нарушить изначальный исторический вид кургана.

Во внутренней части кургана в соответствии с эскизами планируется построить экспозицию. Она должна состоять из музеефицированного раскопа и размещенных вдоль стен стендов (витрин) с краткой информацией об истории археологического объекта. Куполообразные стены могут быть оснащены экранами с 3D изображением, которые будут демонстрировать посетителям видеоролики, по тематике соответствующие времени сооружения и функционирования кургана. К созданию видеороликов планируется привлечь специалистов в области древней и средневековой истории и IT-технологий. Отдельное внимание должно быть уделено освещению визит-центра и подсветке экспонатов.

[32]Аушигер. Карта с улицами, домами и организациями / 2ГИС https://2gis.ru/nalchik/geo/70030076128202868?m=43.720211%2C43.373411%2F17.4 (дата обращения: 22.10.2025)

***Рис. 12**. Архитектурная 3D-визуализация визит-центра (кургана-музея) в с. Аушигер. Вариант интерьера. Выполнена творческим объединением компаний «S+K Project» и ПСК «Парио» под руководством В. С. Самбурского и И. А. Блиева*

***Fig. 12**. 3D architectural visualization of the mound-museum visitor center in Aushiger village. Interior design. Fashioned by the creative team of S+K Project and Pario Design and Construction Company, under the leadership of V.S. Sambursky and I.A. Bliev*

Подняться на вершину кургана, где будет оборудована смотровая площадка, можно по внешней лестнице. Поднявшись наверх, посетители смогут не только осмотреть живописные окрестности, но и заглянуть внутрь кургана (в раскоп) через круглое застекленное отверстие.

У пешеходной дорожки, ведущей к кургану, будет действовать сувенирный магазин для туристов.

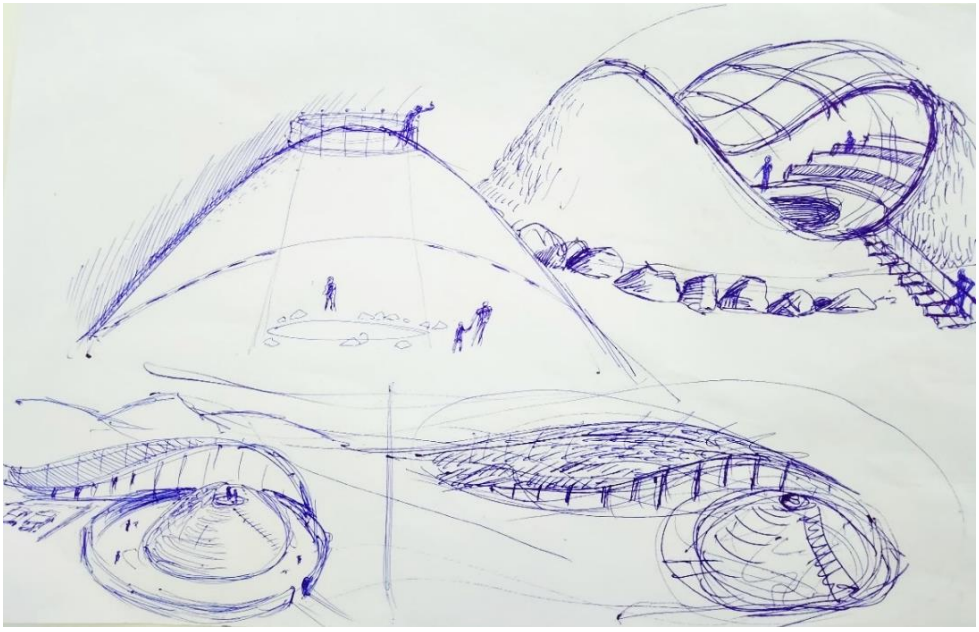


***Рис. 13**. Рабочие варианты экстерьера условного кургана-музея (эскизы)*

***Fig. 13**. Working versions of the exterior design for the conventional burial mound-museum (sketches)*

Заключение

Исследовав зарубежный и отечественный опыт музеефикации курганов, мы обозначили факторы, положительно влияющие на популярность этих курганов как объектов туризма. Определяющими факторами, по нашему мнению, являются: наличие на данной территории нескольких объектов культурного наследия, развитая рекреационная инфраструктура и транспортная связность с другими населенными пунктами и регионами. В Кабардино-Балкарии одной из наиболее перспективных территорий развития историко-этнографического туризма, на наш взгляд, является Черекское ущелье.

Во-первых, на данной территории находится большее количество разноплановых объектов (исторических, промышленных, рекреационных), а следовательно, есть возможность выбора. Это обстоятельство делает Черекское ущелье привлекательным для туристов и туроператоров.

Во-вторых, данная территория уже приобрела известность (в регионе и за его пределами) как зона рекреации, что в случае появления здесь музейных объектов обеспечит их посещаемость.

В-третьих, стабильная посещаемость обеспечивается также и небольшим расстоянием до столицы республики (27 км), которая остается главным туристическим хабом региона.

В-четвертых, популяризации расположенных в Черекском ущелье объектов исторического туризма будут способствовать наличие довольно развитой сети автодорог и регулярное транспортное сообщение с курортными и рекреационными объектами в Нальчике и других районах республики.

В-пятых, объекты культурного наследия расположены по обеим сторонам автодороги, причем часть из них в непосредственной близости от нее, что облегчает к ним доступ и предоставляет выбор (рис. 14).

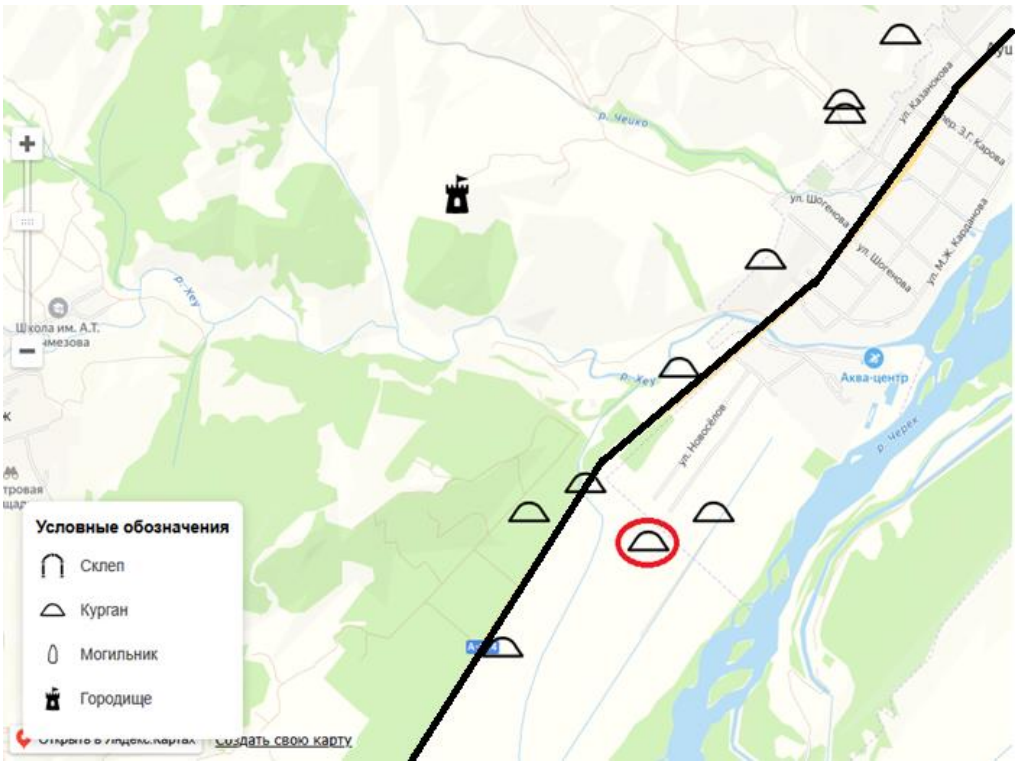


***Рис. 14**. Расположение памятников археологии в центральной и юго-западной части с. Аушигер (курган № 25 обведен овалом, автотрасса А-154 обозначена ломанной линией)*

***Fig. 14**. Location of archaeological sites in the central and southwestern parts of the rural settlement of Aushiger (mound No. 25 is outlined in an oval, the A-154 highway is indicated by a broken line)*

В-шестых, население данной местности сохраняет историческую память о происхождении того или иного археологического памятника. Это обстоятельство во многом должно обеспечить сохранность музеефицированных объектов.

Правовые и ряд экономических вопросов, напрямую связанных с музеефикацией памятников археологии, в данной статье не затрагивались, так как они должны стать предметом отдельных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Музейное дело России / Под ред. Каулен М. Е. (ответственный редактор), Коссовой И. М., Сундиевой А. А. М.: ВК, 2003. 614 с. EDN: RCBETV

2. *Фоменко В. А.* Древние и средневековые курганы Кабардино-Балкарии как часть культурно-исторического наследия // Вестник Кабардино-Балкарского института гуманитарных исследований. 2022. № 4-2(55). С. 7–19. DOI: 10.31007/2306-5826-2022-4-2-55-7-19

3. *Семендяев М. В.* Археологические памятники Константиновского плато // История и современность российской государственности в регионе КМВ: материалы конференции. Пятигорск, 2003. С. 93–96.

4. *Самоквасов Д. Я.* Могильные древности Пятигорского округа // Труды V Археологического съезда. Москва, 1887. 411 с. URL: https://ipt.nmu.org.ua/ua/student/literatura/05 (дата обращения: 10.09.2025)

5. *Веселовский Н. И.* Отчет о раскопках в Кубанской области в 1901 и 1902 гг. // Архив Института истории материальной культуры. Ф. I., 1901/103, 1902/93

6. *Веселовский Н. И.* Отчет о раскопках у Усть-Джегутинской // Отчеты Археологической комиссии за 1901 г. СПб., 1903.

7. *Мунчаев Р. М., Нечитайло А. Л.* Комплексы майкопской культуры в Усть-Джегутинском могильнике // Советская археология. М., 1966. № 3. С. 133–151. EDN: SIPGQV

8. *Гнедовский Б. В.* Методические рекомендации для подготовки предпроектной документации и проектирования музеев под открытым небом: история создания и общая методика. М., 1983. Ч. 1. 18 с.

9. *Фотий Л. А., Бабанская Г. Г., Мышастая Л. А., Ивановская Н. И.* Создание архитектурно-этнографических комплексов в музеях под открытым небом: метод. рекомендации. Л., 1985.

10. *Каулен М. Е.* Музеефикация историко-культурного наследия России. М.: Этерна, 2012. 432 с.

11. *Трейстер М. Ю.* Керамическая вьючная фляга из раннекочевнического погребения в кургане Темир в Южном Зауралье // Вестник древней истории. 2022. Т. 82. № 2. С. 419–439. DOI: 10.31857/S032103910014744-1

12. *Чугунов К. В., Парцингер Г., Наглер А.* Царский курган скифского времени Аржан-2 в Туве. Новосибирск: Издательство Института археологии и этнографии СО РАН, 2017. 493 с. URL: http://old.archaeology.nsc.ru/ru/publish/ipcbook/monografi/2017/arjan2_z.pdf (дата обращения: 23.09.2025)

13. *Гумелев В. Ю., Елистратов В. В., Юдин Т. М., Филиппов Д. А.* Скифы тувинские // Современные научные исследования и инновации. 2018. № 10 (90). С. 8. EDN: YRXKGL

14. *Загазежев Т. Р.* Историко-археологические памятники в селении Аушигер и его ближайших окрестностях // Вестник Института гуманитарных исследований Правительства КБР и КБНЦ РАН. 2011. Вып. 18. С. 50.

REFERENCES

1. *Muzejnoe delo Rossii* [Russian Museum business]. Edited by Kaulen M.E. (editor-in-chief), Kossova I.M., Sundieva A.A. Moscow: VK, 2003. 614 p. EDN: RCBETV. (In Russian)

2. Fomenko V.A. Ancient and medieval mounds of Kabardino-Balkaria as part of the cultural and historical heritage. *Vestnik Kabardino-Balkarskogo instituta gumanitarnyh issledovaniy* [Bulletin of the Kabardino-Balkarian Institute of Humanitarian Research]. 2022. No. 4-2(55). Pp. 7–19. DOI: 10.31007/2306-5826-2022-4-2-55-7-19. (In Russian)

3. Semendyaev M.V. Archaeological sites of the Konstantinovsky plateau. *Istoriya i sovremennost' rossiyskoy gosudarstvennosti v regione KMV* [History and modernity of Russian statehood in the KMV Region]: conference materials. Pyatigorsk, 2003. Pp. 93–96. (In Russian)

4. Samokvasov D.Ya. Grave Antiquities of the Pyatigorsk District. *Trudy V Arheologicheskogo s"ezda* [Proceedings of the V Archaeological Congress]. Moscow, 1887. 411 p. URL: https://ipt.nmu.org.ua/ua/student/literatura/05. (accessed 09/10/2025). (In Russian)

5. Veselovsky N.I. Report on excavations in the Kuban region in 1901 and 1902. *Arhiv Instituta istorii material'noy kul'tury* [Archive of the Institute of the History of Material Culture]. F. I., 1901/103, 1902/93. (In Russian)

6. Veselovsky N.I. Report on excavations at Ust-Dzhegutinskaya. *Otchety Arheologicheskoy komissii za 1901 g.* [Reports of the Archaeological Commission for 1901]. St. Petersburg, 1903. (In Russian)

7. Munchaev R.M., Nechitailo A.L. Complexes of the Maikop Culture in the Ust-Dzhegutinsky Burial Ground. *Sovetskaya arheologiya* [Soviet Archaeology]. Moscow, 1966. No. 3. Pp. 133–151. EDN: SIPGQV. (In Russian)

8. Gnedovsky B.V. *Metodicheskie rekomendacii dlya podgotovki predproektnoy dokumentacii i proektirovaniya muzeev pod otkrytym nebom: istoriya sozdaniya i obshchaya metodika* [Guidelines for the preparation of pre-project documentation and the design of open-air museums: history and general methodology]. Moscow, 1983. Part. 1. 18 p. (In Russian)

9. Fotiy L.A., Babanskaya G.G., Myshastaya L.A., Ivanovskaya N.I. *Sozdanie arhitekturno-etnograficheskih kompleksov v muzeyah pod otkrytym nebom: metod. rekomendacii* [Creating architectural and ethnographic complexes in open-air museums: Method. Recommendations]. L., 1985. (In Russian)

10. Kaulen M.E. *Muzeefikaciya istoriko-kul'turnogo naslediya Rossii* [Museumification of Russia's Historical and Cultural Heritage]. Moscow: Eterna, 2012. 432 p.

11. Treister M.Yu. Ceramic transport flask from the early nomadic burial in the Temir mound in South Trans-Urals. *Journal of Ancient History.* 2022. Vol. 82. No. 2. Pp. 419–439. DOI: 10.31857/S032103910014744-1. (In Russian)

12. Chugunov K.V., Partsinger G., Nagler A. *Carskiy kurgan skifskogo vremeni Arzhan-2 v Tuve* [The Scythian royal burial mound of Arzhan-2 in Tuva]. Novosibirsk: Izdatel'stvo instituta arheologii i etnografii SO RAN, 2017. 493 p. URL: http://old.archaeology.nsc.ru/ru/publish/ipcbook/monografi/2017/arjan2_z.pdf (accessed 09/23/2025). (In Russian)

13. Gumilev V.Yu., Elistratov V.V., Yudin T.M., Filippov D.A. The Tuvin Scythians. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii* [Modern Scientific Research and Innovations]. 2018. No. 10. P. 8. EDN: YRXKGL. (In Russian)

14. Zagazegev T.R. Historical and archaeological monuments in the village of Auschiger and its surroundings. *Vestnik Instituta gumanitarnyh issledovaniy Pravitel'stva KBR i KBNC RAN* [Bulletin of the Institute of Humanitarian Research of the Government of the Kabardino-Balkarian Republic and the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2011. No. 18. P. 50. (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Гукемух Ибрагим Халидович, канд. ист. наук, ст. науч. сотр., Центр естественно-научных методов в археологии, антропологии и археографии, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

IBRAGUK22@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0008-7908-6463, SPIN-код: 2415-2346

Information about the author

Ibragim Kh. Gukemukh, Candidate of Historical Sciences, Senior Researcher, Center for Natural Science Methods in Archaeology, Anthropology and Archeography, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

IBRAGUK22@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0008-7908-6463, SPIN-code: 2415-2346

ИСТОРИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 930 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-426-435
EDN: TBMOEZ

К вопросу о функциях Нальчикского окружного полицейского управления в последней трети XIX – начале XX века

И. М. Дабагова

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Статья посвящена исследованию основных направлений деятельности Нальчикского окружного полицейского управления в последней трети XIX – начале XX в. Новизна исследования заключается в постановке задач – до настоящего времени анализ функционала этого учреждения охраны общественного порядка не становился предметом специального изучения.

Цель исследования – выявление функций и определение объема Нальчикского окружного полицейского управления в последней трети XIX – начале XX в.

Материалы и методы исследования. В ходе работы использовались проблемно-хронологический (деление объекта исследования на ряд узких проблем, каждая из которых рассматривается в хронологической последовательности) и сравнительно-исторический (сравнение различных авторских подходов, выявление их общих и особенных характеристик) методы исторического исследования и метод перспективного анализа (определение возможных векторов дальнейшего исследования темы).

Результаты. На основе изучения делопроизводственной документации подробно проанализированы основные направления деятельности Нальчикского окружного полицейского управления, в том числе: взаимодействие с другими учреждениями, охрана общественного порядка, составление послужных списков служащих управления Нальчикского округа и посемейных списков населенных пунктов региона, ссылка преступников в исправительные арестантские отделения, содержание на гауптвахтах осужденных по решению судов к лишению свободы представителей местного населения и т.п.

Выводы. Сделан вывод, что полицейское управление в рассматриваемое время занималось регистрацией и расследованием преступлений, осуществляло контроль за деятельностью 1-й сотни Терской постоянной милиции, регулировало земельные вопросы, осуществляло налоговый контроль и т.п.

Ключевые слова: Терская область, Нальчикский округ, кабардинцы, балкарцы, Нальчикское окружное полицейское управление, правоохранительные органы, общественный порядок

Поступила 05.10.2025, одобрена после рецензирования 05.11.2025, принята к публикации 12.11.2025

Для цитирования. Дабагова И. М. К вопросу о функциях Нальчикского окружного полицейского управления в последней трети XIX – начале XX века // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 426–435. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-426-435

© Дабагова И. М., 2025

Original article

On functions of Nalchik district police department in last third of 19th and early 20th centuries

I.M. Dabagova

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

Abstract. This article examines the main activities of the Nalchik District Police Department in the last third of the 19th and early 20th centuries. The novelty of this research lies in its focus on the formulation of specific tasks: until now, the functionality of this institution for maintaining public order has not been a subject of special attention.

Aim. The study is to identify the functions and determine the scope of the Nalchik District Police Department in the last third of the 19th – early 20th centuries.

Research materials and methods. We used problem-chronological and comparative-historical research methods, dividing the research object into a series of narrow problems that are examined in chronological order, and comparing various authorial approaches to identify their common and specific characteristics; we also conducted prospective analysis to identify possible vectors for future research on the topic.

Results. Based on a review of the records, a detailed analysis was conducted of the main activities of the Nalchik District Police Department, including: interaction with other agencies, maintaining public order among the local population, compiling service records of Nalchik District police officers and family lists of the region's settlements, deporting criminals to correctional facilities, and arresting local residents sentenced to imprisonment in guardhouses.

Conclusions. It has been concluded that during the relevant period, the police department was responsible for recording and investigating crimes, monitoring the activities of the 1st Hundred of the Terek Permanent Militia, resolving land disputes, carrying out tax control, and other related matters.

Keywords: Terek Region, Nalchik District, Kabardians, Balkars, Nalchik District Police Department, law enforcement agencies, public order

Submitted 05.10.2025, approved after reviewing 05.11.2025, accepted for publication 12.11.2025

For citation. Dabagova I.M. On functions of Nalchik district police department in last third of 19th and early 20th centuries. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 426–435. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-426-435

Введение

Изучение особенностей становления и развития учреждений охраны общественного порядка в Нальчикском округе в последней трети XIX – начале XX в. представляется актуальной проблемой современного кавказоведения. В этом плане определенный интерес представляет Нальчикское окружное полицейское управление – специализированное учреждение, наделенное некоторыми правоохранительными функциями в отношении проживавшего в округе кабардинского и балкарского населения. Выявление функций и определение объема Нальчикского окружного полицейского управления с опорой на делопроизводственную документацию в рамках исторического институционализма дают возможность установить некоторые особенности становления и развития российского аппарата государства на Центральном Кавказе, формирования правоохранительной системы в регионе, интеграции его населения в политико-правовое пространство России.

Некоторые аспекты функционирования органов охраны общественного порядка на Центральном Кавказе в дореволюционный период затрагивались в трудах З. Х. Ибрагимовой [1],

И. Л. Бабич [2], М. Г. Кулешина [3; 4], К. А. Прокудина [5; 6], А. Х. Абазова [7; 8; 9; 10], И. С. Пазова [11], Т. К. Макоева [12], Н. П. Голяндина [13; 14], А. В. Казакова [15], П. А. Кузьминова [16], З. Ж. Глашевой [17], И. Г. Алмазова [18], А. Т. Урушадзе [19], З. Р. Болиева [20], Л. Ш. Мачукаевой [21], С. Ф. Шатилова [22], А. Д. Осмаева [23], Д. Б. Оздоевой [14], А. А. Лоншакова [25] и в некоторых обобщающих работах по истории и этнографии народов Северного Кавказа [26; 27]. Однако вопросы функционирования нальчикского окружного полицейского управления комплексного исследования не получили. При этом такое исследование возможно с опорой на делопроизводственные документы фондов управления Нальчикского округа и Нальчикского окружного полицейского управления, хранящиеся в Управлении Центрального государственного архива Архивной службы КБР (г. Нальчик).

Целью исследования выступают выявление функций и определение объема Нальчикского окружного полицейского управления в последней трети XIX – начале XX в. Реализация этой цели предполагает решение следующих *задач*: изучение делопроизводственной документации Нальчикского окружного полицейского управления, в том числе и во взаимодействии с другими учреждениями; характеристика отдельных направлений его деятельности по охране общественного порядка, составлению послужных списков служащих управления Нальчикского округа и посемейных списков населенных пунктов региона, ссылке преступников в исправительные арестантские отделения, содержанию на гауптвахтах осужденных по решению судов к лишению свободы представителей местного населения и т.п.

Основная часть

В последней трети XIX – начале XX в. Нальчикское окружное полицейское управление возглавлял старший помощник начальника округа в чине подполковника [28, оп. 1, ед. хр. 3, т. 1, л. 271]. Анализ материалов по деятельности Нальчикского окружного полицейского управления в последней трети XIX – начале XX в. показывает, что оно учитывало факты краж имущества и грабежей у жителей округа [28, оп. 1, ед. хр. 3], отслеживало состояние 1-й сотни Терской постоянной милиции [28, оп. 1, ед. хр. 4], принимало участие в решении вопросов о выделении в пользование казенных участков земли отставным служащим и военным [28, оп. 1, ед. хр. 8], а также пахотной земли некоторым группам населения округа (например, горским евреям [28, оп. 1, ед. хр. 12]), вело учет жителей округа, имевших налоговые задолженности [28, оп. 1, ед. хр. 9; 64], и взыскивало с них денежные сборы и налоги [28, оп. 1, ед. хр. 10], вело реестры о недоимках [28, оп. 1, ед. хр. 61], составляло описи окладных листов на представителей местного населения и частных землевладельцев в округе [28, оп. 1, ед. хр. 57]. В 1886 г. Нальчикское окружное полицейское управление отвечало и за составление посемейных списков селений округа.

Также Нальчикское окружное полицейское управление отвечало за ведение послужных списков служащих Нальчикского округа [28, оп. 2, ед. хр. 1] (начальника округа, его старшего и младшего помощников, старшего и младшего делопроизводителей окружного управления, состоящего при окружном управлении переводчика, начальников участков Нальчикского округа) [28, оп. 2, ед. хр. 1]. В первой половине 80-х гг. XIX в. (когда кабардинское и балкарское население входило в состав Пятигорского округа) окружные полицейские управления отвечали за сбор, учет и движение денежных средств, собранных от штрафов с населения подведомственной территории. Начальник округа периодически направлял в канцелярию начальника Терской области шнуровые книги для записи прихода и расхода собранных средств.

В это время Нальчикское окружное полицейское управление взаимодействовало с канцелярией начальника Терской области [28, оп. 1, ед. хр. 3, т. 1, л. 67], Нальчикским горским словесным судом [28, оп. 1, ед. хр. 3, т. 1, л. 222], Аргунским окружным полицейским управлением [28, оп. 1, ед. хр. 3, т. 1, л. 81], Грозненским окружным полицейским управлением [28, оп. 1, ед. хр. 3, т. 1, л. 215], Александровским уездным полицейским управлением Ставропольской губернии [28, оп. 1, ед. хр. 3, т. 1, л. 47, 112], Георгиевским полицейским приставом [28, оп. 1, ед. хр. 3, т. 2, л. 308], Пятигорским полицейским приставом [28,

оп. 1, ед. хр. 3, т. 2, л. 308], Пятигорским окружным полицейским управлением [28, оп. 1, ед. хр. 10, л. 67], Баталпашинским уездным полицейским управлением [28, оп. 1, ед. хр. 3, т. 2, л. 351], Екатеринодарским окружным полицейским управлением [28, оп. 1, ед. хр. 10, л. 60], Моздокским окружным полицейским управлением [28, оп. 1, ед. хр. 10, л. 65].

