

УДК: 631.1

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-20-30

EDN: IANUSU

Научная статья

Влияние микроволновой и паровой обработки почвы на подавление сорной растительности и повышение урожайности кукурузы

Марат А. Шереужев^{1,2}, Мадин А. Шереужев^{✉3}, А. Ю. Кишев¹

¹Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова
360030, Россия, Нальчик, проспект Ленина, 1в

²Институт информатики и проблем регионального управления –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

³Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана
105005, Россия, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, корп. 1

Аннотация. В работе рассмотрено влияние различных методов обработки почвы, включая паровую и микроволновую обработку, на подавление сорной растительности, рост и урожайность кукурузы. Проведен эксперимент с четырьмя типами обработки почвы, выполнен анализ роста растений и сорной растительности на разных этапах развития. Показано, что микроволновая обработка эффективно подавляет сорняки, улучшает условия для роста культурных растений и увеличивает урожайность. Полученные результаты подтверждают перспективность применения микроволнового метода в сельском хозяйстве для экологически безопасного и эффективного управления почвой.

Ключевые слова: микроволновая обработка почвы, подавление сорной растительности, рост кукурузы, экологически безопасные методы, управление урожайностью, альтернативные методы обработки почвы

Поступила 24.01.2025, одобрена после рецензирования 03.02.2025, принята к публикации 05.02.2025

Для цитирования. Шереужев М. А., Шереужев М. А., Кишев А. Ю. Влияние микроволновой и паровой обработки почвы на подавление сорной растительности и повышение урожайности кукурузы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 1. С. 20–30. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-20-30

Original article

Impact of microwave and steam soil treatment on weed suppression and corn yield improvement

Marat A. Shereuzhev^{1,2}, Madin A. Shereuzhev^{✉3}, A.Yu. Kishhev¹

¹Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov
360030, Russia, Nalchik, 1v Lenin avenue

²Institute of Computer Science and Problems of Regional Management –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street

³Moscow State Technical University named after N.E. Bauman
105005, Russia, Moscow, corp. 1, bld 5, 2 Baumanskaya street

Abstract. The study examines the impact of various soil treatment methods, including steam and microwave treatment, on weed suppression, corn growth, and yield. An experiment was conducted using four types of soil treatment, and an analysis of plant growth and weed presence at different stages of development was performed. It was demonstrated that microwave treatment effectively suppresses weeds, improves conditions for crop growth, and increases yield. The results confirm the potential of microwave treatment as an environmentally safe and efficient method for soil management in agriculture.

Keywords: microwave soil treatment, weed suppression, corn growth, environmentally safe methods, yield management, alternative soil treatment methods

Submitted 24.01.2025,

approved after reviewing 03.02.2025,

accepted for publication 05.02.2025

For citation. Shereuzhev M.A., Shereuzhev M.A., Kishev A.Y. Impact of microwave and steam soil treatment on weed suppression and corn yield improvement. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 1. Pp. 20–30. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-20-30

ВВЕДЕНИЕ

Сорная растительность является одной из ключевых проблем в сельском хозяйстве, оказывая значительное влияние на урожайность культур за счет конкуренции за питательные вещества, свет и влагу. Традиционные методы борьбы с сорняками включают использование гербицидов, механическую прополку и парообработку почвы. Однако эти методы имеют свои ограничения: химические вещества загрязняют окружающую среду, а механические и паровые методы часто оказываются энергозатратными и менее эффективными на больших площадях.

В последние годы внимание исследователей привлекли альтернативные подходы для контроля роста сорной растительности с применением роботизированных комплексов с системами технического зрения для обнаружения и мониторинга роста сорняков [1]. С точки зрения роботизации интерес также представляют предпосевные методы обработки, такие как использование микроволнового излучения для обработки почвы. Микроволновая обработка уничтожает сорняки и их семена, вызывая разрушение клеточных стенок за счет локального повышения температуры [1–3]. Этот метод демонстрирует высокую эффективность, снижает зависимость от химических гербицидов и способствует улучшению свойств почвы.