В 1885 г. Нальчикское окружное полицейское управление состояло в переписке с судебным следователем Ставропольского окружного суда по некоторым вопросам совершения преступлений жителями Нальчикского округа (например, о побеге из тюрьмы [29, оп. 1, ед. хр. 93, л. 2]). По вопросам розыска беглецов из тюрьмы Нальчикское окружное полицейское управление взаимодействовало с приставами административных участков округа (приставами) посредством рассылки обязательных для исполнения предписаний [29, оп. 1, ед. хр. 93, л. 3–3 об.; 29, оп. 1, ед. хр. 115, т. 2, л. 1]. В свою очередь участковые начальники (приставы) направляли в Нальчикское окружное полицейское управление рапорты [29, оп. 1, ед. хр. 93, л. 4]. В некоторых случаях приставы участков рапортовали в Нальчикское окружное полицейское управление о сообщении под расписку местным жителям решений высшего начальства [29, оп. 1, ед. хр. 38, л. 52]. Если распоряжение об объявлении информации местным жителям транслировалось через Терское областное правление, то по его исполнении Нальчикское окружное полицейское управление напрямую рапортовало ему об исполнении предписания [29, оп. 1, ед. хр. 38, л. 53]. В свою очередь приставы (участковые начальники) для исполнения поступивших из окружного полицейского управления предписаний делегировали их исполнение сельским (аульным) старшим, в населенных пунктах которых проживали фигуранты предписаний.

В середине 80-х гг. XIX в. Нальчикское окружное полицейское управление было организацией, ответственной за сбор налогов с населения казачьих станиц Нальчикского округа [28, оп. 1, ед. хр. 10, л. 1]. Для этого, как правило, Пятигорское окружное казначейство направляло в управление соответствующие отношения с просьбами вручить налоговые уведомления плательщикам и распорядиться в отношении соответствующих должностных лиц о взыскании денег по ним [28, оп. 1, ед. хр. 10, л. 1]. В этом же году в полицейское управление Нальчикского округа поступали и документы из Владикавказского окружного казначейства [28, оп. 1, ед. хр. 10, л. 56]. Такие документы в полицейское управление приходили в отношении колонии Александровской [28, оп. 1, ед. хр. 10, л. 4]. Также Нальчикское полицейское управление отвечало за сбор недоимок с населения по казенным налогам и сборам. Для этого Пятигорское окружное казначейство направляло в управление недоимочные ведомости с просьбой распорядиться в отношении соответствующих учреждений или должностных лиц о взыскании недоимок с должников [28, оп. 1, ед. хр. 10, л. 14]. Документ назывался «Подробный реестр о недоимках к 1885 г., числящихся по Нальчикскому округу и зависящих взысканием от Нальчикской окружной полиции» [28, оп. 1, ед. хр. 10, л. 16]. В то время окружные казначейства взаимодействовали, в свою очередь, по этим вопросам со Ставропольской казенной палатой [28, оп. 1, ед. хр. 10, л. 18]. Кроме того, по некоторым из этих вопросов Нальчикское полицейское управление взаимодействовало напрямую со Ставропольской казенной палатой: управление отправляло в палату рапорты, а палата в управление – предписания [28, оп. 1, ед. хр. 10, л. 29, 33]. Кроме того, в делопроизводственной документации этого времени отложились и краткие реестры Моздокского местного казначейства о недоимках, числящихся по Моздокскому казначейству и зависящих взысканием от Нальчикского окружного полицейского управления [28, оп. 1, ед. хр. 10, л. 21]. В документе приводились сведения о сборах по поземельному налогу, губернскому земскому сбору, налогу с недвижимого имущества, налогу с продовольственного капитала, подушному сбору, оброчной подати в отношении жителей местечка Эдиссия, колонии Кановой, горского населения Нальчикского округа Терской области [28, оп. 1, ед. хр. 10, л. 21–25]. Старшины селений и начальники участков Нальчикского округа также взаимодействовали с полицейским управлением по этим вопросам [28, оп. 1, ед. хр. 10, л. 37].

В середине 80-х гг. XIX в. Терское областное правление состояло в переписке с Нальчикским окружным полицейским управлением по вопросам ссылки преступников в исправительные арестантские отделения [29, оп. 1, ед. хр. 111, л. 1]. В переписке обсуждались вопросы направления в полицейское управление на исполнение утвержденных областным правлением общественных приговоров съездов доверенных или общественных приговоров отдельных сельских обществ Нальчикского округа о высылке из округа некоторых жителей населенных пунктов за проступки и преступления [29, оп. 1, ед. хр. 111, л. 1] или заключении таковых под стражу на гауптвахту [29, оп. 1, ед. хр. 111, л. 1]. Примечательно, что в большинстве случаев по такого рода решениям содержание преступников в местах заключения обеспечивалось за счет средств государственной казны [29, оп. 1, ед. хр. 111, л. 1 об.].

В начале 90-х гг. XIX в. Нальчикское полицейское управление взаимодействовало с Терским областным правлением по вопросам установления полицейского надзора над лицами, совершившими преступления [29, оп. 1, ед. хр. 207, л. 1]. Причем такой контроль устанавливался как над российскими подданными, так и над подданными других стран, временно находившимися на территории Нальчикского округа [29, оп. 1, ед. хр. 207, л. 1]. Кроме того, Нальчикское окружное полицейское управление по распоряжению Терского областного правления отвечало за снабжение содержащихся на гауптвахте арестантов казенной одеждой (в случае необходимости) и за организацию их этапирования к местам отбывания наказания в виде тюремного заключения [29, оп. 1, ед. хр. 111, л. 3-3 об., 9 об.]. Также управление отвечало и за «снятие» казенной одежды с лиц, отбывших наказание в виде лишения свободы или заключения на гауптвахте, и передачу его в ближайшее тюремное отделение для записи в приход [29, оп. 1, ед. хр. 110, л. 7].

Нальчикское окружное полицейское управление отвечало также за проведение медицинских освидетельствований и составление актов по ним в отношении приговоренных по решению судов к заключению на гауптвахте местных жителей [29, оп. 1, ед. хр. 111, л. 6, 32, 35]. Результаты медицинских освидетельствований отражались в специальных актах, составляемых окружным врачом в присутствии представителей полицейского управления [29, оп. 1, ед. хр. 111, л. 12, 13]. Примечательно, что такие решения в то время принимались и на основании приговоров Нальчикского горского словесного суда в отношении представителей кабардинского и балкарского населения округа [29, оп. 1, ед. хр. 111, л. 6]. Также горский словесный суд состоял в переписке с окружным полицейским управлением по разным вопросам содержания под стражей местных жителей, получивших сроки за совершение преступлений [29, оп. 1, ед. хр. 111, л. 27].

Кроме того, Нальчикское окружное полицейское управление по распоряжению Терского областного правления выдавало акты (проходные билеты) на право свободного перемещения к месту жительства лицам, которые освобождались после отбывания срока заключения на гауптвахте за совершенные преступления [29, оп. 1, ед. хр. 111, л. 17–17 об., 42–42 об.]. Управление отвечало за учет жителей округа, которые отбыли наказание в виде лишения свободы, после чего вернулись на родину. Например, в предписании Терского областного правления в Нальчикское полицейское управление от 5 сентября 1886 г. сообщалось о том, что житель округа казак К. отбыл наказание в виде лишения свободы в Херсонском исправительном арестантском отделении, получил проходной билет для следования в Нальчикский округ и был обязан «по прибытии на родину явиться в окружное управление и предъявить свой билет для поступления с ним по 48 ст. уложения о наказаниях» [29, оп. 1, ед. хр. 111, л. 42–42 об.]. В свою очередь, на основании указанной статьи документа полицейскому управлению предписывалось передать освободившегося на определенный срок под надзор общества его населенного пункта [29, оп. 1, ед. хр. 111, л. 42 об.]. Ответственным за выдачу проходных свидетельств в Нальчикском округе был старший помощник Нальчикского округа, ответственный за работу Нальчикского окружного полицей-

ского управления [29, оп. 1, ед. хр. 110, л. 51]. Проходное свидетельство содержало информацию о структуре, которая его выдала, краткие биографические данные лица, в отношении которого оно было выдано, указывались отправной пункт и населенный пункт его прибытия, срок следования по маршруту, обязанность лица предъявить свидетельство в пункте прибытия, отметку о переходе в статус недействительного документа после его предъявления в пункте прибытия [29, оп. 1, ед. хр. 110, л. 51].

Нальчикское окружное полицейское управление отвечало за содержание на гауптвахтах представителей местного населения, осужденных по решению Нальчикского горского словесного суда к лишению свободы [29, оп. 1, ед. хр. 111, л. 61]. Для обеспечения исполнения решений Горского словесного суда Нальчикское окружное полицейское управление предписывало начальникам участков доставлять жителей подведомственных им территорий в сл. Нальчик для заключения на гауптвахту [29, оп. 1, ед. хр. 111, л. 52]. Кроме того, управление отвечало за полицейский надзор за лицами, которые отбыли наказание за преступления в виде тюремного заключения или заключения на гауптвахте и вернулись в места постоянного жительства [29, оп. 1, ед. хр. 113, л. 1]. По этой части окружное полицейское управление постоянно взаимодействовало с Терским областным правлением.

В начале XX в. Нальчикское окружное полицейское управление продолжало выполнять функции по наблюдению за лицами, находившимися под надзором полиции [29, оп. 1, ед. хр. 737, л. 1].

Заключение

Таким образом, анализ документов показывает, что руководителем Нальчикского окружного полицейского управления был старший помощник начальника Нальчикского округа. При этом руководитель полицейского управления в пределах своей компетенции состоял в прямой переписке (получал предписания, направлял рапорты) с Терским областным правлением. Изучение документов, относящихся к работе Нальчикского окружного полицейского управления в период с последней трети XIX века до начала XX века, показывает, что в его функционал входила регистрация преступлений (фиксация случаев краж и грабежей, совершенных в округе), контроль за милицией (надзор за деятельностью 1-й сотни Терской постоянной милиции), регулирование земельных вопросов (решение вопросов о предоставлении казенных земельных участков отставным служащим и военным, а также пахотной земли различным группам населения, включая горских евреев), налоговый контроль (учет жителей, имевших задолженности по налогам, и взыскание этих долгов), финансовая отчетность (составление реестров недоимок, а также описей окладных листов для местных жителей и частных землевладельцев). Причем эти действия осуществлялись как в отношении горского (коренного) населения региона, так и в отношении негорского (некоренного). В целом изучение функций Нальчикского окружного полицейского управления в последней трети XIX – начале XX в. имеет дальнейшие перспективы для исследования истории становления и развития российского аппарата государства на Центральном Кавказе, определения его места в системе правоохранительных органов Терской области, особенностей включения коренного населения региона в политико-правовое пространство России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ибрагимова З. Х.* Мир чеченцев. XIX век. М.: ПРОБЕЛ-2000, 2007. 1024 с.

2. *Бабич И. Л.* Деятельность Российского государства по включению горцев Северного Кавказа в общероссийское культурное пространство в конце XVIII – начале XX века // Научная мысль Кавказа. 2008. № 4(56). С. 41–49. EDN: KVSKFP

3. *Кулешин М. Г.* Горская милиция на страже порядка в Терской области во второй половине XIX – начале XX в. // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: История России. 2009. № 1. С. 90–94. EDN: JWTTFF

4. *Кулешин М. Г.* Горцы Терской области на гражданской и военной службе Российской Империи во второй половине XIX в. // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. 2009. № 4 (72). С. 236–239. EDN: LRHRON

5. *Прокудин К. А.* Горские народы Северного Кавказа на государственной службе в Российской Империи (XIX век). Санкт-Петербург: Фонд развития конфликтологии, 2018. 290 с.

6. *Прокудин К. А., Болотова Т. П.* Создание постоянной горской милиции: путь к интеграции северокавказских народов в социально-политическую и общественную жизнь Российской империи в XIX в. // Социально-гуманитарные знания. 2010. № 12. С. 12–23.

7. *Абазов А. Х.* Моздокский верхний пограничный суд в системе органов власти на Центральном Кавказе в 1793–1822 годах. Нальчик: Принт Центр, 2024. 216 с.

8. *Абазов А. Х., Нахушева И. Р.* Приставские управления на Северном Кавказе в последней трети XVIII – первой половине XIX века: эволюция деятельности // Научный диалог. 2020. № 8. С. 287–300. DOI: 10.24224/2227-1295-2020-8-287-300

9. *Абазов А. Х.* Формирование многоуровневой судебной системы в Кабарде в конце XVIII – начале XX в.: этапы, особенности // Caucasica: Труды Института политических и социальных исследований Черноморско-Каспийского региона. Т. 1. М.: Русская панорама, 2011. С. 93–108.

10. *Абазов А. Х.* Горские словесные суды Терской и Кубанской областей в 1871–1918 гг. // История государства и права. 2015. № 23. С. 58–63. EDN: UYVCCP

11. *Пазов И. С.* История становления органов общественного правопорядка в Кабарде и Балкарии (вторая половина XVIII века – первая половина XIX века) // Право и управление. 2024. № 10. С. 358–363. DOI: 10.24412/2224-9133-2024-10-358-363.

12. *Макоев Т. К.* Правоохранительные органы Терской области как предшественники частей и подразделений Росгвардии (по материалам газеты «Терские ведомости») // Известия СОИГСИ. 2023. № 47(86). С. 150–177. DOI: 10.46698/VNC.2023.86.47.004.

13. *Голяндин Н. П.* Создание и развитие правоохранительной системы (полиции) в Кабарде и Балкарии в середине XIX – начале XX века // «Черные дыры» в российском законодательстве. 2016. № 5. С. 12–14. EDN: WZXNTR

14. *Голяндин Н. П., Заруцкий О. В., Кузьмина С. В., Шипилов В. И.* История милиции Кабардино-Балкарии: этапы создания, становления и развития. Нальчик: Эль-Фа, 2004. 217 с.

15. *Казаков А. В.* Адыги (черкесы) на российской военной службе. Воеводы и офицеры. Середина XVI – начало XX в.: биографический справочник. Нальчик: Республиканский полиграфкомбинат им. Революции 1905 г., 2006. 405 с.

16. *Кузьминов П. А.* Реформа сословно-поземельных отношений у народов Северного Кавказа в XIX веке: от «горского общества» к обществу крестьянскому // Электронный журнал «Кавказология». 2018. № 1. С. 80–113. DOI: 10.31143/2542-212X-2018-1-80-113

17. *Глашева З. Ж.* Горская аристократия в составе Императорской армии // Военно-исторический журнал. 2018. № 10. С. 81–85. EDN: UZUXKT

18. *Алмазов И. Г.* Новые именные списки ингушских офицеров Российской Императорской армии (краткие сведения по материалам одного архивного дела) // Вестник Ингушского научно-исследовательского института гуманитарных наук им. Ч. Э. Ахриева. 2018. № 2. С. 173–176. EDN: YTHZGP

19. *Урушадзе А. Т.* Горец на русской службе в годы Кавказской войны (1801–1864 гг.): посредник, маргинал, предатель // Журнал фронтирных исследований. 2020. Т. 5. № 4(20). С. 127–151. DOI: 10.46539/jfs.v5i4.251

20. *Болиев З. Р.* Полиция Северной Осетии. История и современность: 300-летию полиции России посвящается. Владикавказ: ИПП им. В. А. Гассиева, 2021. 216 с.

21. *Мачукаева Л. Ш.* Горцы Северного Кавказа на службе в российской армии (вторая половина XIX – начало XX вв.) // Вестник Академии наук Чеченской Республики. 2020. № 1(48). С. 56–65. DOI: 10.25744/vestnik.2020.48.1.009

22. *Шатилов С. Ф.* На службе Отечеству: горцы Северного Кавказа в военных кампаниях России в XIX в. // Современные проблемы гуманитарных и общественных наук. 2020. № 5(32). С. 218–225. EDN SPJWAC

23. *Осмаев А. Д.* Чеченцы в офицерском корпусе Российской императорской армии // Вестник КНИИ РАН. Серия: Социальные и гуманитарные науки. 2024. № 2(9). С. 39–43. DOI: 10.34824/VKNIIRAN.GUMNAUKI.2024.9.2.004

24. *Оздоева Д. Б.* Ингушский конный полк в Русской императорской армии // Современные научные исследования: сборник материалов VIII Международной очно-заочной научно-практической конференции, Москва, 27 мая 2024 года. М.: Научный центр «Издание», 2024. С. 79–81.

25. *Лоншаков А. А.* Кавказские горские милиционные формирования в механизме государства Российской империи // Наука, технологии, инновации в эпоху глобальных трансформаций: сборник статей IV Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 12 декабря 2024 года. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2024. С. 241–245.

26. Века совместной истории: народы Кабардино-Балкарии в российском цивилизационном процессе (1557–1917 гг.). Нальчик: ИГИ КБНЦ РАН, 2017. 544 с.

27. Адыги: Адыгейцы. Кабардинцы. Черкесы. Шапсуги. Серия «Народы и культуры». М.: Наука, 2022. 870 с.

28. Управление Центрального государственного архива Архивной службы Кабардино-Балкарской Республики. Ф. И-9 «Нальчикское окружное полицейское управление».

29. Управление Центрального государственного архива Архивной службы Кабардино-Балкарской Республики. Ф. И-6 «Управление Нальчикского округа».

REFERENCES

1. Ibragimova Z.Kh. The World of the Chechens. 19th Century. Moscow: PROBEL-2000, 2007. 1024 p. (In Russian)

2. Babich I.L. The Russian State's Activities to Include the Highlanders of the North Caucasus in the All-Russian Cultural Space in the Late 18th and Early 20th Centuries. *Scientific Thought of the Caucasus*. 2008. No. 4(56). Pp. 41–49. EDN: KVSKFP. (In Russian)

3. Kuleshin M.G. The Mountain police on guard of order in the Tersk region in the second half of the 19th – early 20th century. *RUDN Journal of Russian History*. 2009. No. 1. Pp. 90–94. EDN: JWTTFF. (In Russian)

4. Kuleshin M.G. Highlanders of the Terek region in the civil and military service of the Russian Empire in the second half of the 19th century. *Tambov University Review: Series Humanities*. 2009. No. 4 (72). Pp. 236–239. EDN: LRHRON. (In Russian)

5. Prokudin K.A. The mountain peoples of the North Caucasus in public service in the Russian Empire (XIX century). Saint Petersburg: Foundation for the Development of Conflict, 2018. 290 p. (In Russian)

6. Prokudin K.A., Bolotova T.P. The creation of a permanent mountain militia: a path to the integration of the North Caucasian peoples into the socio-political and public life of the Russian Empire in the 19th century. *Social and Humanitarian Knowledge*, 2010. No. 12. Pp. 12–23. (In Russian)

7. Abazov A.Kh. Mozdok Upper Border Court in the system of authorities in the Central Caucasus in 1793-1822. Nalchik: Publishing House Print Center, 2024. 216 p. (In Russian)

8. Abazov A.Kh., Nakhusheva I.R. Bailiff offices in the North Caucasus in the last third of the XVIII – first half of the XIX century: the evolution of activity. *Scientific Dialogue*. 2020. No. 8. Pp. 287–300. DOI: 10.24224/2227-1295-2020-8-287-300. (In Russian)

9. Abazov A.Kh. Formation of a multi-level judicial system in Kabarda in the late 18th and early 20th centuries: stages and features. *Caucasica: Proceedings of the Institute of Political and Social Research in the Black Sea-Caspian Region*. Vol. 1. Moscow: Russkaya Panorama, 2011. Pp. 93–108. (In Russian)

10. Abazov A.Kh. Mountain verbal courts of the Terek and Kuban regions in 1871–1918. *History of State and Law*. 2015. No. 23. Pp. 58–63. EDN: UYVCCP. (In Russian)

11. Pazov I.S. The history of the formation of public law enforcement agencies in Kabarda and Balkaria (Second half of the 18th century – first half of the 19th century). *Law and Administration.* 2024. No. 10. Pp. 358–363. DOI: 10.24412/2224-9133-2024-10-358-363. (In Russian)

12. Makoyev T.K. Law Enforcement agencies of the Terek Region as predecessors of the Rosgvardia units and subdivisions (Based on the Terek Vedomosti Newspaper). *Izvestiya SOIGSI*. 2023. No. 47(86). Pp. 150–177. DOI: 10.46698/VNC.2023.86.47.004. (In Russian)

13. Golyandin N.P. The creation and development of the law enforcement system (police) in Kabarda and Balkaria in the mid-19th and early 20th centuries. *Black Holes in Russian Legislation*. 2016. No. 5. Pp. 12–14. EDN: WZXNTR. (In Russian)

14. Golyandin N.P., Zarutsky O.V., Kuzmina S.V., Shipilov V.I. History of the Kabardino-Balkarian police: stages of creation, formation, and development. Nalchik: El-Fa, 2004. 217 p. (In Russian)

15. Kazakov A.V. *Adygi (cherkesy) na rossiyskoy voyennoy sluzhbe. Voyevody i ofitsery. Seredina XVI – nachalo XX v.: biograficheskiy spravochnik* [The Adygs (Circassians) in the Russian military service, military leaders and officers. Mid-XVI-early XX century: biographical reference book]. Nalchik: Republican Polygraph Plant named after Revolutions of 1905, 2006. 405 p. (In Russian)

16. Kuzminov P.A. The reform of social and land relations among the peoples of the North Caucasus in the 19th century: from the "mountain society" to the peasant society. *Electronic Journal* "*Caucasology*". 2018. No. 1. Pp. 80–113. DOI: 10.31143/2542-212X-2018-1-80-113. (In Russian)

17. Glasheva Z.Zh. Mountain aristocracy as part of the imperial army. *Military History Magazine*. 2018. No. 10. Pp. 81–85. EDN: UZUXKT. (In Russian)

18. Almazov I.G. New lists of Ingush officers of the Russian imperial army (brief information based on one archival file). *Vestnik Ingushskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gumanitarnyh nauk im. Ch.E. Ahrieva* [Bulletin of the Ingush Research Institute of Humanities named after Ch.E. Akhriev]. 2018. No. 2. Pp. 173–176. EDN: YTHZGP. (In Russian)

19. Urushadze A.T. The highlander in the Russian service during the Caucasian War (1801–1864): mediator, outsider, and traitor. *Journal of Frontier Studies*. 2020. Vol. 5. No. 4(20). Pp. 127–151. DOI: 10.46539/jfs.v5i4.251. (In Russian)

20. Boliev Z.R. Police of North Ossetia. History and modernity: dedicated to the 300th anniversary of the Russian police. Vladikavkaz: V.A. Gassiev Institute of Printing, 2021. 216 p. (In Russian)

21. Machukaeva L.Sh. Highlanders of the North Caucasus in the service of the Russian army (the second half of the XIX – early XX centuries.)). *Bulletin of the Academy of Sciences of the Chechen Republic*. 2020. No. 1(48). Pp. 56–65. DOI: 10.25744/vestnik.2020.48.1.009. (In Russian)

22. Shatilov S.F. In the service of the fatherland: The highlanders of the North Caucasus in Russia's military campaigns in the 19th century. *Modern Problems of the Humanities and Social Sciences*. 2020. No. 5(32). Pp. 218–225. EDN SPJWAC. (In Russian)

23. Osmayev A.D. Chechens in the officer corps of the Russian Imperial army. *Bulletin of CI RAS. Series: Social and Human Sciences*. 2024. No. 2(9). Pp. 39–43. DOI: 10.34824/VKNIIRAN.GUMNAUKI.2024.9.2.004. (In Russian)

24. Ozdoeva D.B. The Ingush cavalry regiment in the Russian Imperial Army. *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya: sbornik materialov VIII Mezhdunarodnoy ochno-zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern Scientific Research: Collection of Materials of the 8th International Part-Time Scientific and Practical Conference], Moscow, May 27, 2024. Moscow: Nauchnyy tsentr "Izdaniye", 2024. Pp. 79–81. (In Russian)

25. Lonshakov A.A. Caucasian mountain militia formations in the mechanism of the Russian empire state. *Nauka, tekhnologii, innovatsii v epokhu global'nykh transformatsiy: sbornik statey IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Science, Technology, and Innovation in the Era of Global Transformations: Collection of Articles from the IV International Scientific and Practical Conference]. Petrozavodsk, December 12, 2024. Petrozavodsk: Mezhdunarodnyy tsentr nauchnogo partnerstva "Novaya Nauka", 2024. Pp. 241–245. (In Russian)

26. *Veka sovmestnoy istorii: narody Kabardino-Balkarii v rossiyskom tsivilizatsionnom protsesse (1557–1917 gg.)* [Centuries of shared history: the peoples of Kabardino-Balkaria in the Russian civilizational process (1557–1917)]. Nalchik: IGI KBSC RAS, 2017. 544 p. (In Russian)

27. *Adygi: Adygeycy. Kabardincy. Cherkesy. Shapsugi* [Adygs: The Adygeans. Kabardians. Circassian. Shapsugs]. Seriya "Narody i kul'tury". Moscow: Nauka, 2022. 870 p. (In Russian)

28. *Upravlenie Central'nogo gosudarstvennogo arhiva Arhivnoy sluzhby Kabardino-Balkarskoy Respubliki* [Department of the Central State Archive of the Archival Service of the Kabardino-Balkarian Republic]. F. I-9 "Nalchik District Police Department". (In Russian)

29. *Upravlenie Central'nogo gosudarstvennogo arhiva Arhivnoy sluzhby Kabardino-Balkarskoy Respubliki* [Department of the Central State Archive of the Archival Service of the Kabardino-Balkarian Republic]. F. I-6 "Nalchik District Department". (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed with no external funding.

Информация об авторе

Дабагова Инна Мухамедовна, аспирант Научно-образовательного центра, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
dabagova@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0006-4074-4583

Information about the author

Inna M. Dabagova, Postgraduate Student at the Scientific and Educational Center, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
dabagova@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0006-4074-4583

ИСТОРИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 902/904 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-436-443
EDN: TXKGIG

Петроглифы на горе Букша

Ж. В. Кагазежев[1, 2]

[1]Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2
[2]Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х. М. Бербекова
360004, Россия, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173

Аннотация. Статья посвящена открытию и введению в научный оборот наскальных изображений, обнаруженных на горе Букша в Республике Адыгея. Петроглифы представляют собой вырезанные на скальной породе знаки различной геометрической формы, расположенные в верхней части горы. Наскальные изображения на горе Букша уникальны, хотя частично имеют сходство с ранее обнаруженными петроглифами. Открытие и изучение петроглифов на горе Букша – новая страница в историографии изучения древнего наскального искусства. Оно существенно расширяет географию распространения наскальных петроглифов на территории Северного Кавказа. Приведенные факты обусловливают актуальность и новизну рассматриваемой темы исследования. Нахождение петроглифов Букши вблизи важного древнего исторического района, где сосредоточены дольмены и объекты культуры Мешоко, придает особую важность их исследованию и определению хронологии появления. Несомненно, более тщательное исследование смыслового значения наскальных изображений на горе Букша позволит существенно развить и обогатить изучение древней культуры региона. Указанный научный аспект требует более детальной проработки в будущем.

Цель статьи – внедрение в исследовательское пространство недавно открытых петроглифов на горе Букша, которые представляют собой ценный материал для изучения древнего наскального искусства Северного Кавказа.

Ключевые слова: гора Букша, петроглифы, наскальные вырезы, известные знаки, древний исторический регион, дольмены, Мешоко

Поступила 07.11.2025, одобрена после рецензирования 28.11.2025, принята к публикации 08.12.2025

Для цитирования. Кагазежев Ж. В. Петроглифы на горе Букша // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 436–443. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-436-443

Original article

Petroglyphs on Mount Buksha

Zh.V. Kagazezhev[1, 2]

[1]Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia
[2]Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov
173, Chernyshevsky street, Nalchik, 360004, Russia

Abstract. The article discusses the discovery and inclusion into scientific discourse of rock carvings found on Mount Buksha in the Republic of Adygea. These petroglyphs, located in the upper section of the mountain, consist of various geometric forms carved into the rocks. Although they resemble

© Кагазежев Ж. В., 2025

previous petroglyph discoveries to some extent, the carvings on Buksha are unique. The discovery and analysis of these petroglyphs represent a new chapter in the historiography of ancient rock art research. Their discovery significantly expands the geographic distribution of petroglyph sites in the North Caucasus, making it an important contribution to the field. Given their proximity to an important historical area with concentrations of dolmens and artifacts from the Meshoko culture, the study of these petroglyphs assumes additional significance. Determining their chronology and context is essential for a comprehensive understanding of this region's ancient history. Undoubtedly, a more in-depth study of the semantic meaning of the rock carvings on Mount Buksha would expressively contribute to and enrich our understanding of the ancient culture of the area. This aspect of the research requires further detailed investigation in the future.

Aim. The paper aims to introduce to the research community the recently discovered petroglyphs on Mount Buksha, which represent valuable material for the study of ancient rock art in the North Caucasus region.

Keywords: Mount Buksha, petroglyphs, rock carvings, known symbols, ancient historical region, dolmens, Meshoko

Submitted 07.11.2025, approved after reviewing 28.11.2025, accepted for publication 08.12.2025

For citation. Kagazezhev Zh.V. Petroglyphs on Mount Buksha. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 436–443. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-436-443

В конце августа 2025 г. в ходе научно-исследовательской экспедиции Научно-инновационного центра «Естественно-научные методы в археологии, антропологии и археографии» (НИЦ ЕМААА) КБНЦ РАН на окраине п. Каменномостский Майкопского района Республики Адыгея были зафиксированы наскальные изображения. Сведения о неизвестных до этого петроглифах мы получили от жителя п. Каменномостский геолога С. А. Могилата (20.02.1960 г.р.). Петроглифы находились к северо-западу от п. Каменномостский, наверху горы Букша (высота – 676 м), окруженной невысокими лесистыми склонами, на левом берегу р. Белой. Наскальные изображения расположены с юго-восточной стороны горы. Здесь мы видим доминирующую закономерность в расположении наскальных петроглифов Северного Кавказа: они обращены к стороне восходящего солнца. Петроглифы на горе Букша растянулись на отвесной скале длиной около 20 метров и высотой 2,5 метра. Скальный выступ (глубина) составляет 2 метра (рис. 1, 2, 3). Наскальные изображения представляют собой множество линий, в т.ч. параллельных, разной глубины. Пересекаясь, они образуют разные геометрические фигуры и знаки, в т.ч. солярные в виде креста, круги, «клетки», «елочки» и т. д. (рис. 4, 5, 6, 7, 8). Наскальная стена покрыта и множеством лункообразных углублений / купулов (рис. 1, 2, 3) – одними из древнейших символов плодородия и связанных с ним обрядов. На скале Букши встречаются круги с тянущимися от них линиями (желобками) вниз (рис. 9, 10). Подобные изображения обнаружены К. М. Петрелевичем на каменных глыбах в 1940 г. около г. Микоян-Шахар (современ. Карачаевск) [1; 2, с. 57] и П. У. Аутлевым в долине р. Уруштен [3]. Возможно, данные изображения являются антропоморфными. Приблизительно в середине нижней части петроглифов различаются знаки, напоминающие женскую фигуру, и рядом, чуть ниже изображение в виде круга и исходящей от него вниз линии (желобка) (рис. 10). Другой знак, напоминающий женскую фигуру (рис. 11.), но менее антропоморфный, располагается в нижней части надписей. Указанный знак похож на символ, встречающийся в сводной таблице символов, составленной Г. Ф. Турчаниновым из петроглифов майкопской и сухумской надписей, где они сопоставляются с буквами финикийского псевдоиероглифического библского письма II тыс. д. н. э. [4, с. 128]. По мнению Г. Ф. Турчанинова, рассматриваемый

знак соответствует буквам «z» / «dz» псевдоиероглифического библского письма [4, с. 128]. Среди петроглифов выделяется наскальное сферическое изображение, расположенное между двумя глубокими параллельными вырезами, от которого сверху отделяется линия, раздваивающаяся и дугообразно спускающаяся обратно к кругу, частью достигая его (рис. 12, 13). Данный знак имеет схожие черты с символами на «камне хамышей», исследованными Н. Г. Ловпаче [5], и тамгами, имеющими распространение среди адыго-абазинских родов [6, н. 139, 140, 142, 153, 176]. Привлекает внимание и круг (скорее, солярный символ) с неразборчивым из-за потертости рельефным изображением внутри (рис. 14.). Известно, что солярные символы являются одними из самых распространенных древних петроглифов, в т. ч. на Кавказе. Выделяется и ряд, состоящий из трех дугообразных знаков с точками (ямками) внутри (рис. 15). Подобные петроглифы на Северном Кавказе не идентифицированы. Сходство они имеют со знаком северобалканской культуры Винча [7, с. 338–339] эпохи неолита (5500–4000 гг. д. н. э.). Можно также предположить, что они являются изображением женской груди, олицетворяющей собой плодородие и благополучие. Сохранились и остатки из-за потертости изображения, сделанного красной охрой (рис. 16). По стилистике и локализации наскальные изображения на горе Букша сильно напоминают петроглифы Хагондоково I, открытые в 2023 г. [8, с. 121–131]. Вполне вероятно, что они относятся к одному хронологическому периоду. Часть изображений на горе Букша по дизайну и манере начертания имеют сходство с петроглифами, ранее обнаруженными на территории Северного Кавказа и введенными в научный оборот В. М. Сысоевым [9, с. 115, 142, 163], А. А. Формозовым [10, с. 126–128], Е. Д. Фелицыным [11, с. 38], К. М. Петрелевичем [1], П. У. Аутлевым [12, с. 8], В. И. Марковиным [13, с. 146–153] и др.

Важным обстоятельством является то, что петроглифы на горе Букша локализовываются недалеко от всемирно известных исторических памятников. В 6 км к востоку от п. Каменномостского, в одном из ответвлений ручья Мешоко, правого притока р. Белой, обнаружена пещера, использовавшаяся адыгскими племенами с эпохи позднего палеолита до раннего средневековья, введенная в научный оборот А. А. Формозовым [10, с. 100–117]. В ней обнаружены и предметы майкопской культуры. Восточнее горы Букша, в северной части п. Каменномостский расположены три хаджохских дольмена (IV–III тыс. д. н. э.). Недалеко от данных мест, на восточной окраине п. Каменномостское, на высоком скальном плато над ручьем Мешоко открыто и древнее поселение Мешоко (около 4500–3000 гг. д. н. э.), давшее название одноименной культуре. Данные исторические обстоятельства могут служить дополнительными доказательствами древности наскальных изображений на г. Букша, возможно, составляющих вместе с ними единый древний кластер исторических памятников.

Введение в научно-исследовательский оборот новых наскальных петроглифов, расположенных на горе Букша, существенно обогащает сведения о наскальном искусстве Северного Кавказа. Имея некоторое сходство с другими, ранее обнаруженными наскальными изображениями, петроглифы на горе Букша во многом оригинальны. На ней практически нет изображений из охры (возможно, они стерлись со временем), за исключением остатков краски на одном участке скалы. Большинство знаков также с трудом различимы, что может свидетельствовать об архаичности и длительном хронологическом периоде их существования. Особую значимость петроглифам на горе Букша придает их локализация недалеко от известных древних исторических памятников эпохи Мешоко и дольменной культуры. Целостное изучение появления и значения наскальных изображений на горе Букша возможно только в результате более тщательного их исследования с применением методик петроглифоведения, которые помогут определить их точную классификацию, датировку и семантику.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Графически обработанные фотографии наскальных изображений на горе Букша

Рис. 1.

Рис. 2.

Рис. 3.

Рис. 4.

Рис. 5.

Рис. 6.

Рис. 7.

Рис. 8.

Рис. 9.

Рис. 10.

Рис. 11.

Рис. 12.

Рис. 13.

Рис. 14.

Рис. 15.

Рис. 16.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Петрелевич К. М.* Отчет. Архив ИИМК РАН. Д. № 7. М., 1940.

2. *Марковин В. И.* Наскальные изображения Северного Кавказа и некоторые проблемы в их изучении // Памятники археологии и древнего искусства Евразии. М.: Институт археологии РАН, 2004. 346 с.

3. *Аутлев П. У., Дитлер П. А.* «Камни-писаницы» Уруштена. Пленум ИА АН СССР: тез. докл. секции археологии Кавказа. М., 1966.

4. *Турчанинов Г. Ф.* Памятники письма и языка народов Кавказа и Восточной Европы. Л.: Наука, 1971. 150 с.

5. *Ловпаче Н. Г.* Петроглифы «Хамышей» // Кавказ: история, культура, традиции, языки: по материалам Международной научной конференции, посвященной 75-летию Абхазского института гуманитарных исследований им. Д. И. Гулиа АНА, 28–31 мая 2001 г. Сухум: Дом печати, 2004. 703 с.

6. *Цуекъо А.* Адыгэ лъэкъуацIэхэмрэ тамыгъэхэмрэ. Мыекъуапэ: Адыгэ Республикэм итхылъ тедзапI, 2012. 224 н.

7. *Гимбутас М.* Цивилизация Великой Богини: мир Древней Европы. М.: РОССПЭН, 2006. 570 с.

8. *Кагазежев Ж. В.* Петроглифы Хагондоково // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 4 (114). С. 121–131. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-121-131

9. *Сысоев В. М.* Археологическая экскурсия по Закубанью в 1892 году. МАК. М.: Товарищество тип. А. И. Мамонтова, 1904. Вып. IX. С. 89–143.

10. *Формозов А. А.* Каменный век и энеолит Прикубанья. М.: Наука, 1965. 160 с.

11. *Фелицын Е. Д.* Западно-кавказские дольмены // МАК. М., 1904. Вып. IX. С. 1–116.

12. *Марковин В. И.* Памятники искусства и культы Северного Кавказа // СЭ. 1970. № 3. С. 125–131.

13. *Формозов А. А., Окладников А. П., Массон В. Е. и др.* История искусства народов СССР: в 9 т. // Акад. художеств СССР, НИИ теории и истории изобразит. искусств. Искусство первобытного общества и древнейших государств на территории СССР / Под ред. А. Л. Монгайта и Н. В. Черкасовой. М.: Изобраз. искусство, 1971. 311 с.

REFERENCES

1. Petrelevich K.M. Otchet. Archive of IHMC RAS (Institute of the History of Material Culture RAS). No. 7. Moscow, 1940. (In Russian)

2. Markovin V.I. *Naskal'nye izobrazheniya Severnogo Kavkaza i nekotorye problemy v ih izuchenii* [Rock paintings of the North Caucasus and some problems in their study]. *Monuments of archeology and ancient art of Eurasia*. Moscow: Institut arheologii RAN, 2004. 346 p. Pp. 51–64. (In Russian)

3. Autlev P.U., Ditler P.A. «*Kamni-pisanicy*» *Urushtena* ["Stones-writings" of Urushten]. Plenum of the Institute of Archeology of the USSR Academy of Sciences: Abstract of the report of the Caucasus Archaeology Section. Moscow, 1966. (In Russian)

4. Turchaninov G.F. *Pamyatniki pis`ma i yazy`ka narodov Kavkaza i Vostochnoy Evropy`* [Monuments of writing and language of the peoples of the Caucasus and Eastern Europe]. Leningrad: Nauka, 1971. 150 p. (In Russian)

5. Lovpache N.G. *Petroglify «Khamyshey»* [Petroglyphs of Khamyshi]. Caucasus: History, Culture, Traditions, and Languages: Proceedings of the International Scientific Conference Dedicated to the 75th Anniversary of the D.I. Gulia Abkhazian Institute of Humanitarian Research, May 28–31, 2001. Sukhum: Dom Pechati, 2004. 703 p. Pp. 197–205. (In Russian)

6. Tsuyek"o A. Adyge l"ek"uatsIekhemre tamyg"ekhemre. Maykuape: Adyge Respublikem itkhyl" tedzapI, [Adyghe surnames and tamgas]. Maykop: Adyghe Republic Book Publishing House, 2012. 224 p. (In the Adyghe language)

7. Gimbutas M. *Civilizaciya Velikoy Bogini: mir Drevney Evropy`* [The Civilization of the Great Goddess: the world of Ancient Europe]. Moscow: ROSSPEN, 2006. 570 p. (In Russian)

8. Kagazezhev Zh.V. Petroglyphs of Khagondokovo. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 4(114). Pp. 121–131. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-121-131. (In Russian)

9. Sysoev V.M. *Arheologicheskaya ekskursiya po Zakuban'yu v 1892g.* [Archaeological excursion to Zakuban in 1892]. MAK. Moscow: Partnership typ. A.I. Mamontov, 1904. No. IX. Pp. 89–143. (In Russian)

10. Formozov A.A. *Kamennyy vek i eneolit Prikubania* [Stone Age and Eneolithic of the Kuban region]. Moscow: Nauka, 1965. 160 p. (In Russian)

11. Felicyn E.D. *Zapadno-kavkazskie dol'meny* [West Caucasian dolmens] MAK. Moscow: 1904. No. IX. Pp. 1–116. (In Russian)

12. Markovin V.I. *Pamyatniki iskusstva i kul'ty Severnogo Kavkaza* [Monuments of art and cults of the North Caucasus]. *SE*. 1970. No. 3. Pp. 125–131. (In Russian)

13. Formozov A.A., Okladnikov A.P., Masson V.E. et al. *Istoriya iskusstva narodov SSSR: V 9 t.* [The history of art of the peoples of the USSR: In 9 volumes]. USSR Academy of Arts, Research Institute of Theory and History of Fine Arts. Art of primitive society and the earliest states on the territory of the USSR; edited by A.L. Mongayt and N.V. Cherkasova. Moscow: Izobraz. iskusstvo, 1971. 311 p. (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Кагазежев Жираслан Валерьевич, канд. ист. наук, зав. научно-инновационным центром «Естественно-научные методы в археологии, антропологии и археографии», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

доцент, кафедра всеобщей истории, Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х. М. Бербекова;

360004, Россия, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173;

jiraslan@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0508-3493, SPIN-код: 2606-0979

Information about the author

Zhiraslan V. Kagazezhev, Candidate of Historical Sciences, Head of Science and Innovation Center “Natural Scientific Methods in Archaeology, Anthropology and Archaeography”, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

Associate Professor, Department of General History, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov;

173, Chernyshevsky street, Nalchik, 360004, Russia;

jiraslan@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0508-3493, SPIN-code: 2606-0979

ФИЛОЛОГИЯ

УДК 82-32 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-444-453
EDN: UNDDSG

Художественное своеобразие творчества М. С. Гулиева (обзорный анализ)

А. Д. Атабиева

Институт гуманитарных исследований –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18

Аннотация. В статье намечен обзорный анализ творческого наследия балкарского писателя Мажида Саматовича Гулиева, которое до недавнего времени не становилось объектом осмысления литературной критики. Работа в целом носит ознакомительный характер, поскольку весь комплекс художественных наработок писателя сложно вместить в ограниченные рамки одной научной публикации.

Цель исследования – дать целостное представление об опыте автора в создании поэтических и прозаических текстов, о специфике художественного мышления, поэтико-стилевых, жанровых предпочтениях, изобразительно-выразительных тропах, доминирующей проблематике произведений.

Результаты. В соответствии с установленными задачами предполагается отражение ключевых концепций творчества, последовательный анализ структурно-стилевых, образно-содержательных особенностей стихов, поэм, басен, рассказов, повестей и пьес М. С. Гулиева. В качестве дополнения в статью включены краткие биографические сведения, освещающие важные этапы жизни и общественной деятельности писателя. По хронологии отмечены опубликованные книги и сборники автора, в жанровой дифференциации рассмотрены значимые произведения.

Выводы. Итоги исследования позволяют раскрыть яркую творческую индивидуальность М. С. Гулиева, постичь специфическую интенциональность, определяющуюся в его творениях. Активная художественная деятельность писателя, ориентированная на поиск эффективных методов отражения и интерпретации действительности, на своем уровне способствовала расширению потенциала жанровых форм и тематических направлений национальной литературы.

Ключевые слова: М. С. Гулиев, творческая индивидуальность писателя, биографическая справка, специфика художественного мышления, интенциональность, дифференциация жанровых форм

Поступила 02.09.2025, одобрена после рецензирования 08.09.2025, принята к публикации 31.10.2025

Для цитирования. Атабиева А. Д. Художественное своеобразие творчества М. С. Гулиева (обзорный анализ) // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 444–453. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-444-453

Original article

Artistic originality of M.S. Guliev's work (Review analysis)

A.D. Atabieva

Institute of Humanitarian Researches –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia

© Атабиева А. Д., 2025

Abstract. This article provides a comprehensive analysis of the creative legacy of Balkar writer Majid Samatovich Guliyev, which until recently had not been the subject of literary criticism. The work is generally introductory in nature, as the writer's entire artistic output is difficult to encompass within the limited scope of a single scholarly publication.

Aim. This study is to provide a comprehensive understanding of the author's experience in creating poetry and prose texts, the specifics of his artistic thinking, poetic, stylistic, and genre preferences, figurative and expressive tropes, and the dominant themes of his works.

Results. In accordance with the set objectives, the study aims to analyze the key creative concepts and systematically examine the structural, stylistic, figurative, and thematic features of M.S. Guliyev's poems, verses, fables, short stories, novellas, and plays. The article also includes brief biographical information highlighting important stages in the writer's life and public activities. The author's published books and collections are listed chronologically, and significant works are examined by genre.

Conclusion. The results of this study allow us to reveal the vibrant creative individuality of M.S. Guliyev and to understand the specific intentionality evident in his works. The writer's active artistic practice, focusing on finding effective methods for reflecting and interpreting reality, has contributed to the expansion of potential genre forms and thematic directions in national literature.

Keywords: M.S. Guliev, writer's creative individuality, biographical information, specifics of artistic thinking, intentionality, differentiation of genre forms

Submitted 02.09.2025, approved after reviewing 08.09.2025, accepted for publication 31.10.2025

For citation. Atabieva A.D. Artistic originality of M.S. Guliev's work (Review analysis). *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 444–453. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-444-453

Обращение к изучению художественного наследия балкарского поэта, писателя и драматурга М. С. Гулиева обосновано недостаточным вниманием региональных литературоведов к его творчеству. Исключение составляет статья Б. Берберова, подготовленная для Биобиблиографического словаря «Писатели Кабардино-Балкарии: XIX – конец 80-х гг. XX в.» (2003) [1, с. 149–152]. В ней дана общая оценка деятельности автора, приведены подробные фактологические сведения, касающиеся основных вех жизненного и творческого пути, в соответствии с хронологическим принципом выстроен краткий анализ проблематики книг и содержания отдельных произведений. В этой связи, говоря о степени изученности художественного материала, можно обозначить указанную работу в качестве методологического ориентира для будущих исследований.

В данном случае мы стремились представить относительно развернутую картину творчества М. С. Гулиева, расширив литературоведческий дискурс аналитическими тезисами в характеристике этапных сборников и имеющихся в активе писателя разножанровых форм, дополнив обзор информацией по новым изданиям. С намерением очертить доминирующие тематические линии и основополагающие концепции автора, теоретические выкладки сопровождены для наглядности отрывками из поэтических и прозаических текстов с подстрочными переводами, отмечены их жанровые модификации, структурно-содержательные, композиционные, стилистические особенности. Статья в целом ориентирована на полноформатное отражение творческих интересов, достижений и художественных наработок балкарского писателя.

Мажид Саматович Гулиев (1932–1998) родился в 1932 году в поселке Эльбрус. В 12 лет был сослан в Среднюю Азию, там же написал свои первые стихи. По возвращении на родину обучался на историко-филологическом факультете Кабардино-Балкарского государственного университета. В 1962 году начал работу в редакции газеты «Коммунизмге жол» («Путь к коммунизму»), вел рубрику о промышленности. В 1967 году окончил двухгодичную Высшую партийную школу в городе Ростове. Работал инструктором в обкоме партии. Руководил передачами на балкарском языке в республиканской телерадиокомпании и вышел на пенсию, будучи вице-президентом этой организации.

Профессиональная литературная деятельность М. Гулиева берет начало с 1950-х годов. Первые поэтические произведения опубликованы в антологии балкарских поэтов «Мени сёзюм» («Мое слово», 1956). Стихи, рассказы и одноактные пьесы писателя появлялись на страницах газеты «Коммунизмге жол» («Путь к коммунизму»), альманаха «Шуёхлукъ» («Дружба») и в отдельных специализированных сборниках: «Голубые ели» (М., 1959), «Ахшы жолгъа» («Счастливого пути», 1959), «Тейри къылыч» («Радуга», 1960), «Жаш жюрекле» («Молодые сердца», 1961).

Первым изданием художественных произведений М. Гулиева стал сборник «Тал чыбыкъ» («Ивовый прут», 1968) [2], в который вошли стихи и поэма. С точки зрения проблематики в приоритет выведены нравственные императивы и гуманистическая тема, поэт обращен к декларации идей мира, братства, строительства новой жизни, им воспеты простые труженики и выдающиеся современники. На раннем этапе творчества автору не удалось избежать идеологизации, характерной для литературы того времени, однако основной посыл его стихотворений заключался в способствовании позитивному мышлению, гармоничному развитию личности («Насыпны жыры» – «Песня счастья», «Мени алгъышым» – «Мое благопожелание»).

Алай, жашау а тохтамайды,
Урады алгъа ёшюн!
Алгъадан алгъа бара,
Тохтамагъанлай ёссюн!

Ёссюн, айнысын, бек жашнасын,
Кюнден кюннге байыгъа.
Ана, баласына термиле,
Кёмюлмесин къайгъыгъа! [2, с. 22]

Но жизнь не прекращает ход,
Вперед направляет грудь!
Все дальше продвигается пусть
И непрерывно растет!

Растет, развивается, цветет,
Обогащаясь с каждым днем,
И мать, тоскуя по ребенку,
Не погружается в тревогу!
(Подстрочный перевод здесь и далее – А.А.)

Яркими красками насыщаются описания родной земли, перед взором читателя вырисовывается эмблематичный образ двуглавого Минги Тау:

Чал Минги Тау – оюлмазлыкъ кюмюш къала,
Юсюнден ауур басып, бузла эм къарла,
Турады ёмюрлени минчакъча санай,
Суулары да къысыр къаяланы жалай.

Ол тёгерекде таулагъа къурч къадауду,
Хомухлагъа душманнгача къажауду.
Кёлсюзлени жибермегенлей кесине,
Жигитлеге жол ачады тёппесине.