Настоящая работа направлена на изучение влияния различных методов обработки почвы – паровой, микроволновой и их комбинации – на рост кукурузы и подавление сорняков. В ходе эксперимента проведено сравнение четырех различных подходов к обработке почвы, включая контрольный необработанный образец. Кукуруза, использованная в эксперименте, представлена семенами французской фирмы *Caussade Semens*. Для оценки эффективности обработки были проанализированы ранние стадии роста растений, состояние сорняков и урожайность.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ПОДГОТОВКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью настоящего исследования является изучение влияния различных методов обработки почвы на подавление сорной растительности, рост кукурузы и урожайность.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Изучить влияние паровой, микроволновой и комбинированной обработки почвы на подавление сорняков.

2. Оценить рост и развитие кукурузы на каждом этапе эксперимента при различных методах обработки.

3. Провести сравнение урожайности кукурузы для каждого типа обработки почвы.

4. Провести анализ состава почвы до и после обработки, чтобы оценить изменения, вызванные микроволновым и паровым воздействием.

Для достижения целей исследования была разработана методика эксперимента, включающая следующие этапы подготовки образцов, посадки семян кукурузы, обеспечения условий выращивания, оценки роста кукурузы, сорной растительности и урожайности.

Этап подготовки образцов включает подготовку емкостей для почвы и предварительную обработку почвы. Четыре короба размером 1 м × 0,5 м × 0,5 м были заполнены почвой одинакового состава. Для каждого короба применены разные методы обработки. Почва в первом коробе оставлена необработанной (контрольный образец). Во втором коробе подвергнута парообработке при температуре 100°C. В третьем коробе обработана паром, а затем облучена микроволновым излучением. В четвертом коробе обработана только микроволновым излучением.

На этапе посадки во все образцы были посажены семена кукурузы французской фирмы *Caussade Semens*. Семена распределялись равномерно, чтобы исключить влияние плотности посадки.

На этапе обеспечения условий выращивания все короба находились в одинаковых условиях, включая освещение, влажность и температуру. Полив осуществлялся равномерно для каждого образца.

Для оценки роста и сорной растительности на 14-й, 25-й, 30-й и 40-й дни фиксировались визуальные данные о состоянии растений и наличии сорняков. Ростки кукурузы измерялись для оценки их высоты и состояния.

После завершения вегетационного периода проведен сбор урожая с последующим сравнением массы и размеров початков кукурузы для каждого образца.

Перед началом эксперимента был проведен анализ почвы, чтобы оценить ее исходное состояние. Проведены работы по определению типа и состояния почвы, в том числе определение содержания азота, ее кислотности и минерального состава (таблица 1). Эти параметры свидетельствуют о плодородности почвы, которая подходит для выращивания кукурузы.

Таблица 1. Результаты анализа состояния почвы.

Table 1. Results of soil condition analysis.

№	Общий азот, мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	Гумус, %	Кислотность, рН	Ca ²⁺ , мг экв./100 г	Mg ²⁺ , мг экв./100 г
1	92,8 высокое	>600,0 высокое	525,0 высокое	4,62 высокое	6,6 нейтральная	4,0 низкое	3,05 высокое
2	71,5 высокое	>600,0 высокое	555,0 высокое	4,65 высокое	6,7 нейтральная	4,5 низкое	6,1 высокое
3	80,8 высокое	>600,0 высокое	630,0 высокое	4,48 среднее	6,9 нейтральная	10,0 среднее	4,9 высокое
4	76,2 высокое	>600,0 высокое	515,0 высокое	4,50 среднее	6,8 нейтральная	3,0 низкое	7,3 высокое

ОЦЕНКА РОСТА КУКУРУЗЫ И ПОЯВЛЕНИЯ СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

В ходе эксперимента наблюдались различные стадии роста кукурузы и динамика появления сорной растительности в образцах с различными методами обработки почвы. На каждом этапе проводилась визуальная фиксация состояния растений, результаты которой представлены на рисунках 1–3.

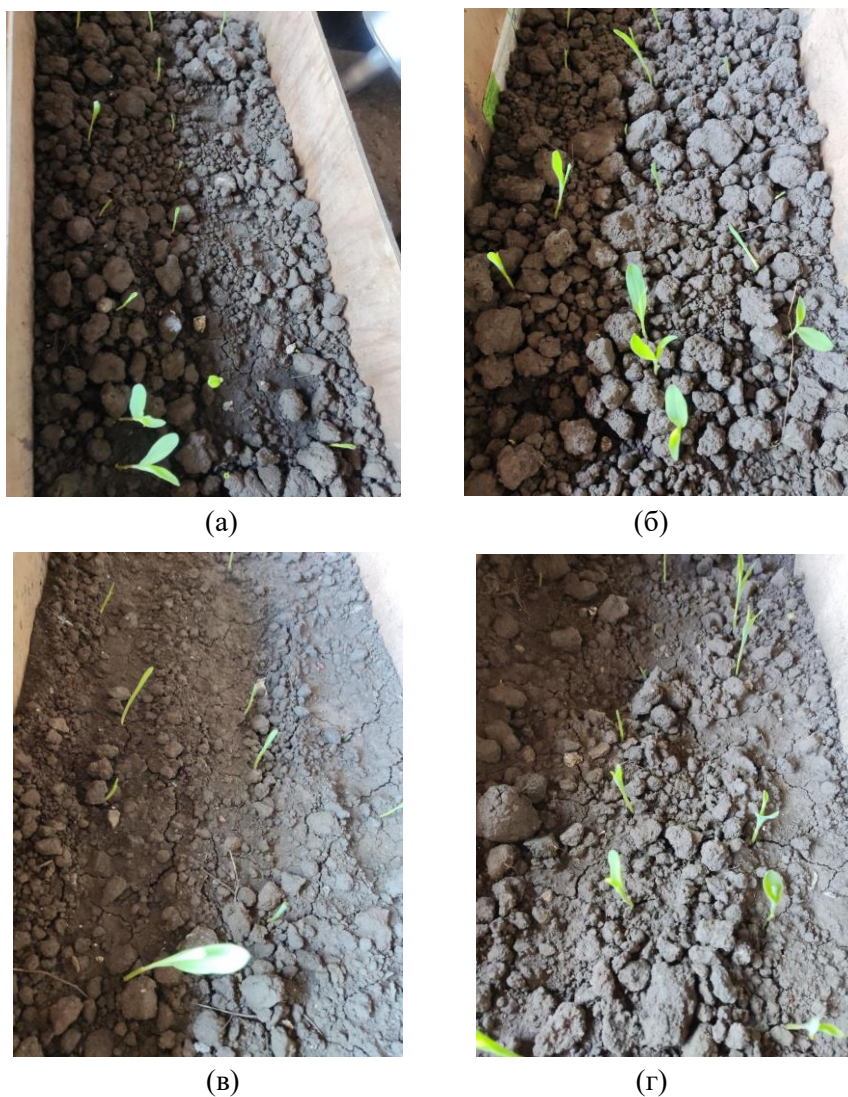


Рис. 1. Состояние засеянных образцов на 7-й день

Fig. 1. The state of seeded samples on day 7

На ранних стадиях роста (7-й и 14-й дни, рис. 1, рис. 2) все образцы находились в теневых условиях, что минимизировало появление сорной растительности. Основные наблюдения:

- Образец (а) – необработанная почва: ростки кукурузы демонстрируют меньшую высоту и менее равномерное развитие, что согласуется с результатами предыдущих исследований, где необработанная почва зачастую создает неблагоприятные условия для прорастания культурных растений из-за наличия конкурентных сорных семян [5].
- Образец (б) – паровая обработка почвы: ростки кукурузы несколько выше, но сорняков пока не наблюдается. Наблюдалось некоторое улучшение в росте кукурузы, что связано с

уничтожением части сорных семян за счет термического воздействия, однако это воздействие недостаточно для полной стерилизации почвы [6].