Баям, халкъым андан алгъанды эрликни –
Къыйынлыкъгъа хорлатмагъан кишиликни.
Ансы, бек ушайдыла ала бир бирге,
Шо бир анадан туугъан эки эгизге! [2, с. 29]

Седой Минги Тау – несокрушимая серебряная крепость,
Давят на него тяжестью льды и снега,
Стоит, перебирая столетия, как четки,
И воды его омывают бесплотные скалы.

Для гор вокруг служит засовом из стали,
К слабым духом он непримирим, как к врагу.
Не подпуская их близко к себе,
Смелым же открывает путь на свою вершину.

От него, видимо, перенял мой народ свою смелость –
Мужество быть несломленным несчастьями,
Уж очень схожи они друг с другом,
Как родившиеся от одной матери близнецы!

Язык произведений насыщен деталями, яркими красками, пейзажами. Автор вдумчив и сосредоточен на предмете изображения, подробности наслаиваются друг на друга, создавая набросок будущего рисунка. Вдохновляясь увиденным, художник облекает в поэтическую форму близкие сердцу картины родной земли.

В 1970 году выходит новый стихотворный сборник М. Гулиева «Кетмегиз, зурнукла!» («Оставайтесь, журавли!») [3]. Стихотворения ориентированы главным образом на маленьких читателей. Большая их часть структурирована сообразно юному возрасту читателя-адресата, тексты начинены соответствующей лексикой («Жанкъозчукъ» – «Подснежник», «Къайсыды батыр» – «Кто смелее», «Тогъаймюйюз къочхарчыкъ» – «Кольцерогий ягненок», «Акъмыйыкъ бла тюбешиу» – «Встреча с Белоусым», «Гинжичигим – къызчыгъым» – «Куколка – доченька» и др.). Намеченную тематику продолжает одноименная сказка «Алтын къаланы иеси» («Хозяйка золотого дворца»), произведение написано по всем канонам жанра детской литературы.

«Ильични туудукълары» («Потомки Ильича», 1972) [4] в содержательном плане представляет собой стихотворный сборник декларативной направленности. Вниманию читателей представлена одноименная поэма (авторское определение жанра), датированная 1968 годом, и в ней очевидна политическая ангажированность раскрываемой проблематики. Вместе с тем поэма не лишена содержательной глубины, автор ориентирован на отражение искренности чувств, эмоционально окрашенных реакций, возникающих в сознании простых людей в связи с позитивными изменениями, происходившими в общественной жизни страны.

В книге выделен ряд доминирующих лейтмотивов: горения («Жанама» – «Горю»), одиночества («Жангыз терек» – «Одинокое дерево»), грусти и сожаления («Кеч манга» – «Прости мне»), гордости за свой народ («Мен таулума» – «Я балкарец»), любви к отечеству («Туугъан жерим» – «Родина моя»). В ряду поэтических текстов, вошедших в указанный сборник, наличествует несколько песен – «Алтын кюн» («Золотое солнце»), «Толсунла ахшы муратла» («Пусть сбудутся лучшие намерения»), «Бешик жыр» («Колыбельная»). Часто обращение поэта к осмыслению солярного образа солнца («Узалама кюннге» – «Протягиваю к солнцу руку»):

Узалама кюнню кёзюне
Аны тартаргъа жууукъгъа,
Боранла, ачы суукъла.
Жер юсюнде къурусунла деп.

Алай жеталмайма, жеталмай –
Къысхаллада билеклерим,
Къанатлыкъ а эталмайдыла
Кёксюл чепкен этеклерим. [4, с. 40]

Протягиваю к солнцу руку,
Пытаясь притянуть поближе,
Чтоб ветры, холода, морозы
Исчезли с земли навсегда.

Но не могу достать, не достаю –
Слишком коротки мои руки,
Не способны крылами стать
Синие полы моих одежд.

В очередной сборник под названием «Кюнню къызы» («Дочь солнца», 1975) [5] включены разножанровые художественные тексты. В книге представлены легкие жизнерадостные стихи для детей с назидательным смыслом: «Къашха бузоучукъ» («Теленок с пятном на лбу»), «Кезлеучюкню жыры» («Песня родничка»), «Аязчыкъ» («Ветерочек»), «Киштикчикни сермеши» («Поединок котенка»), «Ынна бла ушакъ» («Разговор с бабушкой»); увлекательные поэтические сказки: «Къоянны кишилиги» («Храбрость зайца»), «Гынтдылы хоразчыкъ» («Хвастливый петушок»); поучительные произведения в басенном стиле с характерными диалогами: «Айтчы бир» («Скажи-ка»), «Тарыгъыу къагъыт» («Жалоба»); а также несколько пьес: «Киеуню бохчасы» («Кошелек зятя»), «Ташдерден» («Зоб»), «Гымыдайны тауугъу» («Курица Гымыдая»).

В одноименном поэтическом цикле выведена акцентная рефренная строка «Кюнню къызы – Туугъан жерим» / «Дочь солнца – Родина (земля) моя». Стихи объединены ключевой идеей, выражающей всеобъемлющую любовь к отчей земле. Описывая ее облик, автор прибегает к приему олицетворения, выстраивая производный метафорический ряд: цветы – ее глаза, зеленые равнины – плечи, голубые реки – волосы, прохладный ветер – воздух, которым она дышит. Комплекс выразительных тропов подобран в соответствии с описаниями и подчинен художественному воссозданию образа.

Идея бережного отношения к природе, стремление сохранить зыбкую гармонию этого мира раскрываются в содержании стихотворений «Малтамадым гюлню» («Не наступил на цветок»), «Къайын терек» («Береза»). Поэт подчеркивает, что путь к развитию лежит через испытания на прочность, но всегда нужно верить в лучшее: *«Къар да эрир – // Онг чыгъар, // Къайгъынгы кюн // Нюр жууар. // Ары дери // Хайт деп бол. // Тынч тюйюлдю ёсюу жол»* [5, с. 11] («Растает снег – // Появится возможность, // Твои тревоги // Солнца свет омоет, // А до того // Держись, будь крепок. // Нелегок роста путь»). В целом основная проблематика сборника соответствует возрастной специфике читателя-адресата.

В 1975 году отдельной книгой издана повесть «Къушну дерти» («Месть орла») [6]. Содержательно в произведении воспроизводится жизнь балкарского аула в первые годы Великой Отечественной войны. В центре внимания судьба семьи главной героини Зурум и ее односельчан, в полной мере испытавших на себе тяготы военного времени. «Определенную привлекательность повести придают эпиграфы, исполненные в форме рубаи и

представленные в каждой главе» [1, с. 151]. Символическим воплощением верности и готовности к самопожертвованию становится в повести орлиная пара. Писатель осознанно проводит параллель между животным и человеческим миром. И люди, и птицы каждый по-своему ведут непримиримую борьбу с единым врагом.

Жанровым многообразием отличается книга «Акъ гюлле» («Белые цветы») [7] 1982 года издания, опубликованная к пятидесятилетию автора. М. Гулиев пробует свои силы в освоении форм восточной лирической поэзии. Среди представленных произведений самую многочисленную подборку составляют рубайаты. В кратких четверостишиях подобного рода соблюдены соответствующие строфика, ритмика и лирическая тональность:

Кёп сагъыш этгенме, жулдузлу кёкге,
гюллю жерге да къарап,
Эки къудуретликни да мен оюм
бармакъларым бла къармап.
Да, къадар, жулдуз – ёлгенни жаны,
гюл а аны тери эсе,
Сен бош кюрешесе, жюйюсхан,
адамланы ажал бла къаргъап! [7, с. 6].

Я много размышлял, глядя на звездное небо
и землю в цветах,
Перебирая все это изобилие
«пальцами» моих дум.
Да, судьба, если звезда – душа умершего,
А цветок – его испарина (пот),
Тогда ты зря стараешься, госпожа,
Проклинать людей близким концом.

Или другой пример:

Кюн энтда да ёрлейди
таш жалкъалы тау башлагъа,
Кесини огъурлу ишин
жангы кюч бла башларгъа.
Ол юлгюню кёре мен,
жашаудан арыгъанма деп,
Къалай атар эдим
кётюрген жюгюмю башхагъа! [7, с. 13].

Солнце опять взбирается
по каменистым хребтам горных вершин,
Возобновляя свое
благородное дело с новой силой.
Видя этот пример, как бы я мог,
ссылаясь на усталость от жизни,
Перекинуть на другого
тот груз, который я несу!

Название указанному сборнику дала поэма в форме посвящения отчизне. В произведении отражены реалии прошлого и современности в сопряжении с темой войны и насилия, царящих повсюду (в Палестине, ЮАР, Панаме и т.д.). В понимании поэта огромная советская страна, объединившая множество национальностей в один народ, служила оплотом мира.

В книге также представлено множество басен с назидательным смыслом: «Черек бла кезлеу» («Река и родник»), «Нохтабау» («Подарок»), «Арсланны тенги» («Друг льва»), «Даулаш» («Спор»), «Намыслы маймул» («Вежливая обезьяна»), «Тюлкю бла айыу» («Лиса и медведь»), «Тюлкюню ёкюнюую» («Раскаяние лисы») и др.

В 1984 году в печати появился новый сборник М. Гулиева «Акъ атлы» («Белый всадник») [8], составленный из юмористических рассказов («Элияны чамланыуу» – «Гнев Элии», «Саугъа» – «Подарок», «Терслигинги билсенг а» – «Знать бы свою неправоту» и др.) и сатирической повести. В данном случае писатель пробует себя в несколько ином амплуа. Художественный язык произведений довольно колоритен и тяготеет к народному юмору (в текстах употребительны типичные для носителей языка выражения, пословицы / поговорки, идиомы, устойчивые обороты речи). Характерные черты авторского стиля – ирония и самоирония. Сатира писателя направлена на осмеяние негативных проявлений личностного характера (корыстолюбие, карьеризм, льстивость) и социально-общественной жизни (бюрократизм). Отмеченные качества более всего определяются в содержании «Белого всадника». «Герои повести, носящие старинные языческие имена «Айюжырт» (Потрошитель медведя) и «Алакёз» (Светлоглазая), олицетворяют собой идею писателя о возрождении нравственной чистоты и красоты человеческих отношений, воплощенных в старинных обычаях. Эта утопическая мысль автора подчеркивается и названием местности, где располагается кошара молодоженов – Цветочный холм» [1, с. 151].

М. С. Гулиев внес ощутимую лепту и в развитие жанров балкарской детской литературы, и надо сказать, что автором предприняты успешные шаги в данном направлении. Следующая по хронологии книга носит название «Алтын къаланы иеси» («Хозяйка золотого дворца») [9], она опубликована республиканским издательством в 1987 году и составлена исключительно из художественных текстов (стихов и одноименной сказки), написанных для детей («Саугъала» – «Подарки», «Жаучу, жаунчукъ» – «Лей, дождик», «Сабий садда» – «В детском саду» и др.).

В ряду последних изданий следует обозначить книгу «Жаханим отну жесирлери» («Заложники адской дороги», 2001) [10], которая состоит из одноименной повести, рассказов, сказок и пьесы. Повесть М. Гулиева была написана в 1997 году и получила говорящее название, объединяющее в себе ключевые смыслы произведения. Метафорически в роли «заложников» выступают односельчане и члены большой дружной семьи главного героя (в более широком аспекте заложником той самой «адской дороги» становится балкарский народ в пору выселения). Основное действие повести разворачивается в Баксанском ущелье близ поселка Тегенекли и города Тырныауза. Символический характер носят образность повести и различные средства выразительности, задействованные в тексте. В выделенном ракурсе одной из художественных особенностей произведения являются онейрические вставки, сновидческие эпизоды. Примечательны сны героя-рассказчика в духе выдуманных фольклорных историй: сон о мифическом желмаууз (драконе), поглотившем небесное светило (речь идет о таком феномене, как солнечное затмение), который предрекал скорое трагическое событие. Чтобы напугать деструктивную сущность, сельчане по традиции начинают греметь железной утварью, создавая громкие звуки, после чего делают *къурманлыкъ* (жертвоприношение). Такое редкое природное явление трактуется в сознании людей как предвестник беды, трагическое предзнаменование грядущих в истории народа катаклизмов – войны и выселения. Упоминания об Уллу Хож (Большой Ходзь), мифических существах, нартах; использование фольклорной атрибутики (золоторогий с серебристой кожей *трехногий тур*, белая бурка – *жамычы*, божество диких животных, дочь Апсаты, серебряная палка – *хыжы*, дедовский *мужура* – дротик или посох с железным наконечником, хранившийся в качестве семейной реликвии) и тому подобных деталей значительно расширяют представление о специфике этнического мышления.

Колоритный, замысловатый язык повести характеризуется сложными синтаксическими конструкциями, речь персонажей насыщена архаизмами, разнообразными диалектическими выражениями, что в свою очередь способствует усилению художественности текста. Употребительны такие действенные в плане выразительности тропы, как метафора и олицетворение. Писатель сравнивает судьбы людей (обобщенно – народа) с журавлиной стаей, проводя символическую параллель между ними.

Развитие доминирующих сюжетных линий произведения разделено на хронологические этапы. В самом начале повествования описываются подробности жизни семьи мальчика-подростка до начала войны, будни, проводимые на коше, ежедневные рутинные заботы. Автор создает галерею запоминающихся образов: Шонай, Зурум, Акбийче, Аминат, Нажабат, Харун, Ахмат, Адилгерий, Лейля, Алий, Роберт, Мустафа и многие другие. Подробно иллюстрируется момент начала войны: появление фашистского десанта на территории республики; бои в предгорьях Эльбруса; попытка вывести работников Тырныаузского молибденового завода через перевал в Грузию; яростное столкновение с немцами, злость, которую они срывают на простых людях (требуя отдать имеющийся скот, остатки продуктов и необходимые вещи), их спешное бегство; возвращение партизан и непосредственную вовлеченность главного героя во все эти события. Затем в горные аулы приходит новая беда – насильственная депортация в Казахстан. Вот как емко и драматично писатель описывает это зловещее событие: *«Ооо, зулму бёрюлюгюн суратларгъа сёз табылмагъан сылыкъ кече! …Ёлет къадарынга салгъан къара мухур»* («Ооо, мерзкий вечер, злой волчий оскал которого не передать словами! …Когда смерть поставила черную метку на твою судьбу!»); *«Къыяма эрттенлиги»* («Утро конца света…»); *«Дуния жаханими юсюбюзге ачылгъанда…»* («Когда вселенский ад открылся нашему взору…»); *«Ооо, жилямукъ орунуна кёзледен къан суу бюркген сарыуек кюнле, эмина кечеле»* («Ооо, зловещие дни, чумные ночи, когда из глаз вместо слез струилась кровь»); *«Аллахны, кёзю къыйып, жаханим отуна къалай атды?»* [10, с. 48–50] («Как мог Всевышний, не дрогнув, без сожаления бросить нас в адово пекло?»); *«Жаныбыздан сюйген властыбызны эминасын толу сынадыкъ»* [10, с. 54] («Мы всецело познали на себе чуму от горячо любимой власти»); *«Эшелонлада аурумагъан жанлагъа окъуна жашау къабырдан тар эди»* [10, с. 53] («Даже для незаболевших эшелоны были теснее, чем могила»).

В тексте повести часты инфернальные образы: *«адамланы жанларын урлап къачхан шайтанлача»* («как черти, укравшие души людей»), *«темир бугъа»* («железный бык»), *«темир жолда къара жилянча созулгъан эшелонлагъа тёгюп»* («закинув людей в эшелоны, извивающиеся на железной дороге, словно черные змеи»). В степи несчастных окружила стая волков, надеясь поживиться. Уже в Казахстане семью героя погнали в Алма-Ату, людей расселили в бараках, привлекли к строительству ГЭС. В голове подростка роилась куча вопросов, остававшихся без ответа. Детским мечтам (ему очень хотелось учиться) не суждено было сбыться, он рано повзрослел. Народ был изможден и потерян, он отвык от человеческого отношения и доброты. Измученным путникам помогал сочувствующий казах, разделив с ними нехитрую трапезу. По пути к месту расселения многие умерли от голода, болезней и лишений, остались без погребения. Большая часть выселенцев погибла в результате эпидемии тифа. На чужбине умерли дед Шонай, Ахмат, Адильгерий, две маленькие сестры героя Амина и Нажабат. Оставшиеся в живых продолжали быть «заложниками адской дороги» еще в течение долгих 13 лет.

Произведение в целом автобиографично, и историческая составляющая получает в его содержании не последнее значение. В конце повествования читатель на ассоциативном уровне сопоставляет личность героя-рассказчика и самого автора.

М. Гулиев выделяется в национальной словесности собственным почерком и узнаваемым, ни на кого не похожим стилем, который отличается от привычной литературы своего времени. «Творчество Мажида Гулиева является объективным показателем того, как в

современную литературу активно внедряется, упрочивает свои позиции категория комического. Редкому автору (детскому в особенности) удается достичь такого искристого юмора, который свойственен произведениям Гулиева» [11, с. 145]. В подтверждение сказанному можно привести текст рассказа «Дерсден сора» («После урока»), адресованного юным читателям. Примечателен образ ленивого мальчика Айтанга (в этом имени сочетаются два корня – «ай» / «луна» и «танг» / «рассвет»), который меняется к лучшему, как ни странно, благодаря наущениям черта по имени Жанышел (Ветреная душа). В этом единичном примере определяется тяготение писателя к ироническим описаниям, позволяющим выразить авторское отношение к изображаемому. Ирония проявляется через художественный прием шифрования имени героев под нелепыми прозвищами, заковыристыми фамилиями (по аналогии с персонажами Н. В. Гоголя – Земляника, Коробочка, Яичница), содержащими прозрачный намек на особенности характера персонажей (ассоциативность по смысловому признаку). В дополнение художник использует слова с корневым созвучием. Таким образом, имя служит транслятором внутренней сути образа и носителем «комического».

В текстах рассказов наблюдается замысловатое смешение реальности и условного изображения, жизненной правды и фантазийных элементов, гротескной сатиры и назидательности, проигрываемых в их содержании ситуаций («Шайтан бла тюбешиу» – «Встреча с чертом», «Пуу, анасыны!» – «Тьфу ты, черт!»). Показателен в этом плане цикл увлекательных историй «Чам чакъла» («Искры юмора»). Удачно контрастирующее сочетание обыденного и ирреального в представленных художественных произведениях. Обращает на себя внимание варьируемость тем и жанровых форм, разнонаправленное содержание текстов (рассказы для детей «Лейляны кёгюрчюнчюгю» – «Голубенок Лейли», «Ёксюз улакъчыкъ» – «Козленок сирота», авторские сказки «Гюлжан» и «Айтёбе»). Произведения лаконичны, вместе с тем их структурное оформление никак не ограничивает полет фантазии писателя, способствуя развернутому отражению той идеи, на воплощение которой нацелен авторский замысел.

Исходя из вышеизложенного, вклад писателя в дальнейшее развитие национальной литературы неоспорим, учитывая плодотворность художественных исканий автора в закреплении жанровых модификаций поэзии, прозы и драматургии. Творческая деятельность М. С. Гулиева в равной степени показательна в создании лирико-философских стихотворений, лирических поэм, четверостиший в форме рубаи, юмористических рассказов, повестей и в написании сценических (одноактные пьесы) произведений. Успешен опыт Мажида Саматовича и в области детской литературы, в его активе большое разнообразие детских стихов, авторских поэтических сказок, басен. Художественные тексты плотно начинены колоритным народным языком, мягким юмором, житейской мудростью. Поэзия и проза балкарского автора остаются востребованными современным читателем, не теряя актуальности и в наши дни.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Берберов Б.* Гулиев Мажит Саматович (статья) // Биобиблиографический словарь «Писатели Кабардино-Балкарии: XIX – конец 80-х гг. XX в.». Нальчик: Эль-Фа, 2003. 443 с. С. 149–152.

2. *Гулиев М.* Тал чыбыкъ (Ивовый прут). Нальчик: Эльбрус, 1968. 93 с.

3. *Гулиев М.* Кетмегиз, зурнукла! (Оставайтесь, журавли!). Нальчик: Эльбрус, 1970. 104 с.

4. *Гулиев М.* Ильични туудукълары (Потомки Ильича). Нальчик: Эльбрус, 1972. 69 с.

5. *Гулиев М.* Кюнню къызы (Дочь солнца). Нальчик: Эльбрус, 1975. 92 с.

6. *Гулиев М.* Къушну дерти (Месть орла). Повесть. Нальчик: Эльбрус, 1975. 185 с.

7. *Гулиев М.* Акъ гюлле (Белые цветы). Рубаи, стихи, поэма. Нальчик: Эльбрус, 1982. 92 с.

8. *Гулиев М.* Акъ атлы (Белый всадник). Юмористическая повесть и рассказы. Нальчик: Эльбрус, 1984. 206 с.

9. *Гулиев М.* Хозяйка золотого дворца. Стихи и сказка для детей. Нальчик: Эльбрус, 1987. 28 с.

10. *Гулиев М.* Жаханим отну жесирлери (Заложники адской дороги). Нальчик: Эльбрус, 2001. 216 с.

11. *Атабиева А. Д.* Эволюция балкарской детской литературы (проблемы жанрового развития). Нальчик: Издательский отдел КБИГИ, 2010. 180 с.

REFERENCES

1. Berberov B. *Guliev Mazhit Samatovich (stat`ya)* [Guliev Mazhit Samatovich (article)] // Biobibliograficheskiy slovar` "Pisateli Kabardino-Balkarii: XIX – konecz 80-x gg. XX v.". Nalchik: El-Fa, 2003. 443 p. Pp. 149–152 (In Russian)

2. Guliev M. *Tal chybyk (Ivovyy prut)* [The willow rod]. Nalchik: Elbrus, 1968. 93 p. (In the Balkar language)

3. Guliev M. *Ketmegiz, zurnukla! (Ostavaytes', zhuravli!)* [Stay, cranes!]. Nalchik: Elbrus, 1970. 104 p. (In the Balkar language)

4. Guliev M. *Ilichni tuuduklary (Potomki Ilicha)* [Descendants of Ilyich]. Nalchik: Elbrus, 1972. 69 p. (In the Balkar language)

5. Guliev M. *Kyunnyu kyzy (Doch solncza)* [Daughter of the sun]. Nalchik: Elbrus, 1975. 92 p. (In the Balkar language)

6. Guliev M. *Kushnu derti (Mest orla). Povest* [The eagle's revenge]. Nalchik: Elbrus, 1975. 185 p. (In the Balkar language)

7. Guliev M. *Ak gyulle (Belye czvety). Rubai, stihi, poema* [White flowers]. Nalchik: Elbrus, 1982. 92 p. (In the Balkar language)

8. Guliev M. *Ak atly (Belyy vsadnik). Yumoristicheskaya povest i rasskazy* [White horseman]. Nalchik: Elbrus, 1984. 206 p. (In the Balkar language)

9. Guliev M. *Khozyayka zolotogo dvortsa. Stikhi i skazka dlya detey* [Mistress of golden palace]. Nalchik: Elbrus, 1987. 28 p. (In Russian)

10. Guliev M. *Zhaxanim otnu zhesirleri (Zalozhniki adskoy dorogi)* [Hostages of infernal road]. Nalchik: Elbrus, 2001. 216 p. (In the Balkar language)

11. Atabieva A.D. *Evolyutsiya balkarskoy detskoy literatury (problemy zhanrovogo razvitiya)* [Evolution of Balkar children's literature (problems of genre development)]. Nalchik: Izdatel'skiy otdel KBIGI, 2010. 180 p. (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Атабиева Асият Даутовна, канд. филол. наук, ст. науч. сотр. сектора карачаево-балкарской литературы, Институт гуманитарных исследований – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18;

bolatovaatabieva@mail.ru, ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2384-6108, SPIN-код: 7303-0391

Information about the author

Asiyat D. Atabieva, Candidate of Philological Sciences, Senior Researcher, Institute of Humanitarian Researches – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia;

bolatovaatabieva@mail.ru, ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2384-6108, SPIN-code: 7303-0391

ФИЛОЛОГИЯ

УДК 398.8 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-454-464
EDN: VVHKIO

Трагическое осмысление потери родины в карачаево-балкарских народных песнях о переселении

М. З. Улаков✉, Л. С. Гергокова

Институт гуманитарных исследований –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18

Аннотация. Данная работа рассматривает историческую правду о депортации карачаевцев и балкарцев в Среднюю Азию через призму устного поэтического творчества, возникшего в период их изгнания. Актуальность исследования обусловлена необходимостью глубокого изучения песен, посвященных теме переселения, которые ранее не были достаточно проанализированы в научном контексте. Научная новизна статьи заключается в том, что в ней впервые проводится художественный анализ поэтических произведений устного народного творчества карачаевцев и балкарцев, отражающих трагические события депортации и утраты родины.

Цель исследования – выявить и проанализировать, как в фольклорных песнях отражаются эмоциональное состояние народа в изгнании, его надежды и вера в возвращение на историческую родину. Именно этот аспект делает статью ценным источником для понимания прошлого.

Методологическую основу изучения составили теоретические работы и научные публикации отечественных ученых, в том числе М. З. Улакова, Ф. А. Урусбиевой, Б. А. Берберова, Х.-М. А. Сабанчиева и других.

Материалом для изыскания послужили исторические песни, посвященные тематике переселения, которые были собраны и опубликованы в различных сборниках. Важным аспектом исследования является введение в научный оборот устных поэтических произведений из архива Института гуманитарных исследований КБНЦ РАН. В рамках решения поставленной задачи были задействованы культурно-исторический подход и **метод** исторического сопоставления.