- Образцы (в) и (г) – микроволновая обработка: ростки кукурузы самые равномерные и заметно крупнее, что указывает на стимулирующее воздействие микроволнового излучения на рост растений. Это связано с разрушением клеточных структур сорных семян под воздействием микроволн, что улучшает конкуренцию в пользу культурных растений, как отмечено в работе [1].

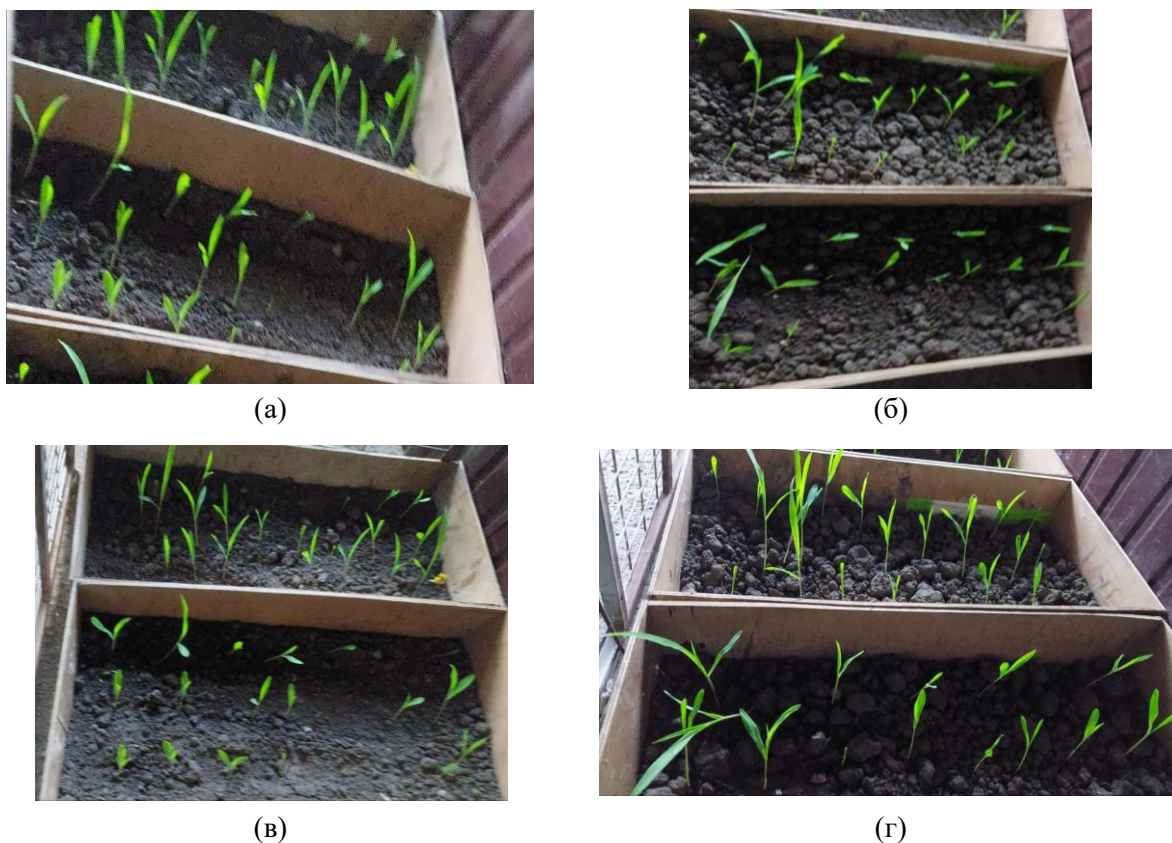


Рис. 2. Состояние засеянных образцов на 14 день

Fig. 2. The state of seeded samples on day 14

Появление сорной растительности (21-й день). После перемещения образцов на улицу (рис. 3) началось прорастание сорняков в образцах (а) и (б): образец (а) – необработанная почва: на поверхности активно росла сорная растительность, что затрудняло развитие кукурузы. Сорняки конкурировали за питательные вещества и свет, что соответствовало данным [6], где указано, что отсутствие обработки приводит к доминированию сорной растительности; образец (б) – парообработанная почва: количество сорняков меньше, однако их присутствие все еще заметно; образцы (в) и (г) – микроволновая обработка: сорняков не обнаружено, что свидетельствует о высокой эффективности метода в уничтожении семян сорняков.

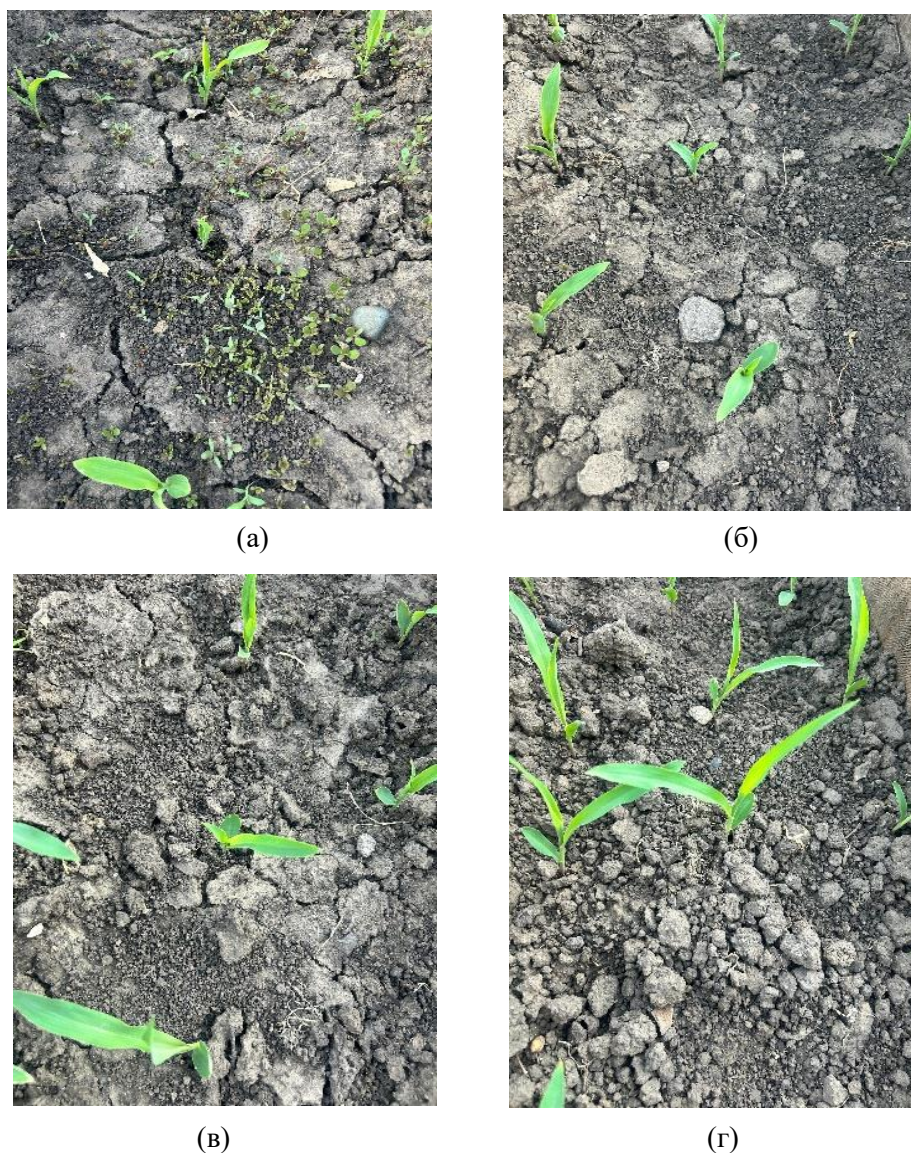


Рис. 3. Состояние засеянных образцов на 21-й день

Fig. 3. The state of seeded samples on day 21

Полученные данные подтверждают, что микроволновая обработка почвы оказывает двойное воздействие: подавляет сорняки за счет разрушения их семян и способствует более активному росту культурных растений. Эти результаты согласуются с исследованиями [1–4], которые отмечают, что микроволновая обработка минимизирует конкуренцию за ресурсы и улучшает условия для роста культур. В то же время парообработка дает промежуточный результат, а необработанная почва остается наименее эффективной средой.

ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА РОСТ И УРОЖАЙНОСТЬ КУКУРУЗЫ

На 30-й день эксперимента в разных образцах были отмечены значительные различия в высоте и развитии растений, обусловленные методами обработки почвы. Полученные данные позволили оценить, как выбранные методы влияют на начальные этапы роста кукурузы и подавление сорной растительности.

• **Необработанная почва (образец а).** Растения в этом образце оказались наименее развитыми: они имеют слабую структуру, меньшую высоту и медленный темп роста. При этом на поверхности почвы наблюдается большое количество сорной растительности. Это подтверждает известные данные, что сорняки, конкурируя за питательные вещества, воду и свет, значительно угнетают развитие культурных растений. Как отмечается в работе [5], необработанная почва создает идеальные условия для прорастания сорных семян, которые доминируют на ранних стадиях роста.

• **Парообработанная почва (образец б).** В этом образце растения демонстрируют умеренный рост, который выше, чем в необработанном варианте, но сорняки все еще присутствуют. Парообработка почвы снижает конкуренцию со стороны сорняков за счет термического уничтожения их семян, однако этот метод не всегда гарантирует полное подавление нежелательной растительности. Это частично объясняется ограниченной глубиной проникновения пара и невозможностью уничтожить семена, расположенные в более глубоких слоях почвы, как указывается в исследованиях [6, 7].



(a)



(б)



(в)



(г)

Рис. 4. Состояние засеянных образцов на 30-й день

Fig. 4. Condition of seeded samples on day 30

• **Микроволновая обработка (образцы в и г).** Растения в этих образцах продемонстрировали наиболее интенсивный и равномерный рост. Высота кукурузы в этих образцах была наибольшей среди всех вариантов. При этом сорняков не наблюдалось, что подтверждает эффективность микроволновой обработки для уничтожения сорных семян. Согласно работе [1] микроволновое излучение разрушает клеточные стенки семян сорняков, эффективно предотвращая их прорастание. Более того, микроволновая обработка может оказывать стимулирующее воздействие на развитие культурных растений за счет повышения доступности питательных веществ в почве.

После завершения вегетационного периода был проведен сбор урожая, и полученные результаты продемонстрировали существенные различия в размере и качестве початков кукурузы между различными образцами (рис. 5). Эти данные позволяют сделать выводы о влиянии методов обработки почвы не только на начальные стадии роста растений, но и на их конечную продуктивность.

• **Необработанная почва (образец а).** Початки кукурузы из этого образца оказались самыми маленькими. Небольшой размер урожая обусловлен сильной конкуренцией со стороны сорняков, которые занимают ресурсы, необходимые для развития кукурузы. Это соответствует данным [5], где показано, что в условиях высокой конкуренции с сорняками урожайность культурных растений значительно снижается.

• **Парообработанная почва (образец б).** Початки кукурузы из этого образца оказались крупнее, чем в необработанном варианте, но все еще уступают микроволновым образцам. Это связано с тем, что несмотря на снижение числа сорняков, их полное подавление не было достигнуто.

• **Микроволновая обработка (образцы в и г).** Урожай из этих образцов был самым крупным и равномерным. Початки кукурузы значительно превышали по размеру те, что были получены из других образцов. Это подтверждает, что микроволновая обработка способствует улучшению условий для роста кукурузы, включая устранение конкуренции за ресурсы и, вероятно, улучшение доступности питательных веществ. Работа [1] указывает, что микроволновое воздействие не только подавляет сорняки, но и улучшает физико-химические свойства почвы, что может объяснить более высокую продуктивность растений.