По **итогам** исследования песенного творчества о насильственном переселении карачаевцев и балкарцев были выделены две основные стадии:

1. На раннем этапе преобладают композиции, передающие внезапность и трагизм выселения.

2. После тринадцати лет изгнания, истерзанного унижениями, голодом, холодом и горем утрат, в песнях начинают звучать слова признательности тем, кто проложил путь к возвращению народа на историческую родину. Этот период также ознаменовался очищением от ложных обвинений.

Полученные в ходе данного исследования **результаты** открывают новые перспективы для дальнейших научных изысканий в национальной фольклористике.

Ключевые слова: фольклор, исторические песни, песни о переселении, депортация, жестокий режим, свобода, родина

Поступила 23.10.2025, одобрена после рецензирования 27.10.2025, принята к публикации 26.11.2025

Для цитирования. Улаков М. З., Гергокова Л. С. Трагическое осмысление потери родины в карачаево-балкарских народных песнях о переселении // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 454–464. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-454-464

© Улаков М. З., Гергокова Л. С., 2025

Original article

Tragic understanding of loss of one's homeland in Karachay-Balkar folk songs of resettlement

M.Z. Ulakov✉, L.S. Gergokova

Institute of Humanitarian Researches –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. This work examines the historical truth about the deportation of the Balkar and Karachai people to Central Asia through the lens of oral poetry that emerged during their exile. The significance of this study lies in the need to thoroughly examine the songs that deal with the topic of resettlement, which has not been adequately explored in a scholarly context. The scientific novelty of this article lies in its first attempt to provide a literary analysis of the oral poetry of the Balkar and Karachai people, which reflects the tragic events of their deportation and loss of homeland.

Aim. The research is to identify and analyze how the emotional state of the people in exile, their hopes, and their faith in returning to their historical homeland are reflected in folk songs. It is this aspect that makes the article a valuable resource for understanding the past.

The **methodological basis** of the study includes theoretical works and scientific publications by domestic scholars, including M.Z. Ulakov, F.A. Urusbieva, B.A. Berberov, Kh.-M.A. Sabanchiev, and others.

The materials for the research are historical songs about the theme of migration, which have been collected and published in various publications. An important aspect of the study is the introduction of oral poetic works from the archive of the Institute of Humanitarian Research of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS into scientific circulation. Within the framework of solving this task, we use a cultural-historical approach and the method of historical comparison.

Based on the results of the study on songwriting about the forced displacement of the Karachay and Balkar people, two main stages have been identified:

1. In the early stages, compositions predominate that convey the suddenness and traumatic nature of the expulsion.

2. After thirteen years of exile, the people were tormented by humiliation, hunger, cold, and the grief of loss. Songs began to express gratitude for those who had paved the way for their return to their historical homeland. This period also saw the clearing of false accusations against them.

The **findings** from this research provide a new perspective for future scientific investigation into national folklore.

Keywords: folklore, historical songs, songs about displacement, deportation, cruel regime, freedom, homeland

Submitted 23.10.2025, approved after reviewing 27.10.2025, accepted for publication 26.11.2025

For citation. Ulakov M.Z., Gergokova L.S. Tragic understanding of loss of one's homeland in Karachay-Balkar folk songs of resettlement. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 454–464. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-454-464

Введение

«Депортация – массовое, насильственное выселение отдельных общностей, отобранных по определенному принципу (этническому, расовому, религиозному, социальному, политическому и т.д.), – признается в мировой практике военным преступлением и преступлением против человечности [1, с. 80]. К сожалению, во время Второй мировой войны произошла трагическая депортация народов, что стало одним из самых вопиющих примеров несправедливости. Людей, обреченных на страдания, перевозили в товарных вагонах в Сибирь и Среднюю Азию. Многие переселенцы, не выдержав тяжелой участи,

погибли в пути от голода и холода. «Народы из Северного Кавказа стали жертвами этой трагедии. Обездоленность и отчужденность этих этносов, настороженное отношение окружающих, видевших в спецпереселенцах один из факторов всех несчастий, свалившихся в годы войны, делали их жизнь невыносимой. Народы буквально выживали в экстремальных условиях за счет взаимовыручки, доброжелательного отношения и сплоченности. Казалось, все лучшее, что было заложено многовековым опытом народного воспитания, стало нормой жизни. Народы выстрадали надежду на победу добра, на торжество справедливости» [2, с. 30].

Балкарцы и карачаевцы также были среди спецпереселенцев Северного Кавказа. В связи с этим они, как и другие депортированные народы, «весьма на длительный срок были лишены не только среды своего обитания, т.е. предметов и объектов материальной и духовной культуры (культовых сооружений, музеев, театров, учебных заведений), но и возможности ее воспроизводства. …Потеря родины и национальной среды обитания при дисперсном расселении переселенцев почти неизбежно вела к этнокультурной деградации народов, отчуждению от родного языка и культуры» [3, с. 4]. «Карачаево-балкарский язык полностью был под запретом, его нельзя было изучать в различных учебных заведениях, …писать диссертационные работы. Позитивной стороной во время депортации было то, что при имеющихся материальных трудностях режим насилия не в силах был отнять у спецпереселенцев их устную речь: люди оказывали отчаянное сопротивление наступлению всеобщей интеграции» [4, с. 260].

Жестокий режим надзора и отсутствие возможности слагать стихи в письменной форме на родном языке не смогли подавить стремление переселенцев выразить свою тоску по дому. Трудности не смогли остановить поток фольклорных песен карачаевцев и балкарцев: люди продолжали сочинять поэтические тексты, которые служили выражением их народной идентичности и глубоко укоренились в национальной культуре. Благодаря народному творчеству и исполнению эти устные произведения стали известны многим. Народная песня, рожденная в страданиях, вселяла надежду на то, что справедливость восторжествует. Такие поэтические тексты бессмертны, потому что являются частью истории этноса. Слова песен, передаваясь из поколения в поколение, до сих пор сохранили память о прошлом. Они содержат боль и горечь несправедливо депортированных людей и являются свидетельством их стойкости духа.

Спустя годы мы по-прежнему можем почувствовать всю глубину трагедии, постигшей переселенцев, и разделить их боль. Устное народное творчество, развивавшееся в те дни, и помогло нам сохранить память об этих страданиях. «Интеллигенция старалась не потерять духовные корни, работала, несмотря на то, что нельзя было заниматься своей историей, культурой и языком» [4, с. 262]. В настоящее время карачаевскими и балкарскими специалистами в области фольклора и литературы накоплен обширный «историко-культурный материал, ценность которого определяется свойствами не только эстетического, но и ярко выраженного историографического характера» [5, с. 58]. «Устная народная словесность (*халкъны кёлден чыгъармачылыгъы)* карачаевцев и балкарцев представлена многообразием жанров, среди которых наиболее значимыми являются историко-героический эпос, сказания о нартах, легенды, предания, притчи и др. В развитии фольклора большую роль играют и малые жанры (пословицы, поговорки, благопожелания, загадки, проклятия и др.)» [6, с. 152].

Песни, предания, стихотворения о трагических днях карачаевцев и балкарцев напечатаны во многих сборниках: «Зорлукъ» («Реквием») [7], «Бушуу китаб» («Книга Скорби») [8; 9; 10], «Кѐчгюнчле эсгертмеси» («Словесные памятники выселения») [11], «По степени правды» [12], а также исследуемые поэтические произведения сохранились в архиве и фонотеке ИГИ КБНЦ РАН.

Основная часть

Фольклор стал для депортированных народов средством выражения всей боли и трагедии предыдущих поколений. Особое значение приобрели песни, которые точно отражали душевное состояние людей.

В них звучит глубокая горечь, и одним из самых ярких и запоминающихся символических образов являются холодные, безжизненные вагоны для скота, служившие средством перевозки депортированных. Эти вагоны, являющиеся олицетворением всей тяжести страданий, часто присутствуют в поэтических произведениях, посвященных трагической судьбе карачаевцев и балкарцев. Они выступают в роли холодных, безмолвных свидетелей бесчеловечного отношения, где неизвестность грядущих дней переполняла страхом и отчаянием души людей. Здесь, под стук колес, рушились их надежды и мечты, напоминая о необратимости пройденного пути и пугающей неизвестности, окутанной слезами и горькими воспоминаниями, и лишь правда о потерянной родине оставалась неколебимой.

«*Кёчюрдюле бизни къыйын кюнледе,*
Юйсюз, кюнсюз да этдиле.
Темир жол бла, мал эшелонла бла
Элтип, къум тюзлеге тёкдюле» [7, с. 284].

«Выселили нас в трудные дни,
Оставили без дома и крова.
По железной дороге, в эшелонах для скота
Отвезли и выгрузили в пустынных степях» (Здесь и далее перевод авторов).

«*Минги тауну да жилямукълары*
Басхан черегине агъалла.
Таулуладан толу эшелонла
Боран сюрген кибик баралла» [7, с. 269]

«Слезы Эльбруса
Падают в воды Баксана.
Эшелоны, наполненные горцами,
Едут, как будто бурей гонимы».

«Эшелон бла кетип барабыз
Орта Азияда тюзледе.
Ох, энди кимле жашай болурла
Ол биз жашаучу юйледе?!

Кёп сутканы биз да келген эдик,
Ол эшелондан тюшмейин.
Битеу таулу халкъ кёчюп кетген эдик,
Кавказ суундан ичмейин.

Эшелон бла келтире келип,
Бизни жол жанында къуйдула.
Жашаргъа сизге юйле беребиз деп,
Таукъ орунлагъа жыйдыла» [7, с. 235]

«Мы уезжаем на эшелонах
В степи Средней Азии.
Ох, теперь кто проживает
В домах, где жили мы?!

Много суток мы ехали,
Не выходя из эшелонов.
Весь балкарский народ был выселен,
Не выпив кавказской воды.

Привезли на эшелонах,
Выгрузили возле дороги нас.
Сказав, что дают нам дома для проживания,
Загнали в курятники».

Следующая песня о силе духа горцев в условиях депортации. Она призывает переселенцев оставаться людьми, несмотря на все трудности. Это обращение к тем, кто лишился родины, но не был сломлен. В каждой строке – неистребимая надежда, призыв сохранить достоинство, когда мир пытается его отнять. Имя горца всегда было значимо для народа, и призыв сохранить его честь – почти в каждой песне.

Это напоминание о том, что даже в самые темные времена человечность нельзя погасить. Пусть земля чужая под ногами, но сердце всегда помнит корни, а душа – боль утраты. Нельзя дать страху затмить свет жизни, а отчаянию сломить горский дух.

«*Таулулукъ ат айтыла келгенди,*
Таулулукъ атны жоймайыкъ.
Бир бирибизни кёп кюсегенбиз,
Энди аны унутуп къоймайыкъ.

Бизге къайырылгъан жау болуп,
Аны чайнамасын, жутмасын.
Халкъыбыз сыйлы къалай боллукъду,
Бир бирибизни тутмасакъ» [13]

«Имя **горец** звучало во все времена,
Не опозорим имя горца.
Долго тосковали друг по другу,
Теперь об этом не забудем.

Те, кто на нас задирается, став врагом,
Пусть не сможет его разжевать, проглотить.
Как наш народ сможет цениться,
Если не будем держаться друг за друга».

В карачаево-балкарской устной народной поэзии о выселении зафиксирован ряд текстов, в которых часто встречается упоминание даты восьмое марта, связанной с трагическим событием депортации балкарцев. В них, как правило, отсутствуют конкретные имена и детали, что позволяет каждому, кто пережил переселение или слышал о нем от своих предков, увидеть в этих строках отражение собственной истории. Восьмое марта становится не просто датой в календаре, а символом скорби и памяти, напоминанием о необходимости беречь мир и не допускать повторения подобных трагедий.

«8-*чи мартда аман чыкъгъанды*
Кавказ тауланы къаугъасы.
Красна армия харип Малкъаргъа
Бу болур берир саугъасы» [7, с. 266]

«8-го марта стала известной
Плохая весть о Кавказских горах.
Наверное, это и есть подарок
Красной армии для Балкарии».

«*Къыркъ тёртюнчю жыл — мартны сегизи,*
Кюнюбюз къарангы болгъанды.
Тынч жашап тургъан а малкъар эллени,
Ичлери къаугъадан толгъанды» [7, с. 274]

«Сорок четвертый год – восьмое марта,
Наш день стал темным.
Спокойно проживавшие балкарские селения
Стали полными волнений».

«*Айыртламай къарт, бала,*
Жилятханды къаугъагъыз.
8-чи март бла
Бумуду бизге саугъагьыз?..» [7, с. 324]

«Не разбирая, стар и млад
Заставили плакать без войны.
С 8-м марта
Это ваш нам подарок?»

«*Бир ачы къыйынлыкъ жетгенди*
Сегизинчи мартны кюнюнде.
Бир аман чачылып къалгъанбыз
Уллу Азияны тюбюнде» [7, с. 339]

«Большое несчастье настигло
В день восьмого марта.
Очень плохо разбросались
По (степям) Большой Азии».

Эти тексты, передаваемые из поколения в поколение, служат не только напоминанием о пережитой боли и утратах, но и способом сохранения исторической памяти. Холод, голод и боль разлуки с родной землей пронизывают тексты, но сквозь них пробивается надежда на возвращение: в небе парят птицы – символ свободы. Переселенцы обращаются к ним с мольбой: долететь до их родного дома или донести весть родным людям, сражающимся за землю, отнятую у них.

«*Кёкде баргъан ма алай кёк къуш,*
Сен бизни юйге къайта бар,
Мени Къазийим Белорусиядады,
Сен бизден салам айта бар» [13]

«По небу пролетающий, вот небесный орел,
Ты загляни в наш дом.
Мой Казий в Белоруссии (воюет),
Ты от нас привет передавай».

«*Указ чыкъды да*
Биз ызыбызгъа къайтыргъа,
Кёкде кёгюрчюнню Кавказгъа ийгенме
Таулагъа сюйюнчю айтыргъа» [7, с. 299]

«Вышел указ
Вернуть нас обратно домой.
Сизого голубя отправил на Кавказ
Горам благую весть рассказать».

Жизнь спецпереселенцев была отмечена нечеловеческим трудом. Тяжелая, изнурительная работа стала их повседневностью. Каждый рассвет приносил новые испытания, истощая силы и унося надежду. Тела, изможденные непосильными нагрузками, страдали от боли, а дух, подавленный постоянным страхом и напряжением, постепенно надламывался.

«*Кёзюмю юсюнден кетмейди, анам,*
Кавказ тауланы бийиги.
Къуу ёзенледе къалай жашасын
Кавказ тауланы кийиги.

Шахтагъа кирсем, чыгъама,
Кёмюр кибик, къаралып.
Ёлсем да термиле къаллыкъма,
Кавказ таулагъа таралып» [13]

«Перед глазами не уходит, мама,
Высота Кавказских гор.
В сухих долинах как проживет
Олень с Кавказских гор.

Когда захожу в шахту, выхожу обратно,
Почернев, как уголь.
Если даже умру, останусь, тоскуя,
По Кавказским горам страдая».

В условиях ссылки карачаевцы и балкарцы были лишены многих прав и находились под строгим контролем как спецпереселенцы: были лишены возможности открыто выступать против репрессивной власти и тем более критиковать Сталина или Берию. Песня была их единственным голосом, выражающим страдания, и немало этих голосов звучало в проклятиях в адрес «вождя народов». В этих песнях, передаваемых из уст в уста, как драгоценная реликвия таилась надежда на то, что когда-нибудь эти голоса будут услышаны, и справедливость восторжествует.

В этих поэтических произведениях передается тоска по родным горам Кавказа, а также звучат обвинения в адрес Сталина. Его политика, его решения, его безжалостная воля – вот что, по их мнению, стало причиной разлуки народа с любимой родиной.

«*Сталин бизни сейр этди,*
Къуру да жиляр турурча.
Ёлсем къабырымы сыртха салчыгъыз,
Кавказдан хауа урурча» [13]

«Сталин нас очень удивил,
Чтобы все время мы рыдали.
Когда умру, выройте мне могилу на вершине горы,
Чтобы с Кавказа ветер продувал».

В текстах «называются исторические лица, в той или иной мере связанные с описываемым историческим событием (Сталин, Берия, Калинин, Хрущев и другие). Документальность, «реализм факта» – их главное качество» [5, с. 58]. «Сдерживаемая из-за страха ненависть по отношению к Сталину и Берии после их смерти стала проявляться вначале скрытно, а вскоре, после XX съезда, – открыто» [2, с. 34]. Вместе с этим в песнях начали восхвалять Хрущева, который вернул несправедливо депортированные народы на исконную землю. Эти мелодии стали символом исправления ошибок прошлого и надежды на лучшее будущее.

«*Ит Берияны, ой, хатасындан,*
Кёп адамланы ёлтюрдю.
Биз Хрущевха ыспас этебиз,
Бизни элибизге келтирди.

Халкъгъа къара кюн келтирген элия.
Кюйсюз Сталин,ит буйругъун толтура,
Журтубузну сыйырды Берия.

Ким ийнаныр быллай бушуу хапаргъа,
Кече арада кючюклени улутхан!
О, къалай бой салгъын быллай къадаргъа,
Бир сагъатха журтубузну къурутхан!» [7, с. 260].

«Из-за собаки Берии
Много людей убили.
Мы благодарны Хрущеву,
Нас вернул в родное село.

Молния, принесшая народу черный день.
Жестокий Сталин, исполняя свой псиный приказ,
Родину отнял у нас Берия.

Кто поверит такому горькому рассказу,
В ночи заставивший выть собак!
О, как смириться с такой судьбой,
За один час родины лишивший!»

Нечеловеческие условия жизни в годы выселения привели к гибели большей части спецпереселенцев. При этом им удалось не утратить самобытность своей культуры, обеспечив преемственность вековых обычаев, ритуалов и преданий, которые переходят от родителей к детям. Через долгие тринадцать лет на чужбине карачаевцы и балкарцы вернулись на родину и уже на родной земле начали создавать песни, в которых отразилась глубокая скорбь всего многолетнего периода ссылки.

«*Онюч жылны къыйын жолда жюрюдюнг.*
Тас болмайды, дейле, тюзню къалачы.
О, жигит халкъ, тюзлюгюнгю тапханса.
Къуругъанды зор заманны мурдары,
Туугъан жерге, Минги таугъа къайтханса» [7, с. 261]

«Тринадцать лет проходил по трудной дороге,
Не пропадают, говорят, справедливые дела.
О, смелый народ, ты встретил свою справедливость.
Уничтожен притесненного времени убийца,
К родной земле, к Минги тау вернулся».

«*Биз онюч жылны термилип турдукъ*
Кавказ тауланы кёрюрге.
Сау къалгъанлагъа насып табылды,
Кавказагъа къайтып келирге» [11, с. 211]

«Мы страдали тринадцать лет,
Чтобы увидеть Кавказские горы.
Выжившим посчастливилось
Вернуться обратно на Кавказ».

Заключение

Таким образом, вопреки полному бесправию и отрыву от информации в чужих землях стойкость и дух несправедливо депортированных этносов превзошли все трудности. Эта сила дала им возможность адаптироваться и сохранить для будущих поколений свое культурное наследие и жажду борьбы за справедливость. Вопреки трагической тематике, в этих песнях и сказаниях прослеживаются сильный дух народа, его стойкость и вера в лучшее будущее.

Со временем устные рассказы из прошлого постепенно стали транслироваться в письменное творчество карачаевцев и балкарцев (в поэзии, прозе и драматургии, создаваемых авторами настоящего времени). Они стремились запечатлеть и передать широкому кругу людей истинное представление о трагедиях минувших лет. Песни доносят до читателя боль и несправедливость, которые испытал карачаево-балкарский народ, будучи трагически изгнанным с родной земли. Эти произведения, источником которых служат устные свидетельства и личные рассказы, обретают значимость как средство для понимания истории и укрепления национального самосознания. Они подчеркивают необходимость помнить о прошлом, чтобы создать будущее, где царят справедливость и мир.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Додуева А. Т., Гергокаева Т. М.* Языковая экспликация депортации в поэзии Кязима Мечиева // Долгая дорога домой: проблемы реабилитации в истории и культуре депортированных народов. Карачаевск, 19–21 октября 2017 г. С. 80–86.

2. *Цуцулаева С. С.* Песни депортированных народов, рожденные в годы ссылки // Вестник калмыцкого университета. 2020 г. № 4(48). С. 30–37.

3. *Сабанчиев Х.-М. А.* Были сосланы навеки. Нальчик: Эльбрус, 2004. 160 с.

4. *Улаков М. З., Мусуков Б. А.* Проблемы функционирования карачаево-балкарского языка в годы депортации // В сб. Долгая дорога домой: проблемы реабилитации в истории и культуре депортированных народов. Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 60-летию возвращения карачаевцев на историческую родину и восстановления их государственности. Карачаевск, 2017. С. 259–264.

5. *Берберов Б. А.* Сюргюн джырла как источник исторической информации // Долгая дорога домой: проблемы реабилитации в истории и культуре депортированных народов. Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 60-летию возвращения карачаевцев на историческую родину и восстановления их государственности. Карачаевск, 2017. С. 57–62.

6. *Улаков М. З., Махиева Л. Х.* Отражение фольклорной лексики в толковом словаре карачаево-балкарского языка // Сб. Фольклорный текст рубежа тысячелетия. Нальчик, 2021. С. 151–158.

7. *Эфендиев С. И., Ахматов И. Х., Гузеев Ж. М.* Зорлукъ (Реквием). Нальчик: Эльбрус, 1996. 384 с. (на балк. яз.)

8. *Байрамукова Ф. И.* Бушуу китаб (Книга Скорби). Документальный рассказ. Черкесск, 1991. Ч. 1. 200 с.

9. *Байрамукова Ф. И.* Бушуу китаб (Книга Скорби). Документальный рассказ. Черкесск, 1997. Ч. 2. 160 с.

10. *Байрамукова Ф. И.* Когда сердце горит от печали. М.: Московский дом национальностей, 2008. 360 с.

11. *Кѐчгюнчюле эсгертмеси* (Словесные памятники выселения) / Составитель, автор вступительной статьи Хаджиева Т. М. Нальчик: Эль-Фа, 1997. 384 с. (на балк. яз.)

12. *Урусбиева Ф. А.* По степени правды // В кн.: Портреты и проблемы: эссе, литературные портреты, статьи, рецензии. Нальчик: Эльбрус, 1990. 164 с.

13. *Архив ИГИ КБНЦ РАН.*18 папка. Паспорт 8, паспорт 9, паспорт 11 (на балк. яз.)

REFERENCES

1. Dodueva A.T., Gergokaeva T.M. *Yazykovaya eksplikaciya deportacii v poezii Kyazima Mechieva* [Linguistic explication of deportation in the poetry of Kyazim Mechiev]. *Dolgaya doroga domoy: problemy reabilitacii v istorii i kulture deportirovannyh narodov* [The long road home: problems of rehabilitation in the history and culture of deported peoples]. Karachaevsk, 19–21 oktyabrya 2017. Pp. 80–86. (In Russian)

2. Czuczulaeva S.S. Songs of deported peoples, born during years of exile. *Vestnik kalmyczkogo universiteta* [Bulletin of Kalmyk University]. 2020. No. 4(48). Pp. 30–37. (In Russian)

3. Sabanchiev X.-M. A. *Byli soslany naveki* [They were exiled forever]. Nalchik: Elbrus, 2004. 160 p. (In Russian)

4. Ulakov M.Z., Musukov B.A. *Problemy funktsionirovaniya karachayevo-balkarskogo yazyka v gody deportatsii* [Problems of functioning of Karachay-Balkar language during years of deportation]. V sb. *Dolgaya doroga domoy: problemy` reabilitacii v istorii i kul`ture deportirovannyh narodov* [The long road home: problems of rehabilitation in the history and culture of deported peoples]: Materialy Vserossijskoy nauchnoy konferencii, posvyashhennoy 60-letiyu vozvrashheniya karachaevcev na istoricheskuyu rodinu i vosstanovleniya ih gosudarstvennosti. Karachaevsk, 2017. Pp. 259–264. (In Russian)

5. Berberov B.A. *Syurgyun dzhyrla kak istochnik istoricheskoy informacii* [Syurgyun jyrla as a source of historical information]. *Dolgaya doroga domoy: problemy` reabilitacii v istorii i kul`ture deportirovanny`x narodov* [The long road home: problems of rehabilitation in the history and culture of deported peoples]: Materialy Vserossijskoy nauchnoy konferencii, posvyashhennoy 60-letiyu vozvrashheniya karachaevcev na istoricheskuyu rodinu i vosstanovleniya ix gosudarstvennosti. Karachaevsk, 2017. Pp. 57–62. (In Russian)

6. Ulakov M.Z., Makhieva L.Kh. *Otrazhenie folklornoy leksiki v tolkovom slovare karachayevo-balkarskogo yazyka* [Reflection of folklore lexicon in the explanatory dictionary of Karachay-Balkar language].

Sb. Folklornyy tekst rubezha tysyachaletiya. Nalchik, 2021. Pp. 151–158. (In Russian)

7. Efendiev S.I., Akhmatov I.Kh., Guzeev Zh.M *Zorluk* [Rekviem]. Nalchik: Elbrus, 1996. 384 p. (In the Balkar language)

8. Bairamukova F.I. *Bushuu kitab Dokumentalnyy rasskaz* [Kniga Skorbi]. [Book of Sorrows] Documentary story. Cherkessk, 1991. Ch. 1. 200 p. (In Russian)

9. Bairamukova F.I. *Bushuu kitab* [Kniga Skorbi]. *Dokumentalnyy rasskaz* [Book of Sorrow]. Documentary story. Cherkessk, 1997. Ch. 2. 160 p. (In Russian)

10. Bairamukova F.I. *Kogda serdce gorit ot pechali* [When the heart burns with sadness]. M.: Moskovskiy dom nacionalnostey, 2008. 360 p. (In Russian)

11. *Kèchgyunchyule esgertmesi* (Slovesnye pamyatniki vyseleniya) [Verbal monuments of eviction] / Sostavitel', avtor vstupitel'noy stat'i Khadzhieva T.M. [Compiled by T.M. Khadzhieva, author of the introductory article.]. Nalchik: El-Fa, 1997. 384 p. (In the Balkar language)

12. Urusbieva F.A. *Po stepeni pravdy* [According to the degree of truth]. V kn.: *Portrety i problemy: esse, literaturnye portrety, stati, recenzii* [In: Portraits and problems: essays, literary portraits, articles, reviews]. Nalchik: Elbrus, 1990. 164 p. (In Russian)

13. *Arkhiv IGI KBNTS RAN*. 18 papka. Pasport 8, pasport 9, pasport 11. [Archive of IGI KBSC RAS. Folder 18. Pasport 8, pasport 9, pasport 11]. (In the Balkar language)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Улаков Махти Зейтунович, д-р филол. наук, профессор, гл. науч. сотр. сектора карачаево-балкарского языка, Институт гуманитарных исследований – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18;

maxtti@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5972-8472, SPIN-код: 2697-4930,

Гергокова Лейла Созакбайовна, канд. филол. наук, ст. науч. сотр. сектора карачаево-балкарского фольклора, Институт гуманитарных исследований – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18;

leylagergokova79@mail.ru, ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7998-2075, SPIN-код: 1551-1668

Information about the authors

Makhti Z. Ulakov, Doctor of Philological Sciences, Professor, Senior Scientific Researcher of the Department of the Karachay-Balkar Language Sector, Institute of Humanitarian Researches – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia;

maxtti@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5972-8472, SPIN-code: 2697-4930

Leila S. Gergokova, Candidate of Philology, Senior Researcher at the Karachay-Balkar Folklore Sector, Institute of Humanitarian Researches – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia;

leylagergokova79@mail.ru, ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7998-2075, SPIN-code: 1551-1668

ФИЛОЛОГИЯ

УДК 811.512.142 Научная статья
DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-465-472
EDN: VWAZXI

Национально-культурные особенности фразеологических диалектизмов в карачаево-балкарском языке

М. З. Улаков, Б. А. Мусуков, Л. Х. Махиева✉, Л. Б. Кучмезова

Институт гуманитарных исследований –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18

Аннотация. В статье на основе лексическо-семантического анализа впервые систематизированы и установлены диалектные фразеологические единицы карачаево-балкарского языка в рамках его национально-культурной специфики.

Цель исследования – выявление социокультурного потенциала диалектных фразеологизмов, которые передают этнические особенности языковой картины мира носителей цокающего диалекта.

Материалы и методы исследования. Теоретико-методологической базой настоящего исследования послужили труды отечественных ученых и лингвистов, занимающихся изучением диалектной фразеологии в карачаево-балкарском языке. В качестве лексикографических источников были использованы: «Толковый словарь карачаево-балкарского языка» (в трех томах); «Краткий словарь малкарского Ц/З диалекта»; «Карачаево-балкарский фразеологический словарь», а также материалы из художественных произведений Д. Таумурзаева и И. Гадиева. В работе в основном применяются методы структурно-семантического и контекстуального анализа, описательный метод.

Результаты. На основе собранного фактологического материала проанализированы и отмечены отличительные национально-культурные особенности и оттеночные значения фразеологических диалектизмов. Объектом исследования с функционально-семантической точки зрения выступают диалектные фразеологизмы, характерные для цокающего диалекта, во всем их многообразии и богатстве.

Заключение. Практическая значимость работы заключается в том, что результаты и выводы исследования могут быть применены при проведении лекционно-семинарских занятий по современному карачаево-балкарскому языку и в составлении переводных словарей тюркских языков.

Ключевые слова: литературный язык, фразеологические диалектизмы, территориальный диалект, сфера употребления, система ценностных ориентиров, лексикографический аспект

Поступила 06.11.2025, одобрена после рецензирования 24.11.2025, принята к публикации 08.12.2025

Для цитирования. Улаков М. З., Мусуков Б. А., Махиева Л. Х., Кучмезова Л. Б. Национально-культурные особенности фразеологических диалектизмов в карачаево-балкарском языке // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 465–472. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-465-472

Original article

National and cultural features of phraseological dialecticisms in Karachay-Balkar language

M.Z. Ulakov, B.A. Musukov, L.Kh. Makhieva✉, L.B. Kuchmezova

Institute of Humanitarian Researches –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia

© Улаков М. З., Мусуков Б. А., Махиева Л. Х., Кучмезова Л. Б., 2025

Abstract. In the article, based on lexical and semantic analysis, dialectal phraseological units of the Karachay-Balkar language are systematized and established for the first time within the framework of its national and cultural specificity.

Aim. The study is to identify the socio-cultural potential of dialectal phraseological units that convey the ethnic characteristics of the linguistic worldview of speakers of the tsok dialect.

Materials and methods research. The theoretical and methodological basis of this study was provided by the works of Russian scholars and linguists engaged in the study of dialectal phraseology in the Karachay-Balkar language. The following lexicographic sources have been used: "Explanatory Dictionary of the Karachay-Balkar Language" (in three volumes); "Brief Dictionary of the Malkar Central/West Dialect"; "Karachay-Balkar Phraseological Dictionary", as well as materials from the fiction of D. Taumurzaev and I. Gadiev. The study primarily uses methods of structural-semantic, contextual analysis, and the descriptive method.

Results. Based on the collected factual material, the distinctive national and cultural characteristics and nuanced meanings of dialectical phraseological units have been analyzed and identified. From a functional and semantic perspective, the object of the study is dialectal phraseological units characteristic of the tsok dialect in all their diversity and richness.

Conclusion. The practical significance of this work lies in the fact that the results and conclusions of the study can be applied in lectures and seminars on the modern Karachay-Balkar language and in the compilation of translated dictionaries of Turkic languages.

Keywords: literary language, phraseological dialects, territorial dialect, sphere of use, system of value orientations, lexicographic aspect

Submitted 06.11.2025, approved after reviewing 24.11.2025, accepted for publication 08.12.2025

For citation. Ulakov M.Z., Musukov B.A., Makhieva L.Kh., Kuchmezova L.B. National and cultural features of phraseological dialecticisms in Karachay-Balkar language. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 465–472. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-465-472

Введение

В современном карачаево-балкарском языке функции диалектной лексики различны. По традиционному определению «диалект» – это местная разновидность языка в его отношении к общенародному языку и говорам. Для диалектных фразеологизмов исследуемого языка свойственно сохранение национальной идентичности, способствующее передаче национально-специфического мировоззрения, системы ценностных ориентиров. Они способствуют лучшему пониманию культуры народа, обогащая речь, наделяя ее эмоционально-экспрессивными особенностями. Также могут участвовать в реконструировании культурных и национальных ценностей через изучение диалектного слова и его значения.

Лингвисты, занимающиеся исследованием различных вопросов карачаево-балкарского языка, подчеркивают значительный этнолингвокультурный потенциал не только диалектной лексики, но и фразеологических диалектизмов с ярко выраженной национальной самобытностью.

В. Ю. Краева замечает, что «моделирование языковой картины мира диалектоносителя может и должно включать фразеологическую картину мира в качестве составляющего и дополняющего элемента в соответствии с современной научной парадигмой» [1, с. 14]. Такая задача приобретает особую значимость сегодня в связи с остро стоящей проблемой сохранения традиционных ценностей в современном национальном обществе.

Уникальная особенность, вероятно, свойственна не только национальным языковым картинам мира, но и территориальным диалектам с их национально-культурными особенностями языковых элементов. В диалектной картине мира центральное место отводится субъекту, вокруг которого формируется языковое пространство, «в диалектном языке в целом и в каждом территориальном диалекте фразеологизм имеет национальную

и региональную специфику…» [2, с. 117]. Данное утверждение справедливо также в отношении цокающего диалекта карачаево-балкарского языка.

В результате активного употребления диалектных фразеологизмов в обществе сохраняется история родного края, демонстрируются отличительные особенности образного выражения реальных явлений. При этом речь носителей цокающего диалекта обогащается синонимами и «крылатыми» сочетаниями, придающими ей необычную эмоциональность, экспрессивность, загадочность и выразительность.

Несмотря на наличие огромного числа научных работ по фразеологической лексике современного карачаево-балкарского языка, изучение многих вопросов диалектной фразеологии остается актуальным. В этой связи представляет научный интерес и рассмотрение национально-культурных особенностей фразеологических диалектизмов. Бесспорными в этом вопросе являются лишь лексикализованные словосочетания и сложные устойчивые выражения. «Однако фактологический материал показывает, что источниками образования ФЕ служат также диалектизмы, пословицы и поговорки, разговорная речь, ФЕ иноязычного происхождения» [3, с. 10].

Учитывая то, что фразеологические диалектизмы имеют ограниченную сферу употребления в отличие от литературных фразеологических единиц, «…теряющих силу своего воздействия, постепенно утрачивающих свои отличительные качества в постоянстве общенародного использования» [4, с. 411], они обладают неоспоримым преимуществом в виде неповторимой образности, яркости в наименовании реалий. Ср.: *жабы / жабу-жаха болургъа* (*ц.диал.*) и *даууp этерге* (*лит.*) «сильно шуметь», *жаны ауруйду* (*лит.*) и *жазыгъы келеди* (*б.-ч. гов.*) / *жюреги эриди* (ц.диал.) «он сочувствует, чувствует жалость, сострадание *к кому*», *дыгаласха къалды*, *дыгалас этеди (лит.*) и *ичи къыйтхы этеди*, *къан булдорук этеди* (*ц.диал.*) «заметать, засуетиться (в поисках выхода из положения и т.п.)», *къытыре болургъа* (*ц. диал.*) / *унамазгъа, къаты болургъа* (*лит.*) «быть настойчивым; требовать, настойчиво просить; отказываться», *гылбыз-гылбыз болургъа* (*ц.диал.*) / *кёз жашдан толургъа (кёзлени юсюнден)* «намокать, увлажняться, наполняться слезами (о глазах)» (слово *гылбыз* вне контекста не используется).

Языковой материал карачаево-балкарского языка свидетельствует о том, что некоторые диалектные фразеологизмы, характерные для определенной местности, отсутствуют в литературном языке. По своим категориальным признакам они соотносятся с литературными фразеологическими единицами. Например: *гынзыхындан асаргъа* «вынудить *кого* сделать *что-л.*», *шобушюгюн болургъа* «умолкать от сильного душевного беспокойства», *шымына-шыкъырт деп* «нежданно, внезапно» и др.

В исследуемом языке фразеологические диалектизмы отображают своеобразие этнического развития диалектоносителя, его историко-культурные связи в прошлом.

Основная часть

Диалектная лексика благодаря своей архаичности служит бесценным источником для лингвистических исследований, проливая свет на древние межязыковые связи. Изучение фразеологических диалектизмов способствует более глубокому осмыслению родственных связей между тюркскими языками.

Для многих писателей характерно использование народного языка. Такие мастера художественного слова, как Д. Таумурзаев, Д. Маммеев, И. Гадиев, А. Бегиев, Ж. Токумаев, М. Хучинаев, З. Зокаев и др., глубоко ценили богатство и особенности диалектной лексики и использовали ее в своем творчестве. Диалектные слова, фразеологизмы проникают в литературный язык через художественные произведения, где они апробируются, и в случае успешного интегрирования могут быть включены в словари литературного языка.

Взаимосвязь между литературным языком и диалектами – это непрекращающийся процесс. «Литературный язык постепенно адаптирует диалектные слова, унифицируя их особенности. Кроме того, они активно воздействуют на литературную норму, способствуя и содействуя ее эволюции. Освоенными литературным языком можно считать слова из цокающего диалекта. Так, из малкарского диалекта пришли слова *шёндю* «сейчас» (*лит. бусагъатда*), *абери* «что-либо» (*лит. жукъ, зат*), *юлкю* (котур) «куст» и др.» [5, с. 111].

На основе собранного фактологического материала диалектные фразеологические единицы в исследуемом языке условно разделяются на три группы:

1) фразеологические единицы, которые могут быть отмеченными в словарях как диалектные: *аккайын-боккайын берирге / аккай-боккайын берирге* «поругать, хорошенько отругать», *аттым сёзлю* «грубый, хамовитый (о человеке)», *босту-къастысына тёзалмай* «не выдерживать невысказанного недовольного выражения», *гылбыз-гылбыз болургъа* «наполняться слезами (о глазах)», *доу-доу этерге* «говорить; возмущаться», *ёкюм ёлю болургъа* «переживать, беспокоиться, печалиться», *ёфюре-чёфюре болургъа* «быть недостойным, плохим, бестолковым», *жабу-жаха этерге / жабу-жубу этерге* «шуметь», *жыгырык болургъа* «созреть, поспеть (о растениях: орех, орешник, чинар)», *зып-зып этерге* / *къоркъургъа* «испугаться, бояться, страшиться *кого-чего*», *хорийт этип айланыргъа* / *керексиз айлан* «бездельничать зря» [6, с. 8–116], *сархош болургъа* / *адыргы болургъа* /*цахалес этерге* «волноваться, не зная, что делать» и др.;

2) малоупотребительные устойчивые сочетания, не зафиксированные в словарях, но используемые как элементы народной речи в произведениях Д. Таумурзаева и И. Гадиева: *шобушюгюн болургъа* (*ц.диал*.) «умолкать от сильного душевного беспокойства», *тууупбитип* «*букв*. как родился и вырос»; *перен*. «отроду», *кефине / кебине келирге* «приобрести хороший вид» [7, с. 92–99], *ийматын юйюрюрге* «задать страху», *Аппаны жаны, къайры ахшы жолгъаса*? «Куда путь (*досл*. счастливую) держишь, душа моя (*досл*. душа деда)?», *атын тапдыр* «не оставлять без подарка, без внимания (от приданого невесты)», *Не саугъа бердиле? – Къаззиреу бла тыякъ*! «Что подарили? – Шиш с маком!» [8, с. 43–70]. В Верхней Балкарии есть еще шуточное ироничное выражение: «*Сен а жау кенеу этдириренг*!» дословно переводится как: «Ты бы, конечно, угостил маслом / жирными угощениями (имеется в виду богато угостил бы)!»;

3) диалектные варианты общеизвестных фразеологических единиц: *госмак* / *космак ийис этди / хорусмак ийис этди* (*лит*.) «запахло паленым», *къожан болуп сюеледиле / жокку болуп сюеледиле (лит.) / джоппу болуп сюеледиле* (*карач*.) «люди стоят группами», *мугъели болургъа / къара кесеу болургъа (лит.) мулдушху болургъа* / *къара къатыш болургъа* (*лит*.), *сыйкъан болургъа* / *къыт болургъа* «быть в малом количестве», *шинашик бюгерге* / *аякъ бюгерге* «танцевать на носках», *шымана: шымана-шыхырт деп* / *билмей, сакъламай тургъанлай* «внезапно, неожиданно; быстро», *ылыккым болургъа* / *къургъакъсыргъа, хуурери болургъа* «подсыхать, пересыхать, завянуть», *ылыкъыжы болургъа* / *суу кирип, жумушакъ балчыкъ болургъа* «промокнуть до нитки» и др. [6, с. 57–142].

Фактологические данные, выраженные в диалектных фразеологических единицах, показывают, что значительное число фразеологических единиц сосредоточено в цокающем Ц/З диалекте: *шобу шугун болургъа* (*ц.-диал*.) «сильно опечалиться», *ичи къыйтхы этеди* (*ц.-диал*.) «душа его (ее) горит» (*къыйтхы* «борона»), *зыбыхны басаргъа* (*ц.-диал*.) «подхалимничать» (*зыбых* «лесть»), *ушхолларын тюйдюрюрге* (*ц.-диал*.) «смешить до коликов» (*ушхол* «кишка»), *къаззиреу бла тыякъ* «кукиш (шиш) с маслом» (*къаздиреу* «чижик» (*спорт*.)), *ушхолларын тёгерге* «убить», *чогъож болургъа* (*ц.-диал*.) «раскаиваться, сожалеть», *ёз гынзыхындан такъды (ц.-диал.) / тюз тамагъындан такъды (лит.) / ёр мажагъындан асды* (*б.-ч. гов*.) «вынудить *кого*», *тахан болургъа* (*ц.-диал*.) «поддержать (друг друга)», *жылан жырмаз* (*ц. диал*.) «густой (о траве)», *фиринц бюртюк кибик* (*ц.-диал*) «очень чистый», *зан туккул* (*ц.-диал*.) «кусочек души» и др.

В представленных материалах используются диалектные слова, у которых нет аналогов в литературном языке, например: *шинашик* «нога», *къыды* «отава», *пулдугу/булдугу* «остаток; обрубок, обломок», *шобушюгюн* «беспокойство», *чыкъынжибут / къыллебут* «тонконогий» и др. Но в отдельных случаях употребляются диалектные фразеологические единицы, имеющие варианты в литературном языке. Необходимо также подчеркнуть, что многие из этих диалектных лексем не употребляются изолированно, т.е функционируют только в определенном контексте, и их значение вне контекста не раскрывается: *гылбыз-гылбыз болургъа* (*ц.диал.)* / *кёз жашдан толургъа (кёзлени юсюнден)* «намокать, увлажняться, наполняться слезами (о глазах)» (слово *гылбыз* вне контекста не используется)» [9, с. 629], *гынзыхындан асаргъа* «вынудить *кого* сделать *что-л.*», *шобушюгюн болургъа* «умолкать от сильного душевного беспокойства», *ийматын юйюрюрге* «задать страху, напугать; поругать *кого*» [10, с. 428], *пулдугундан олтуртургъа* «не давать возможность; вынудить, обязать человека», *кампирлери тюшерге* (*салыныргъа*) «грустить о *чем-либо*», *шинашик бюгерге* / *аякъ бюгерге* «танцевать на носках», *кыскыныкга къалыргъа / кирирге* «суетиться» [7, с. 92–99] и др.

Заключение

В целом использование диалектных фразеологизмов в карачаево-балкарском языке вызвано несколькими важными национально-культурными особенностями. Во-первых, рассмотренные дилектные фразеологизмы – живое наследие, передающееся из поколения в поколение, ставшее неотъемлемой частью этнокультурного кода народа. Они представляют собой своеобразное достояние, хранящее в себе вековые традиции и особенности мышления предков. Введение таких фразеологизмов в тексты – это не просто стилистический прием, а способ сохранить и передать богатство исследуемого языка, его подлинность и специфичность, самобытность и целостность, что особенно актуально в условиях глобализации и влияния других языков.

Во-вторых, важное значение имеют традиции устного народного творчества. Многие диалектные фразеологизмы возникли и развивались именно в этой среде, передаваясь из уст в уста, обогащаясь новыми смысловыми оттенками значения. Они тесно сопряжены с житейским опытом, бытом, обычаями и верованиями балкарцев, учитывая и отображая специфику их мировосприятия. Именно поэтому употребление таких выражений помогает более глубокому пониманию событий, описываемых в тексте, дает читателю возможность проникнуться атмосферой и духом времени, ощущать самобытность и достоверность изложенного: *дыф къысдырыкъдан отун алгъанлай* «будто украли запасы дров (у охранника ущелья)», *аппаны жаны да ыннаны ханы* «душа моя (*букв*. душа деда и баловень бабушки)», *гургун солуу эте* «запыхавшись», *ахырцы да оздуруф къойгъанды* «запустил (совсем)», *Цаллиуню тирмен канкурагыча къыйынлы* «несчатный, как колотушка мельницы Цаллиу», *кётюрюлюрге кезинмей* «не пытаясь вставать», *намысы жибиген фасыкъ* «безнравственный подлец», *сыр сагъыша кетди / къалды* «задумался», *талкъы ауузунда ийлениф цыкъгъан кибик сыфхарылыф къайтдынг* «уставший пришел, как выжатый лимон, *букв*. как будто на кожемялке разминали», *ыркъыфлана келген* «испытывая трудности», *базым кёллендиреди* «вдохновляет», *заманада салыннган байтамал журтлары* «стоящие испокон веков богатые башни» и др.

Исходя из вышеизложенного, следует отметить, что благодаря диалектным фразеологизмам художественный текст приобретает неповторимый колорит, становится все более ярким, выразительным, эмоционально насыщенным и запоминающимся. Они формируют уникальный национально-языковой ландшафт, создают особую атмосферу, погружая читателя в мир культуры, традиций народа.

Вместе с этим следует обратить внимание на то, что некоторые диалектные фразеологизмы, первоначально применяемые только в цокающем диалекте карачаево-балкарского языка, со временем могут переходить в литературный язык, расширяя его лексический запас и обогащая семантику, способствуя развитию и сохранению языка, появлению новых значений, смысловых и эмоциональных оттенков.

Следовательно, анализ фразеологических диалектизмов является не только стилистическим приемом, но и важным фактором, аспектом для осмысления территориальных вариантов и представляет ценный ресурс для этнолингвистических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Краева В. Ю.* Диалектная фразеология русских говоров Алтая (лингвокультурологический аспект): дисс. … канд. филол. наук. Барнаул, 2007.

2. *Загоровская О. В., Литвинова Т. А.* Принципы создания и формальная грамматика Многоаспектного автоматизированного словаря номинаций лиц в воронежских говорах // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. 2015. С. 117–121. EDN: VKCALZ

3. *Гузеев Ж. М., Мизиев А. М.* Фразеологизация свободных словосочетаний и предложений в карачаево-балкарском языке. Нальчик: Принт-Центр, 2013. 190 с.

4. *Диброва Е. И.* Фразеология // Современный русский язык. Теория. Анализ языковых единиц. В 2 частях. Ч. 1. М., 2001. С. 358–425.

5. *Махиева Л. Х., Кучмезова Л. Б.* Проблемы диалектной лексики в карачаево-балкарском языке // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Общественные науки. 2014. № 5(183). С. 109–115. EDN: SZIBSJ

6. *Гузеев Ж. М., Махиева Л. Х.* Къарачай-малкъар тилни малкъар (Ц/З) диалектини къысха сёзлюгю (Краткий словарь малкарского (Ц/З) диалекта карачаево-балкарского языка. Нальчик: Издательский отдел КБНЦ РАН, 2015.150 с.

7. *Таумурзаев Д. М.* Кто раньше? Нальчик: Эльбрус, 1978. 80 с. (на карач.-балк. яз).

8. *Гадиев И. М.* Избранное. Роман, повести, рассказы / Послесловие А. Теппеева. Нальчик: Эльбрус, 1994. 696 с.

9. Толковый словарь карачаево-балкарского языка в 3-х томах (Къарачай-малкъар тилни ангылатма сёзлюгю). Т. 1. А-Ж. Нальчик: Эль-Фа, 1996. 1016 с.

10. *Жарашуева З. К.* Къарачай-малкъар тилни фразеология сёзлюгю (Фразеологический словарь карачаево-балкарского языка). Нальчик: Полиграфсервис и Т, 2001. 476 с.