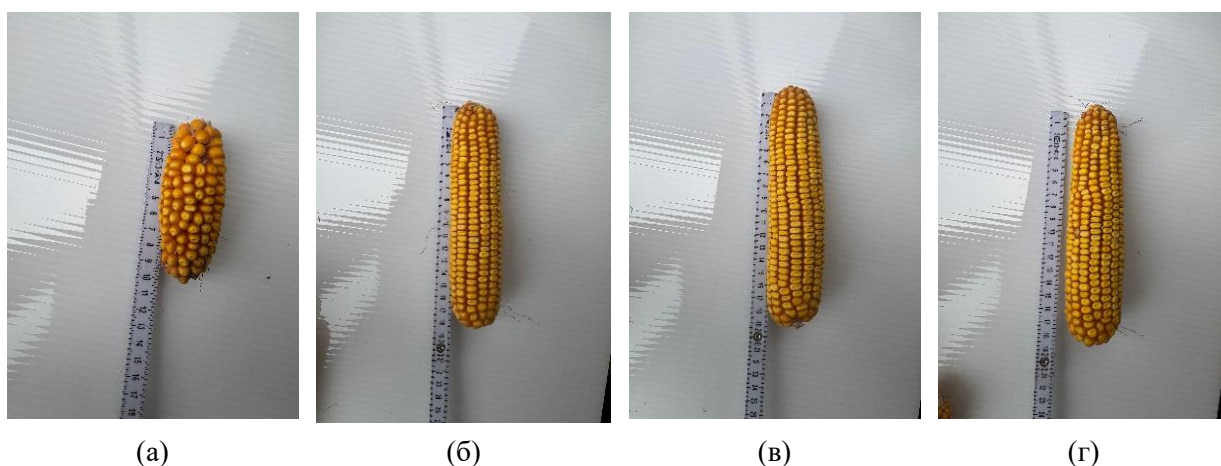


Рис. 5. Урожай кукурузы с засеянных образцов почвы

Fig. 5. Corn yield from seeded soil samples

Таблица 2. Оценка результатов эксперимента по выращиванию кукурузы в образцах обработанной почвы.

Table 2. Evaluation of the results of the experiment on growing corn in samples of treated soil.

Параметры оценки	Образец (а). Необработанная почва	Образец (б). Парообработанная почва	Образец (в). Микроволновая + парообработка	Образец (г). Только микроволновая обработка
Наличие сорняков (21-й день)	Много	Умеренно	Нет	Нет
Высота растений (30-й день), см	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая
Количество сорняков на 30-й день	Много	Мало	Нет	Нет
Средний размер початков кукурузы, см	Маленький	Средний	Крупный	Крупный
Уровень подавления сорняков	Низкий	Средний	Высокий	Высокий
Однородность роста кукурузы	Низкая	Умеренная	Высокая	Высокая
Биомасса растений (оценка визуальная)	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая
Урожайность (оценка, г/короб)	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая

Пояснения к параметрам: наличие сорняков – качественная оценка количества сорняков, видимых на 21-й и 30-й дни эксперимента; высота растений – измерение средней высоты кукурузы на 30-й день; средний размер початков – длина початков кукурузы, собранных в конце эксперимента; уровень подавления сорняков – качественная оценка эффективности методов обработки; однородность роста – субъективная оценка равномерности роста растений; биомасса растений – визуальная оценка массы растений в каждом образце; урожайность – количество собранной кукурузы в граммах (при наличии данных).

Выводы

Результаты эксперимента подтверждают, что метод обработки почвы оказывает значительное влияние на рост и урожайность кукурузы. Необработанная почва способствует развитию сорной растительности, которая подавляет рост культурных растений, что приводит к минимальной урожайности. Парообработка почвы частично решает эту проблему, но ее эффективность остается ограниченной. Наиболее высокие показатели роста и урожайности были достигнуты при использовании микроволновой обработки. Этот метод не только эффективно подавляет сорную растительность, но и создает благоприятные условия для роста культурных растений, что подтверждает его потенциал в сельском хозяйстве как эффективного и экологически безопасного способа повышения урожайности.