REFERENCES

1. Kraeva V.Yu. *Dialektnaya frazeologiya russkikh govorov Altaya (lingvokul'turologicheskiy aspekt)* [Dialectal phraseology of Russian dialects of Altai (linguocultural aspect)]: diss. Cand. Philological Sciences. Barnaul, 2007. (In Russian)

2. Zagorovskaya O.V., Litvinova T.A. Principles of creation and formal grammar of Multifaceted automated dictionary of nominations of persons in Voronezh dialects. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta* [Bulletin of the Volgograd State Pedagogical University]. 2015. Pp. 117–121. EDN: VKCALZ. (In Russian)

3. Guzeev Zh.M., Miziev A.M. *Frazeologizatsiya svobodnykh slovosochetaniy i predlozheniy v karachayevo-balkarskom yazyke* [Phraseologization of free phrases and sentences in the Karachay-Balkar language]. Nalchik: Print-Center, 2013. 190 p. (In Russian)

4. Dibrova E.I. Phraseology. *Sovremennyy russkiy yazyk. Teoriya. Analiz yazykovyh edinic* [Modern Russian language. Theory. Analysis of language units]. In 2 parts. Part 1. Moscow, 2001. Pp. 358–425. (In Russian)

5. Makhieva L.Kh., Kuchmezova L.B. Problems of dialectal vocabulary in the Karachay-Balkar language. *Bulletin of Hgher Education Institutes. Northern-Caucasus Region. Social Sciences*. 2014. No. 5 (183). Pp. 109–115. EDN: SZIBSJ. (In Russian)

6. Guzeev Zh.M., Makhieva L.Kh. *K"arachay-malk"ar tilni malk"ar (TS/Z) dialektini k"yskha sozlyugyu (Kratkiy slovar' malkarskogo (TS/Z) dialekta karachayevo-balkarskogo yazyka* [Karachay-malkar tilni malkar (C/W) dialectini kyskha sozlyugyu (Concise dictionary of Malkar (C/Z) dialect of the Karachay-Balkar language]. Nalchik: Izdatel'skiy otdel KBNC RAN, 2015. 150 p. (In the Balkar language)

7. Taumurzaev D.M. *Kto ran'she?* [Who came first?]. Nalchik: Elbrus, 1978. 80 p. (In the Karachay-Balkar language).

8. Gadiev I.M. *Izbrannoye. Roman, povesti, rasskazy* [Favorites. Novel, novellas, short stories]. Afterword A. Teppeeva. Nalchik: Elbrus, 1994. 696 p. (In Russian)

9. Explanatory dictionary of the Karachay-Balkar language in 3 volumes *(Karachay-malkar tilni angylatma sezlyugyu)*. Vol. 1. A-Zh. Nalchik: El-Fa, 1996. 1016 p. (In the Balkar language)

10. Zharashueva Z.K. *Karachay-malkar tilni phraseology sözlyugyu* [Phraseological dictionary of the Karachay-Balkar language]. Nalchik: Poligrafservis i T, 2001. 476 p. (In the Balkar language)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Улаков Махти Зейтунович, д-р филол. наук, профессор, советник генерального директора Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук, гл. науч. сотр. сектора карачаево-балкарского языка, Институт гуманитарных исследований – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18;

maxtti@mail.ru, ORCID : https://orcid.org/0000-0002-5972-8472, SPIN-код: 2697-4930

Мусуков Борис Абдулкеримович, д-р филол. наук, зав. сектором карачаево-балкарского языка, Институт гуманитарных исследований – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18;

bmusukov@bk.ru, ORCID: https://orsid.org/0000-0003-1765-0176, SPIN-код: 8975-4530

Махиева Людмила Хамангериевна, канд. филол. наук, доцент, зам. директора по научной работе, Институт гуманитарных исследований – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18;

liudmila.makhiieva@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6186-0395, SPIN-код: 3779-5112

Кучмезова Лариса Борисовна, канд. филол. наук, ст. науч. сотр. сектора карачаево-балкарского языка, Институт гуманитарных исследований – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18;

larisakuchmezova@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7384-1455, SPIN-код: 3634-1757

Information about the authors

Makhti Z. Ulakov, Doctor of Philological Sciences, Professor, Advisor to the Director General of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Senior Scientific Researcher of the Department of the Karachay-Balkar Language Sector, Institute of Humanitarian Researches – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia;

maxtti@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5972-8472, SPIN-code: 2697-4930

Boris A. Musukov, Doctor of Philological Sciences, Head of the Karachay-Balkar Language Sector, Institute of Humanitarian Research – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia;

bmusukov@bk.ru, ORCID: https://orsid.org/0000-0003-1765-0176, SPIN-code: 8975-4530

Lyudmila Kh. Makhieva, Candidate of Philological Sciences, Associate Professor, Deputy Director for Research, Institute of Humanitarian Research – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia;

liudmila.makhiieva@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6186-0395, SPIN-code: 3779-5112

Larisa B. Kuchmezova, Candidate of Philological Sciences, Senior Researcher, Karachay-Balkar language sector, Institute of Humanitarian Research – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia;

larisakuchmezova@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7384-1455, SPIN-code: 3634-1757

ЮБИЛЯРЫ

Василию Георгиевичу Закшевскому – 60 лет

Василий Георгиевич Закшевский, член редакционной коллегии журнала «Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН», 7 декабря 2025 г. отпраздновал свой 60-летний юбилей.

В. Г. Закшевский – доктор экономических наук, профессор, академик РАН, руководитель НИИ экономики и организации агропромышленного комплекса Центрально-Черноземного района – филиала ФГБНУ «Воронежский федеральный аграрный научный центр им. В. В. Докучаева».

Высшее экономическое образование В. Г. Закшевский получил в Алма-Атинском институте народного хозяйства. Научная деятельность В. Г. Закшевского началась в Казахском НИИ экономики и организации АПК, где он работал сначала старшим научным сотрудником, а затем заведующим отделом. После стажировки в Рединге университете (Великобритания) В. Г. Закшевский продолжил научную деятельность в должности заместителя директора по научной работе, а после в должности директора НИИ экономики и организации АПК ЦЧР. Здесь он стал доктором экономических наук, профессором, академиком РАН. В связи с реорганизацией научных учреждений и организацией научного центра с мая по октябрь 2020 г. В. Г. Закшевский работал заместителем директора ФГБНУ «НИИИХ ЦЧП». В связи с созданием филиала с октября 2020 г. В. Г. Закшевский переведен на должность руководителя НИИЭОАПК ЦЧР – филиала ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ им. В. В. Докучаева».

В. Г. Закшевский зарекомендовал себя как известный ученый-экономист, исследующий вопросы функционирования механизмов финансово-кредитного и налогового регулирования АПК, повышения инвестиционной привлекательности и инновационной активности АПК, развития человеческого капитала и сельских территорий. По этим проблемам академиком опубликовано более 300 работ, в том числе более 40 монографий и методических рекомендаций. Среди них наибольшую известность получили монографии: «Совершенствование финансово-кредитного механизма аграрного сектора АПК», «Экономический механизм стабилизации и развития сельскохозяйственного производства», «Ценообразование на рынке сельскохозяйственной продукции», «Инвестиционная привлекательность агропромышленного комплекса региона», «Инновационная деятельность в сельскохозяйственных предприятиях», «Совершенствование механизма кредитования сельского хозяйства», «Финансовые аспекты развития земельных отношений в сельском хозяйстве», «Финансовые отношения в АПК региона», «Мониторинг человеческого капитала сельских территорий с учетом пространственной локализации», «Мониторинг экономического пространства сельских территорий с учетом реализации интересов населения». В. Г. Закшевский является соавтором значимых для Воронежской области публикаций, подготовленных коллективом института совместно с другими учреждениями: «Система ведения агропромышленного производства Воронежской области на 1996–2000 гг.», «Система ведения АПК Воронежской области на период до 2010 года», «На пути к инновационному

развитию АПК: программы, опыт, научное обеспечение (на примере областей Центрального федерального округа)», «Инновационные основы системного развития сельского хозяйства: стратегии, технологии, механизмы».

Под руководством В. Г. Закшевского группой ученых разработаны: «Прогноз научно-технологического развития Воронежской области до 2030 года» по направлению «АПК и пищевая промышленность», «Стратегия социально-экономического развития Воронежской области на период до 2020 года», «Стратегия социально-экономического развития Воронежской области на период до 2035 года» по направлению «Развитие агропромышленного комплекса». Активно участвовал В. Г. Закшевский в разработке «Системы ведения агропромышленного производства административного района», одобренной Российской академией сельскохозяйственных наук и рекомендованной в качестве методического пособия для регионов РФ.

В институте получила развитие научная школа В. Г. Закшевского, под руководством которого защищено 18 диссертаций на соискание ученой степени кандидата экономических наук и 3 диссертации на соискание ученой степени доктора экономических наук. В настоящее время осуществляется руководство 3 аспирантами и 1 докторантом.

В. Г. Закшевский является членом Общественного совета и экспертной группы при Министерстве экономического развития Воронежской области, Совета по содействию развитию конкуренции в Воронежской области, Совета по научно-техническому и инновационному развитию АПК при губернаторе Воронежской области, Попечительского совета Воронежского государственного университета инженерных технологий (ВГУИТ), бюро Отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук.

В. Г. Закшевский заслуженно удостоен почетных званий и государственных наград: медали ордена «За заслуги перед Отечеством II степени» (2016), юбилейной медали «300 лет Российской академии наук» (2024), Почетной грамоты Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (2005), звания «Почетный работник агропромышленного комплекса России» (2010), Почетной грамоты Российской академии сельскохозяйственных наук (2010), Почетной грамоты Российской академии наук (2015), почетного знака Правительства Воронежской области «Благодарность от земли Воронежской» (2018), почетного знака «За добросовестный труд и профессионализм» (2020).

Уважаемый Василий Георгиевич, коллектив Кабардино-Балкарского научного центра РАН от всей души поздравляет Вас с 60-летием! Желаем Вам крепкого здоровья, счастья, благополучия и дальнейших творческих успехов на благо российской науки!

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ АВТОРАМИ В ЖУРНАЛ «ИЗВЕСТИЯ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН»

1. Журнал **«Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН»** публикует оригинальные научные, обзорные, аналитические статьи отечественных и зарубежных авторов, рецензии на книги и статьи, персоналии по следующим группам специальностей:

1.1. Математика и механика; 1.2. Компьютерные науки и информатика; 1.3. Физические науки; 1.6. Науки о Земле и окружающей среде; 2.3. Информационные технологии и телекоммуникации; 4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство; 4.2. Зоотехния и ветеринария; 5.2. Экономика; 5.4. Социология; 5.5. Политические науки; 5.6. Исторические науки; 5.9. Филология.

Журнал предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов, студентов. Периодичность – шесть выпусков в год. Журнал публикует статьи на русском и английском языках объемом не менее 8 и не более 20 страниц макетного формата (не менее 18 000 символов). Работы, превышающие объем, принимаются к публикации по специальному решению главного редактора журнала.

Журнал «Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН» вошел в Единый государственный перечень научных изданий – «Белый список» (решение Межведомственной рабочей группы по формированию и актуализации «Белого списка» научных журналов, 09.09.2025), 4-й уровень.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по научным специальностям и соответствующим им отраслям науки, категория журнала – К2 (распределение журналов по категориям, п. 1320):

<u>группа специальностей 2.3. Информационные технологии и телекоммуникации:</u>

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки),

2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки),

2.3.7. Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования (физико-математические науки),

2.3.8. Информатика и информационные процессы (технические науки);

<u>группа специальностей 4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство:</u>

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки),

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные науки),

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки);

<u>группа специальностей 5.2. Экономика:</u>

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике (экономические науки),

5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки),

5.2.6. Менеджмент (экономические науки).

2. К публикации в журнале «Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН» принимаются статьи, содержащие новые результаты. Статьи должны быть посвящены актуальным проблемам науки, содержать четкую постановку цели и задач исследования, строгую научную аргументацию, обобщения и выводы, представляющие интерес своей новизной, научной и практической значимостью. Журнал также публикует специальные выпуски, посвященные конференциям разного уровня по тематике журнала, обзорные

статьи. Не допускается направление в редакцию статей, уже опубликованных или посланных на публикацию в другие журналы. Результаты иных авторов, использованные в статье, следует должным образом отразить в ссылках. Представляя статью в журнал, авторы обязаны выполнять все требования по оформлению.

3. Направляя статью в журнал, каждый из авторов подтверждает, что она соответствует наивысшим стандартам публикационной этики для авторов и соавторов, разработанным COPE (Committee on Publication Ethics), см. http://publicationethics.org/about. Всем статьям, опубликованным в журнале, присваиваются идентификаторы цифрового объекта (DOI) для лучшего поиска и идентификации. Поступающие в редакцию статьи проходят проверку на плагиат через систему ***Антиплагиат*** (https://www.antiplagiat.ru), для принятия они должны иметь не менее 75 % уникальности текста.

4. Принятые к публикации в журнале «Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН» статьи проходят двойное слепое рецензирование, редакционную подготовку, после чего макет направляется на корректуру. Окончательный вариант предоставляется автору на вычитку. Срок предоставления статьи на вычитку автору – 3 рабочих дня.

5. Полнотекстовые версии статей, публикуемых в журнале, размещаются в Интернете в свободном доступе на официальном сайте журнала https://www.kbncran.ru/izvestiya-htm/, на сайте Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU, Научной электронной библиотеки «Киберленинка», в Российской государственной библиотеке, ВИНИТИ, Google Scholar, Российском центре научной информации (РЦНИ). Статьи по сельскому хозяйству размещаются в AGRIS. Статьи по математике, физике, информатике, математическому моделированию в экономике и по наукам о земле размещаются на Общероссийском математическом портале Math-Net.Ru www.mathnet.ru (http://www.mathnet.ru/php/journal.phtml?jrnid=izkab&optionlang=rus). Срок размещения редакцией очередного номера журнала – в течение 3 месяцев с даты выхода в свет номера.

6. Публикации в журнале для сотрудников КБНЦ РАН бесплатные, для сторонних авторов – 500 руб. за страницу (за оказание услуг по редакционно-издательской обработке статей). Для рецензентов (не членов редколлегии) предусмотрены льготы для опубликования.

7. Требования к рукописи статьи.

Рукопись статьи подается вместе с сопроводительным письмом, подписанным всеми авторами статьи, в котором авторы в том числе подтверждают, что подаваемая в журнал статья ранее не была опубликована, а также не представлена для рассмотрения и публикации в другом журнале. Число и состав авторов после подачи статьи на рецензирование не меняются.

Материалы предоставляются в редакцию журнала по адресу: 360010, Россия, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2 или на электронную почту ired07@mail.ru.

Все страницы, включая рисунки, таблицы и список литературы, следует пронумеровать.

В тексте статьи **обязательно** указывается:

- УДК https://teacode.com/online/udc/; ORCID; тип статьи (научная, обзорная, аналитическая,…); коды JEL (специальности: 5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике, 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика, 5.2.6. Менеджмент); AMS Subject Classification (по специальностям в областях математики, информатики, физики);

- название статьи на русском и английском языках;

- фамилия и инициалы автора (авторов) на русском и английском языках; электронная почта авторов (если несколько авторов, то указать * автора, ответственного за переписку);

- полное официальное название учреждения с указанием полного почтового адреса на русском и английском языках, адрес электронной почты (E-mail) **организации**;

- аннотация на русском и английском языках – в ней четко должны отражаться актуальность, новизна, методика и результаты научного исследования, выводы, объем – 150–200 слов;

- ключевые слова на русском и английском языках – не более 10–15 слов;

- основной текст статьи (структура): введение, цели и задачи исследования, методы исследования, результаты исследования, выводы (заключение);

- финансирование;

- вклад авторов.

В аннотации и заключении не допускается использование громоздких формул, ссылок на текст работы или список литературы.

Сведения об авторах (на русском и английском языках): фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, должность, название подразделения, полное название места работы (может быть более одного), рабочий адрес, ORCID, SPIN-код E–library.

Для связи с редакцией – **контактный телефон** одного из авторов.

8. Список литературы должен содержать только ссылки на научные статьи (периодические журналы, монографии, труды конференций и т.д.), которые упоминаются в тексте работы, расположенные в порядке цитирования, не менее 15. Ссылки на неопубликованные работы, результаты которых используются в доказательствах, не допускаются. Недопустимо использование ссылок на авторефераты, диссертации, газеты, интернет-сайты журналов, электронные газеты. Список литературы печатается в конце статьи, оформляется в соответствии с правилами, предусмотренными журналом. Все остальные источники, использованные при написании статьи, выносятся в сноски в конце каждой страницы (при необходимости). В списке литературы необходимо указывать не менее 50 % от общего количества источников за последние 5 лет (как самого автора, так и сторонних авторов, работающих в данном направлении; в том числе зарубежных источников), не более 20 % ссылок на собственные работы. Исключение составляют статьи, которые посвящены исследованиям конкретных документов.

В списке литературы должны быть указаны источники по образцу:

• статья – Фамилия И. О. Название статьи // Название журнала. Год. Том. Номер. С. …-… DOI…

• книга – Фамилия И. О. Название книги: монография. Город: Издательство, Год. … с.

• коллективная монография – Фамилия И. О. Название книги / под ред. Фамилия И. О. Город: Издательство, Год. … с.

• статья в сборнике конференций – Фамилия И. О. Название статьи // Название конференции: материалы конференции * / Название организации. Город, Год. С. …-… DOI…

• статья в электронном издании – Фамилия И. О. Название статьи [Электронный ресурс] // Название журнала, Год. Том. Номер. С. …-… URL:… (дата обращения: число, месяц, год).

9. Список литературы **полностью** дублируется на **английском языке** независимо от того, имеются в нем иностранные источники или нет.

Пояснения по формированию Списка литературы и References.

Если статья, на которую указывает ссылка, была переведена на английский язык и опубликована в английской версии журнала, необходимо указывать ссылку из переводного источника! Указания (учебное пособие, монография, перевод, количество томов и т.д.) в References можно опускать. При цитировании оригинального источника на английском языке в названии с прописной буквы пишется первое слово. В названии журнала пишется каждое полнозначное слово с прописной буквы.

Библиографические описания публикаций в References составляют в следующей последовательности:

журнальная статья

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of article. *Zaglavie jurnala* [Title of Journal]. Year. Vol. ... No. ...iss. … Pp. ...-… DOI (In Russian);

в случае, если у журнала есть официальное название на английском языке, источник оформляется в таком виде:

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of article. *Title of Journal*. Year. Vol. ... No. ...iss. … Pp. ...-… DOI (In Russian);

монография, книга, глава из книги, препринт

Author A.A., Author B.B., Author C.C. *Nazvanie* [Title of book]. Gorod: Izdanie. Year. Pages p. (In Russian);

статья в материалах конференции

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of paper. *Nazvanie konferensii.* Gorod, Organizacia. Year. Pages p. (In Russian);

статья в электронном издании

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of paper. *Nazvanie zhurnala,* Year, Pages p., available at: http…. (accessed Data Year).

На сайте http://translit-online.ru/ можно бесплатно воспользоваться программой транслитерации русского текста в латиницу.

10. Требования к электронному носителю:

- к статье прилагается электронный вариант в формате Microsoft Office Word 2007, Windows XP, Windows 7, 10;
- статья должна быть набрана в формате А4 с полями: верхнее и нижнее – 2,0 см; левое – 2,5 см; правое – 2 см, шрифтом Times New Roman, размер 14, полуторный интервал;
- таблицы, алгоритмы, рисунки, схемы и т.п. должны быть редактируемые и выполнены в формате А4 книжной ориентации;
- формулы должны быть набраны в программе MathType, нумеровать следует те формулы, на которые есть ссылки в тексте статьи.

11. Решение о публикации или отклонении авторских материалов принимается редколлегией в соответствии с правилами рецензирования статей. Для экспертной оценки статей привлекаются ведущие специалисты по основным научным направлениям (рубрикам) выпуска журнала.

12. Редакция не вступает в дискуссию с авторами отклоненных материалов.

13. В каждом выпуске публикуется, как правило, не более одной статьи одного и того же автора. Решение о публикации более одного материала принимается редакционной коллегией и главным редактором журнала.

14. Статьи, оформленные без соблюдения указанных правил, не рассматриваются.

15. Авторы могут использовать искусственный интеллект (ИИ) при написании текстов, однако при этом они должны указать, если такие технологии применялись, и в какой степени. ИИ может помочь авторам в анализе и визуализации данных, что может повысить качество представленных результатов. Перед направлением статьи в редакцию журнала авторы обязаны проверить материал на корректность и достоверность. Если инструменты ИИ были использованы для сбора данных, анализа или написания текста, это должно быть указано в разделе статьи «Материалы и методы». В случае неуказания автором использования ИИ и его обнаружения в ходе работы со статьей в редакции журнала статья отклоняется.

FORMATTING RULES FOR ARTICLES TO BE SUBMITTED BY AUTHORS TO THE JOURNAL "NEWS OF THE KABARDINO-BALKARIAN SCIENTIFIC CENTER OF RAS"

1. The journal **"News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS"** publishes original scientific, review, analytical articles by domestic and foreign authors, reviews of books and articles, personalities in the following groups of specialties:

1.1. Mathematics and Mechanics; 1.2. Computer Science and Informatics; 1.3. Physical Sciences; 1.6. Earth and Environmental Sciences; 2.3. Information Technologies and Telecommunications; 4.1. Agronomy, Forestry and Water Management; 4.2. Zootechnics and Veterinary Medicine; 5.2. Economics; 5.4. Sociology; 5.5. Political Sciences; 5.6. Historical Sciences; 5.9. Philology.

The journal is intended for researchers, teachers, postgraduate students, undergraduates, students. Frequency – six issues per year. The journal publishes articles in Russian and English with a volume of no less than 8 and no more than 20 pages of the layout format (at least 18 000 characters). Papers exceeding that volume may be accepted for publication by special decision of the Editor-in-chief of the journal.

The journal "News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS" has been added to the Unified State List of Scientific Publications – the "White List", level 4 (decision of the Interdepartmental Working Group on Formation and Update of the "White List" of Scientific journals, September 9, 2025).

The journal is included in the List of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for the degree of Candidate of Science, for the degree of Doctor of Science in scientific specialties and their respective branches of science should be published, category of the journal – K2 (distribution of journals according to categories, par. 1320):

group of specialties 2.3. Information technology and telecommunications:

2.3.1. System analysis, management and information processing, statistics (technical sciences),

2.3.3. Automation and control of technological processes and productions (technical sciences),

2.3.7. Computer modeling and design automation (physical and mathematical sciences),

2.3.8. Informatics and information processes (technical sciences);

group of specialties 4.1. Agronomy, forestry and water management:

4.1.1. General farming and crop production (agricultural sciences),

4.1.2. Breeding, seed production and plant biotechnology (agricultural sciences),

4.1.3. Agrochemistry, agrosoil science, plant protection and quarantine (agricultural sciences);

group of specialties 5.2. Economy:

5.2.2. Mathematical, statistical and instrumental methods in economics (economic sciences),

5.2.3. Regional and sectoral economics (economic sciences),

5.2.6. Management (economic sciences).

2. Articles are accepted for publication in the journal "News of the Kabardino-Balkarian scientific center of RAS" if they contain new results. Articles should be devoted to topical problems of science, contain a clear statement of the goal and objectives of the study, rigorous scientific argumentation, generalizations and conclusions that are of interest for their novelty, scientific and practical significance. The journal also publishes special issues devoted to conferences of various levels on the subjects of the journal, review articles. It is not allowed

to send to the editorial office articles that have already been published or sent for publication to other journals. The results of other authors used in the article should be duly reflected in the references. Submitting an article to the journal, authors are obliged to fulfill all the requirements of the journal for their formatting.

3. By submitting an article to the journal, each author confirms that it meets the highest standards of publication ethics for authors and co-authors, developed by COPE (Committee on Publication Ethics), see http://publicationethics.org/about. All articles published in the journal are assigned digital object identifiers (DOIs) for better search and identification. Articles submitted to the editorial office are checked for plagiarism through the ***Antiplagiat*** system (https://www.antiplagiat.ru); for acceptance they must have at least 75 % of the uniqueness of the text.

4. Articles accepted for publication in the journal "News of the Kabardino-Balkarian scientific center of RAS" undergo double blind peer review, editorial preparation, after which the final layout is sent for correction. The final version is provided to the author for proofreading. The time period for submitting the article to the author for proofreading is 3 working days.

5. Full-text versions of articles published in the journal are posted on the Internet in free access on the official website of the Scientific Electronic Library eLIBRARY.RU, Scientific electronic library "Cyberleninka", in the Russian state library, VINITI, Google Scholar. Russian Center for Scientific Information (RCSI). Articles on agriculture are posted on AGRIS. Articles on mathematics, physics, computer science, mathematical modeling in economics and geosciences are posted on the All-Russian portal Math-Net.Ru www.mathnet.ru (https://www.mathnet.ru/php/journal.phtml?jrnid=izkab&option_lang=eng). The time for posting of the journal in the web must be within 3 months from the date of issue.

6. Publications in the journal for KBSC RAS employees are free, for outside authors – 500 rubles per page (for providing articles editing and publication services). For reviewers (not members of the editorial board) privileges for publication are provided.

7. Requirements for the manuscript of the article.

The manuscript of the article is submitted together with a covering letter signed by all authors of the article, in which the authors, among other things, confirm that the article submitted to the journal has not been previously published, and has not been submitted for consideration and publication in another journal. The number and composition of authors does not change after submitting an article for reviewing.

Materials are submitted to the Editorial and Publishing Department: 360010, Russia, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Balkarov street, 2, or email: ired07@mail.ru.

All pages, including figures, tables and references, should be numbered.

The following indications in the text of the article are **mandatory**:

- UDC https://teacode.com/online/udc/; ORCID; type of article (scientific, review, analytical, ...); JEL codes (specialty 5.2.2. Mathematical, statistical and instrumental methods in Economics, 5.2.3. Regional and sectoral economics, 5.2.6. Management); AMS Subject Classification (in the fields of mathematics, computer science, physics);

- the title of the article in Russian and English;

- surname and initials of the author(s) in Russian and English; e-mail of authors (if there are several authors, then indicate * the author responsible for the contact correspondence);

- the full official name of the institution, indicating the full postal address in Russian and English, the electronic mail address (E-mail) of the **organization;**

- abstract in Russian and English – it should clearly reflect the novelty, relevance and methodology and results of scientific research, conclusions, volume is no more than 150–250 words;

- keywords in Russian and English – no more than 10–15 words;

- main text of the article (structure): introduction, goals and objectives of the research, research methods, research results, conclusions;

- financing;

- contribution of the authors.

The abstract and conclusion should not contain cumbersome formulas, references to the text of the work or the list of references.

Information about the authors (both in Russian and English): last name, first name, patronymic, academic degree, academic title, position, department name, full name of the place of work (there may be more than one), work address, contact phone number, ORCID, SPIN-code E–library.

The contact phone number of one of the authors to contact the editorial office.

8. The list of references should contain only links to scientific articles (periodicals, monographs, conference proceedings, etc.) to which there are references in the text of the work, arranged in the order of citation, not less than 15. References to unpublished works, the results of which are used in the proofs, are not allowed. It is unacceptable to use links to abstracts, dissertations, newspapers, websites of journals, electronic newspapers. The list of references is printed at the end of the article, drawn up in accordance with the rules provided by the journal. All other sources used in the article are placed in footnotes at the end of each page (if necessary). At least 50 % of the total number of sources in the list of references should be of the last 5 years (both the author's himself and other authors working in this direction as well as foreign sources) and not more than 20 % references to own works. The exception is made for articles that are devoted to the study of specific documents.

In the list of references, sources should be indicated according to the sample:

• article – Surname and initials of the name and patronymic. Title of the article // Title of the journal. Year. Volume. Number. Pp. ... - ... DOI ...

• book – Surname and initials of the name and patronymic. Book title: monograph. City: Publisher, Year. … p.

• collective monograph – Surname and initials of the name and patronymic. Title of the book. editor – Surname and initials of the name and patronymic. City: Publisher, Year. … p.

• article in the collection of conference materials – Surname and initials of the name and patronymic. Title of the article // Title of the conference: materials of the conference * / Name of the organization. City, Year. Pp. ... - ... DOI

• article in the electronic edition – Surname and initials of the name and patronymic, The title of the article [Electronic source] // Journal name, Year. Volume. Number. Pp.… -… URL:… (date of access: date, month, year).

9. The list of references is **fully** duplicated in **English,** regardless of whether it contains foreign sources or not.

Explanations on the formation of the list of literature and References.

If the article to which the reference points was translated into English and published in the English version of the journal, you must provide the link from the translated source! Descriptions (tutorial, monograph, translation, number of volumes, etc.) in References may be omitted. When citing an original source in English, the first word is capitalized in the title. Each full-valued word is capitalized in the title of the journal.

Bibliographic descriptions of publications in References are in the following sequence:

journal article

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of article. *Zaglavie jurnala* [Title of Journal]. Year. Vol. ... No. ...iss. … Pp. ...-… DOI (In Russian);

if the journal has an official name in English, then the reference is formatted in the following way:

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of article. *Title of Journal*. Year. Vol. ... No. ...iss. … Pp. ...-… DOI (In Russian);

monograph, book, chapter from a book, preprint

Author A.A., Author B.B., Author C.C. *Nazvanie* [Title of book]. Gorod [City], Izdanie [Publisher]. Year. Pages p. (In Russian);

article in conference materials

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie [Title of paper]. *Nazvanie konferensii* [Title of the conference]. Gorod [City], Organizacia [Organization]. Year. Pages p. (In Russian);

article in electronic edition

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of paper. *Nazvanie zhurnala,* Year, Pages p., available at: http…. (accessed Data Year).

On the site http://translit-online.ru/ you can use the program of transliteration of the Russian text into the Latin alphabet for free.

10. Requirements for electronic media:

- an electronic version in the format of Microsoft Office Word 2007, Windows XP, Windows 7, 10 is attached to the article;
- the article should be typed in A4 format with margins: top and bottom – 2.0 cm; left – 2.5 cm; right – 2 cm, the article should be typed in Times New Roman, size 14, one and a half spacing;
- editable tables, algorithms, figures, diagrams, etc. must be in A4 format, portrait orientation;
- Equations must be typed using the MathType program and equations that are referenced in the text should be numbered.

11. The decision to publish or reject author(s) materials is made by the editorial board in accordance with the rules for reviewing articles. Leading experts in the main scientific directions (headings) of the journal are involved in the expert assessment of the articles.

12. The editorial office does not enter into discussions with the authors of the rejected materials.

13. As a rule no more than one article by one and the same author is published in an issue. The decision to publish more than one material is made by the editorial board and the chief editor of the journal.

14. Articles violating these formatting rules are not considered.

15. Authors can use artificial intelligence (AI) in their writing, but they should disclose if such technologies were used and to what extent. AI can assist authors in analyzing and visualizing data, which may enhance the quality of the results presented. Before submitting an article to the journal's editorial office, authors are required to ensure that the material has been checked for accuracy and reliability. If AI-powered tools were used for data collection, analysis, or text generation, this should be clearly indicated in the "Materials and Methods" section of the paper. Failure to disclose the use of AI may result in the article being rejected if it is discovered during the review process.

Указатель статей, опубликованных в журнале «Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН» в 2025 году

	Разделы журнала по специальностям	№	С.
	Математика и механика		
1.	*Кармоков М. М., Керефов М. А., Геккиева С. Х.* Смешанная краевая задача для одного разрывно-нагруженного параболического уравнения	6	13
2.	*Лосанова Ф. М., Кенетова Р. О.* Нелокальная краевая задача для нагруженного уравнения Маккендрика – фон Ферстера дробного порядка	6	24
3.	*Масталиев Р. О.* Необходимые условия оптимальности первого и второго порядков для непрерывной стохастической задачи управления типа Россера	3	11
4.	*Хуштова Ф. Г.* Об обращении преобразования Лапласа одной функции, содержащей гиперболический тангенс	6	30
5.	*Энеева Л. М.* О единственности решения функционально-интегрального уравнения дробного порядка с инволюцией	6	39
	Информационные технологии и телекоммуникации		
	Системный анализ, управление и обработка информации, статистика		
6.	*Айгумов А. А., Пшенокова И. А.* Концептуальная модель мультиагентной системы инновационного инвестирования с использованием нейрокогнитивных архитектур	5	13
7.	*Анчёков М. И.* Разработка архитектуры программного комплекса агентного моделирования интеллектуальных агроинженерных систем	6	135
8.	*Анчёков М. И., Курашев Ж. Х.* Мультиагентное моделирование в биологии растений	5	26
9.	*Георгиева М. А., Першин И. М.* Математическое моделирование взаимовлияния атмосферных осадков и гидролитосферных процессов на наклонные поверхности	1	133
10.	*Димитриченко Д. П.* Исследование свойств процессов, характеризующихся логистическими кривыми, при помощи вероятностных клеточных автоматов	6	142
11.	*Дьячкова В. В., Коваленко Е. С.* Нейросетевая модель оценки надежности контрагентов в системе закупок металлургического предприятия	3	29
12.	*Жилов Р. А.* Модель сигма-пи нейронной сети для кластеризации данных	5	34
13.	*Звягин Л. С.* Вопросы функционирования информационных систем для повышения производительности технологических циклов в различных отраслях промышленности	6	157
14.	*Карелина М. Ю., Клюев Р. В., Сердечный Д. В.* Особенности энергоснабжения автономных объектов в условиях труднодоступных территорий	5	43
15.	*Климавичус Я. Э.* Экологическое загрязнение земель как сложный технический объект системного анализа	5	54
16.	*Константинов А. Ф., Дьяконова Л. П.* Построение модели машинного обучения для прогнозирования мошеннических транзакций	2	11
17.	*Константинов А. Ф., Дьяконова Л. П.* Разработка подхода к классификации дефолта заемщика на основе интеграции методов предварительной обработки и методов машинного обучения	5	68
18.	*Константинов А. Ф., Дьяконова Л. П.* Сравнительный анализ методов снижения дисбаланса классов при построении моделей машинного обучения в финансовом секторе	1	143
19.	*Нагоев З. В.* Нейропсихологическая архитектура агента универсального искусственного интеллекта	6	186

20.	*Нагоев З. В.* Основные принципы нейрокогнитивного моделирования сознания агента универсального искусственного интеллекта	1	152
21.	*Нагоев З. В., Нагоева О. В.* «Что делает мозг?», или Решение априорно не определенных проблем на основе синтеза поведения автономного агента в реальной среде	6	172
22.	*Нагоев З. В., Нагоева О. В.* Концепция коллаборативной системы автоматического виртуального прототипирования нейропротезов на основе гносеографических алгоритмов обучения интеллектуальных программных агентов	5	80
23.	*Нгуен Т. К., Нгуен М. Т.* Задача обнаружения надводных объектов в условиях плохой видимости	1	171
24.	*Пшенокова И. А., Анчёков М. И., Бжихатлов К. Ч., Нагоев З. В., Нагоева О. В., Хамов А. А.* Коллаборативная диалоговая система имитационного моделирования растений на основе нейропсихологических агентов универсального искусственного интеллекта	6	209
25.	*Темроков А. З., Бжихатлов К. Ч.* Интеллектуальная рекомендательная система для защиты яблоневых садов в КБР	2	23
26.	*Ушаков А. Е., Стебулянин М. М., Шереужев М. А., Девяткин Ф. В.* Разработка системы управления курсом беспилотного автомобиля на основе обучения с подкреплением	3	39
27.	*Фам Чонг Х., Шилин А. А., Нгуен М. Т.* Исследование влияния электромагнитных процессов BLDC-мотора на показания гироскопа	3	55
	Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами		
28.	*Артемьев В. С.* Адаптивное управление тиристорными реверсивными электроприводами пивоваренных линий на основе критерия интегральной устойчивости	5	98
29.	*Артемьев В. С.* Цифровой двойник SCADA-интегрированной станции CIP-мойки	4	11
30.	*Закожурников С. С., Закожурникова Г. С., Приходьков К. В., Горшунова Т. А., Пихтилькова О. А., Пронина Е. В., Лавренов С. С.* Разработка автоматизированной системы управления процессом сортировки	5	113
31.	*Заммоев А. У., Абуталипов Р. Н.* Биоинженерные нейрокомпьютерные интерфейсы: вводный обзор технологий, клинических применений и этико-правовых вызовов	5	125
32.	*Искаков С. А., Мунасыпов Р. А., Целищев О. В.* Универсальная мобильная платформа для обслуживания станков с числовым программным управлением	6	47
33.	*Ковалёв Д. А.* Имитационное моделирование подсистемы сжигания черного щелока в топке содорегенерационного котлоагрегата	3	73
34.	*Максимов А. С., Артемьев В. С., Мангушева Л. С., Мекшенева Ж. В.* Облачно-периферийная экосистема когнитивной автоматики для интегрированного менеджмента CIP-процессов пивзавода	5	143
35.	*Ребус Н. А., Благовещенский И. Г., Ратанова О. В., Мастяев Ф. А.* Роль технологий искусственного интеллекта в цифровой трансформации российского производства	2	37
36.	*Салахутдинова Н. Ч., Варламов О. О.* Применение миварных экспертных систем для диагностики бактериальной устойчивости к антибиотикам	2	55
37.	*Шереужев М. А., Ушаков А. Е., Семянников И. В.* Проектирование мобильного робототехнического комплекса по обслуживанию нефтехранилищ	6	60
	Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования		
38.	*Анахаев К. Н., Бестужева А. С., Беликов В. В., Балкизов А. Б., Мамчуев М. О.* Моделирование устойчивости откоса по различным кривым скольжения	4	55
39.	*Кудринская О. В., Паровик Р. И.* Компьютерное моделирование в среде Maple динамических процессов в условиях неопределенности на примере задачи метеорологии	2	74
40.	*Никитенко В. А., Васильев Д. А.* Информационное моделирование строительных конструкций: создание арочной фермы в среде визуального программирования Dynamo	1	100

41. *Твёрдый Д. А., Паровик Р. И.* Обратная задача по идентификации значений функции переменного порядка дробной производной в математической модели аномальных вариаций объемной активности радона 6 77

Информатика и информационные процессы

42. *Городничев М. Г. О применении обучения с подкреплением в задаче выбора оптимальной траектории движения* 2 86

43. *Городничев М. Г., Полянцева К. А., Разумовский И. Д.* Применение мультимодальных нейросетевых методов для определения качества дорожного полотна 6 89

44. *Иксанов В. Р.* Разработка ИАС для решения задачи прогнозирования промышленной экономики 3 88

45. *Исаев Ф. И., Исаева Г. Н.* Анализ ограничений мобильных сетей и потенциала распределенных вычислений на смартфонах 4 24

46. *Казаков М. А.* Робастный оптимизатор Adam на основе усредняющих агрегирующих функций 5 159

47. *Казакова Е. М.* Робастная модификация PSO на основе М-средних для решения задач линейной регрессии 6 109

48. *Канаметова Д. А.* Эволюция производственных функций от Кобба–Дугласа до методов машинного обучения 6 117

49. *Коршиков С. В.* Искусственный интеллект в пищевой отрасли 3 99

50. *Лютикова Л. А., Кочкарова М. С.* Логико-математическая интерпретация решений интеллектуальных агентов 6 125

51. *Пшенокова И. А., Киясов М. Р.* Модели и методы глубокого обучения в задачах распознавания и классификации медицинских изображений 2 103

52. *Рыбаков Д. А.* Оптимизация передачи данных в городских информационных системах на основе методов теории графов 5 168

53. *Тихонов Д. В.* Автоматизированная система информационной поддержки технического диагностирования радиоэлектронной аппаратуры программно-аппаратных комплексов 3 107

54. *Тихонов Д. В.* Исследование основных методов автоматической обработки, группировки и аннотирования информации 1 111

55. *Триполева Д. В.* Современные методы поддержки принятия решений в управлении товарными запасами с применением RFID-технологий 4 35

56. *Чеканов И. Р., Кузнецов А. С.* Системный подход к управлению документационным обеспечением в области информационной безопасности промышленных предприятий 1 120

Агрономия, лесное и водное хозяйство

Общее земледелие и растениеводство

57. *Абазов А. Х., Абидова Г. Х., Лихова З. Х., Сарбашева А. И., Батырова О. А.* Селекционные исследования по картофелю в Кабардино-Балкарии 5 180

58. *Аппаев С. П., Азубеков Л. Х., Караев В. Ю., Шомахов Б. Р.* Оценка экологической пластичности и стабильности среднеспелых гибридов кукурузы 6 225

59. *Багринцева В. Н., Ивашененко И. Н.* Эффективность применения аммиачной селитры и удобрения КАС-32 при возделывании кукурузы на зерно 5 191

60. *Егорова Е. М., Таумурзаева Ф. Д.* Влияние различных приемов воздействия на побеги голубики высокорослой при размножении отводками 2 113

61. *Егорова Е. М., Таумурзаева Ф. Д.* Укоренение одревесневших черенков голубики высокорослой без применения туманообразующей системы 1 11

62. *Качаров О. Д., Мусаев М. Р.* Продуктивность сортов суданской травы на фоне применения регуляторов роста 2 122

63. *Мамсиров Н. И., Башков В. И.* Продуктивность и экономическая эффективность применения гербицидов при возделывании сахарной свеклы 6 233

64. *Сидакова М. С., Егорова Е. М., Тиев Р. А., Кишев А. Ю.* Динамика запасов фосфора в почве в связи с интенсивным использованием пашни 2 130

65. *Черепанова О. В., Чернышков В. Н., Пугач Д. А., Бодня Т. С.* Урожайность и качество зерна сои при возделывании по интенсивным и органическим технологиям в условиях Алтайского края 6 251

66. *Шаова Ж. А., Косарев В. Н., Галичева М. С.* Особенности роста, развития и формирования урожайности сортов кориандра 2 139

67. *Шереужев Марат А., Шереужев Мадин А., Кишев А. Ю.* Влияние микроволновой и паровой обработки почвы на подавление сорной растительности и повышение урожайности кукурузы 1 20

68. *Шуганов В. М., Лешкенов А. М.* Современное состояние и перспективы повышения производства органической растениеводческой продукции в России на основе применения цифровых и умных технологий 1 31

Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

69. *Дукси Ф., Бондаренко Г. Н., Бурлуцкий В. А. , Цветкова Ю. В., Декин Г. О., Давыдова Н. В.* Применимость оценки структуры микробиома эндофитных грибов семенного материала в селекции мягкой яровой пшеницы 4 70

70. *Дукси Ф., Валли М. Х., Заргар М.* Грибные заболевания пшеницы в России: распространение, симптомы, методы борьбы и экономический ущерб (обзор литературы) 3 121

71. *Новикова М. А., Бобровская Р. М., Вагизов М. Р., Навалихин С. В.* Потери лесного покрова в Республике Бурятия: причины и перспективы 3 133

72. *Сидакова М. С., Якушенко Е. Г.* Влияние хелатных удобрений Органомикс на урожайность кукурузы в условиях предгорной зоны КБР 4 85

73. *Шабатуков А. Х., Шипшева З. Л.* Эффективность инсектицидов против хлопковой совки на кукурузе в степной зоне КБР 6 257

74. *Шуганов В. М., Шогенов А. Х., Кантиев З. Ю., Бижоев Р. В.* Оптимизация производства кукурузы путем применения цифровых и умных технологий 5 200

Экономика

Региональная и отраслевая экономика

75. *Алтухов А. И.* Приоритетные направления пространственного развития сельского хозяйства России 3 143

76. *Барыкин С. Е., Компанийцева О. В.* Генезис теории надежности транспортно-логистической инфраструктуры в контексте устойчивого развития Арктической зоны и Северного морского пути 4 94

77. *Берова Ф. Ж., Табаксоев И. А.* Социально-демографические индикаторы национальной безопасности 6 279

78. *Газаева М. Ш.* Распределение базисных факторов (земли и труда) в сельском хозяйстве России в межпереписной период 2006–2016 гг. 4 104

79. *Джамалудинова М. Ю.* Развитие профессионального потенциала государственных служащих в условиях преодоления внешних вызовов 4 114

80.	*Дохолян С. В.* Социально-экономическое развитие России: анализ влияния внешних шоков и структурных ограничений на уровень жизни	5	211
81.	*Жангоразова Ж. С., Баккуев Э. С., Газаева М. Ш., Килов А. О.* Интеграция технологий искусственного интеллекта в региональные системы управления: принципы, модели и направления развития	6	287
82.	*Загазежева О. З., Мамбетов И. А.* Исследование теоретических основ, моделей и методов управления процессами формирования системы мотивации акторов региональной экономики с целью создания и развития новых высокотехнологичных отраслей	6	300
83.	*Загазежева О. З., Махошев А. А., Край К. Ф., Шалова С. Х., Хаджиева М. И.* Исследование развития и прогноз отечественного и мирового рынков систем искусственного интеллекта и интеллектуальных робототехнических комплексов	6	314
84.	*Казова З. М., Циканова Л. М.* Актуальные проблемы трудоустройства инвалидов	1	42
85.	*Казова З. М., Циканова Л. М.* Инклюзивное трудоустройство как концепция социально-экономического благополучия регионов	6	329
86.	*Киселева И. А., Трамова А. М., Николаенко Р. Р.* Моделирование экономической безопасности регионов России с использованием методов корреляции, PCA и кластеризации	4	124
87.	*Лавская К. К., Барыкин С. Е., Божук С. Г., Макаренко Е. А.* Цифровая кооперация в пассажирских авиаперевозках как фактор повышения качества обслуживания пассажиров	3	154
88.	*Мазлоев В. З.* Роль агротуризма в развитии сельских территорий Республики Северная Осетия – Алания	6	340
89.	*Меконин А. Н., Барыкин С. Е.* Литературный обзор по устойчивому развитию цифровых логистических сетей в сфере сельского хозяйства	2	150
90.	*Рахаев Х. М., Жангоразова Ж. С., Баккуев Э. С., Кунижева Л. Х.* Оценка динамики численности и заработной платы муниципальных служащих в Кабардино-Балкарской Республике	5	223
91.	*Салгириев Р. Р., Сатуев Б. Б.* Механизм снижения технологического разрыва университетом в структуре инвестиционной политики	4	136
92.	*Силаева Л. П.* Пространственная организация сельского хозяйства как основа рационального размещения и специализации	2	150
93.	*Силаева Л. П., Алексеев С. А., Дидык А. С.* Стратегические направления пространственного развития животноводства	4	145
94.	*Сонц И. В., Барыкин С. Е., Сергеев С. М., Макаренко Е. А., Божук С. Г.* Цифровой ландшафт моделей BIG TECH бартерных операций в контексте эволюции логистики, маркетинга и услуг	1	62
95.	*Сюэкэ Ню, Сацук Т. П.* Типологизация угроз и вызовов экономической безопасности предприятий пищевой отрасли Китая на примере мясоперерабатывающего свинокомплекса	1	51
96.	*Табаксоев И. А., Берова Ф. Ж.* Региональные аспекты демографических процессов в современных условиях	6	345
97.	*Фикире А. Х., Корчагина Е. В.* Эффективность и устойчивость цепочек поставок продовольствия: систематический анализ научных публикаций	5	234
98.	*Хамукова Ж. П., Боров Х. Ю.* Оценка социально-экономических предпосылок интеграции ESG-подходов в стратегическое развитие регионов России	5	250
99.	*Чжан В., Барыкин С. Е.* Разработка российско-китайской омниканальной логистической сети продукции биотоплива	2	173
	Менеджмент		
100.	*Бандурян А. С., Назаренко А. В.* Управление цифровой трансформацией IT-компании	6	358

101. *Грызунова Н. В., Трамова А. М.* Финансовые горизонты БРИКС: инновационные финансовые стратегии компаний 5 261

102. *Елаев М. И.* Экономические последствия коррупции: влияние на инвестиционный климат и развитие бизнеса 2 184

103. *Ерёменко М. С., Кобзева Е. В.* Интеллектуальный капитал как основа стратегического потенциала организации 5 273

104. *Карманов М. В., Киселева И. А., Кузнецов В. И., Трамова А. М.* Ментальные информационно-статистические диверсии: особенности и проблемы противодействия 1 79

105. *Карманов М. В., Киселева И. А., Кузнецов В. И., Трамова А. М.* Демографический фактор в ментальных войнах 3 170

106. *Савка К. В., Назаренко А. В.* Анализ развития креативной индустрии в России 6 369

107. *Федоров А. А., Назаренко А. В.*Принятие стратегических управленческих решений в условиях диверсификации предприятий телекоммуникационной отрасли 6 378

Математические, статистические и инструментальные методы в экономике

108. *Демьяненко Т. С., Комов Е. А., Семененко Л. М.* Экономико-математическое моделирование и инструментальные методы для повышения эффективности подготовки спортивного резерва 3 179

109. *Махошева С. А.* Smart-экономика как драйвер трансформации региональной инновационной системы: комплексная оценка, модели и механизмы развития 6 265

Исторические науки

110. *Беппаев А. Р.* Приставские управления на Центральном Кавказе в 30–50-е гг. XIX в. в современной историографии 4 155

111. *Вороков А. К.* Дешифровка надписи сосуда № 2 из кургана Ошад майкопской культуры 3 189

112. *Глашева З. Ж.* Документы к истории Высочайшего пожалования земель по Золке и Этоке (1841–1842 гг.) 6 389

113. *Гукемух И. Х.* К проблеме музеефикации археологических памятников 5 285

114. *Гукемух И. Х.* Опыт музеефикации курганов и перспективы создания кургана-музея на территории Кабардино-Балкарской Республики 6 406

115. *Дабагова И. М.* К вопросу о функциях Нальчикского окружного полицейского управления в последней трети XIX – начале XX века 6 426

116. *Дабагова И. М.* Органы охраны общественного порядка в Терской области в XIX – начале XX века в трудах современных исследователей 4 163

117. *Дзидзоев А. Д., Дзидзоев В. Д.* Этапы и закономерности национально-государственного строительства в Республике Южная Осетия 4 173

118. *Кагазежев Ж. В.* Петроглифы на горе Букша 6 436

Филология

119. *Алхасова С. М.* Философия героизма в романе Ахмедхана Налоева «Всадники рассвета» 5 297

120. *Атабиева А. Д.* Художественное своеобразие творчества М. С. Гулиева (обзорный анализ) 6 444

121. *Берберов Б. А.* Опыт сопоставления карачаево-балкарских благопожеланий о еде с кулинарными одами Роберта Бернса 5 305

122. *Керимова Р. А.* Формы комизма в художественной прозе З. Зокаева и М. Аттоева 5 316

123. *Улаков М. З., Гергокова Л. С.* Трагическое осмысление потери родины в карачаево-балкарских народных песнях о переселении 6 454

124. *Улаков М. З., Киева З. Х., Махиева Л. Х.* Фразеология с компонентом названий домашних и диких животных в разноструктурных языках (на материале карачаево-балкарского и ингушского языков) 1 89

125. *Улаков М. З., Мусуков Б. А., Махиева Л. Х., Кучмезова Л. Б.* Национально-культурные особенности фразеологических диалектизмов в карачаево-балкарском языке 6 465

Юбиляры

1. *Барыкину Сергею Евгеньевичу – 50 лет* 4 182

2. *Дзидзоеву Валерию Дударовичу – 75 лет* 2 199

3. *Закшевскому Василию Георгиевичу – 60 лет* 6 473

4. *Кузьминову Валерию Васильевичу – 75 лет* 3 210

5. *Маслиенко Любовь Васильевне – 75 лет* 5 325

6. *Матишову Геннадию Григорьевичу – 80 лет* 1 181

7. *Сёмину Александру Николаевичу – 70 лет* 3 211

8. *Симакову Евгению Алексеевичу – 75 лет* 4 183

9. *Стемпковскому Александру Леонидовичу – 75 лет* 1 183

10. *Шевхужеву Анатолию Фоадовичу – 70 лет* 3 214

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ
КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

Том 27 № 6 2025

Сквозной номер выпуска – 128

Журнал входит в «Перечень рецензируемых научных изданий,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук»

Зав. редакционно-издательским отделом КБНЦ РАН – ***А. М. Бейтуганова***

Компьютерная верстка – ***А. И. Токова***

Техническое редактирование – ***А. И. Токова***

Корректор – ***Л. Б. Канукоева***

Перевод – ***М. А. Дышекова***

ISSN 1991-6639

9 771991 663000 >

Подписано в печать 22.12.2025 г. Дата выхода в свет: 30.12.2025 г.
Формат бумаги 60x84 1/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 56,96. Тираж 300 экз.

Цена свободная

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-14936 от 20 марта 2003 г. выдано Министерством Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций

Учредитель: Кабардино-Балкарский научный центр РАН

Адрес редакции и издателя: 360010, КБР, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Отпечатано в редакционно-издательском отделе КБНЦ РАН по адресу:
360010, КБР, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

ISSN 1991-6639

DOI: 10.35330/1991-6639