Микроволновая обработка почвы может стать важной альтернативой традиционным способам борьбы с сорняками, снижая зависимость от химических гербицидов и минимизируя их негативное воздействие на окружающую среду. В будущем целесообразно продолжить исследования по оптимизации параметров микроволновой обработки, ее адаптации к различным типам почвы и интеграции с роботизированными сельскохозяйственными платформами, что откроет новые возможности для устойчивого и высокоэффективного сельского хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Шереужев М. А., Шереужев М. А., Кишев А. Ю. Вопросы выбора системы технического зрения сельскохозяйственных робототехнических комплексов для контроля сорной растительности // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 4(108). С. 84–95. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-4-108-84-95

Shereuzhev M.A., Shereuzhev M.A., Kishev A.Yu. Issues of choosing a technical vision system for agricultural robotic complexes for weed control. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 4(108). Pp. 84–95. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-4-108-84-95. (In Russian)

2. Brodie G., Pchel'nikov Y., Torgovnikov G. Development of microwave slow-wave comb applicators for soil treatment at frequencies 2.45 and 0.922 GHz (Theory, design, and experimental study). *Agriculture (Switzerland)*. 2020. 10(12). DOI: 10.3390/agriculture10120604

3. Brodie G., Ryan C., Lancaster C. Microwave technologies as part of an integrated weed management strategy: A review. *International Journal of Agronomy*. Article ID 636905. 2012. DOI: 10.1155/2012/636905

4. Hryshchyshe'n S., Brodie G., Pchel'nikov Y. Microwave soil treatment improves weed management in Australian dryland wheat. *Transactions of the ASABE*. 2018. Vol. 61(2). Pp. 671–680. DOI: 10.13031/trans.12504

5. Abdulridha J.J. et al. Evaluation of steam application for weed management in citrus. *Applied Engineering in Agriculture*. 2019. Vol. 35(5). Pp. 805–814. DOI: 10.13031/aea.13494

6. Carlesi S. et al. Effects of band steaming on weed control, weed community diversity and yield in organic carrot at three Mediterranean sites. *Weed Research*. 2021. Vol. 61(5). Pp. 385–395. DOI: 10.1111/wre.12496

7. Guerra N., Fennimore S.A., Siemens M.C., Goodhue R.E. Band Steaming for Weed and Disease Control in Leafy Greens and Carrots. *HortScience*. 2022. Vol. 57(11). Pp. 1453–1459. DOI: 10.21273/HORTSCI16728-22

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 conflicts of interests.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Шереужев Марат Артурович, аспирант кафедры «Агрономия», Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова;

360030, Россия, Нальчик, проспект Ленина, 1в;

стажер-исследователь лаборатории «Интеллектуальные среды обитания», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

marat.shereuzhev07@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7368-4691>

Шереужев Мадин Артурович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана; 105005, Россия, Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, корп. 1; shereuzhev@bmstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2352-992X>

Кишев Алим Юрьевич, канд. с.-х. наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой «Агрономия», Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова; 360030, Россия, Нальчик, проспект Ленина, 1в; a.kish@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2838-6876>

Information about the authors

Marat A. Shereuzhev, Post-graduate Student, Department of Agronomy, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov; 360030, Russia, Nalchik, 1v Lenin avenue;

Trainee researcher of the Laboratory of Intellectual Habitats of the Institute of Computer Science and Regional Management Problems – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;

marat.shereuzhev07@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7368-4691>

Madin A. Shereuzhev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Department of Robotic systems and mechatronics, Moscow State Technical University named after N.E. Bauman; 105005, Russia, Moscow, corp.1, bld. 5, 2 Baumanskaya street; shereuzhev@bmstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2352-992X>

Alim Yu. Kishiev, Ph.D of Agricultural Sciences, Associate Professor, Acting Head of the Department of Agronomy, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov; 360030, Russia, Nalchik, 1v Lenin avenue; a.kish@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2838-6876>