

Влияние переменных электромагнитных полей на повышение ресурсного потенциала картофеля сорта Печорский в условиях Крайнего Севера

Зайнуллин В. Г.* , Пожирицкая А. Н.* ,
Кожевников С. Ю.* , Грязнов В. Г.**

* Институт агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар

** Научный центр ОАО «Концерн «ГРАНИТ»,
г. Москва

zainullin.v.g@yandex.ru

Аннотация

Статья посвящена исследованию влияния переменных электромагнитных полей (ПЭМП) на улучшение продуктивности картофеля сорта Печорский в условиях Крайнего Севера. Описаны результаты экспериментального изучения воздействия слабых электромагнитных полей на рост и развитие картофеля, применительно к климатическим особенностям региона. Исследование проводили в 2021–2025 гг. на экспериментальной площадке Республики Коми, где климат отличается суровыми погодными условиями. Методы работы включали обработку клубней перед посевом в специальном режиме 15/5 (15 мин воздействия, 5 мин перерыв в течение 1 ч) с использованием индивидуального спектра частот. Анализировали такие показатели, как всхожесть, интенсивность роста и урожайность. Основные результаты показывают, что воздействие ПЭМП ускоряет темпы роста и развития растений, увеличивая количество и размер формируемых клубней. Исследования также выявили позитивные генетические изменения в картофеле сорта Печорский, что свидетельствует о потенциальной адаптации сорта к электромагнитному воздействию.

Ключевые слова:

картофель, сорт Печорский, переменное электромагнитное поле, фенологические показатели, генетика

Введение

Сегодня, когда экосистема стремительно меняется, особую важность приобретает создание сортов культурных растений, включая картофель, способных противостоять неблагоприятным биологическим и физическим факторам внешней среды, хорошо приспособленных к местным условиям выращивания и обладающих экологической гибкостью [1, 2].

Метод предварительной подготовки семян – прайминг – известен давно и позволяет улучшить всхожесть, ускорить появление ростков, повысить устойчивость рас-

The influence of variable electromagnetic fields on enhancing the resource potential of potato variety Pechorsky in conditions of the Far North

Zainullin V. G.* , Pozhiritskaya A. N.* ,
Kozhevnikov S. Yu.* , Gryaznov V. G.**

* Institute of Agrobiotechnologies, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar

** Science Centre of AO "Concern GRANIT", Moscow

zainullin.v.g@yandex.ru

Abstract

The article highlights the effect of variable electromagnetic fields (VEMFs) on improving the productivity of the Pechorsky potato variety in the conditions of the Far North. The experimental study results on the effect of weak electromagnetic fields on the growth and development of potato are described relatively to the climatic conditions of the region. The studies were conducted in the Komi Republic in 2021–2025. The climate of the republic is characterised by severe weather conditions. The research methods included the treatment of tubers before sowing in a special mode 15/5 (15 minutes exposure, 5 minutes break within an hour) using an individual frequency spectrum. The following indicators were analysed as germination rate, growth intensity, and yield. By the obtained results, the exposure to PEMF accelerated the growth and development of plants, increased the number and size of the formed tubers.

Keywords:

potato, Pechorsky variety, variable electromagnetic field, phenological indicators, genetics

тений к стрессовым ситуациям и увеличить общую продуктивность сельского хозяйства. Традиционные методы обработки семян химикатами ограничиваются негативным влиянием на сохранность семян и окружающую среду. Именно поэтому особый интерес вызывает физическое воздействие на семена различными видами волн, таких как рентгеновское, гамма-, ультразвуковое, микроволновое и инфракрасное излучение, позволяющее значительно повысить урожайность и снизить риски загрязнения природы [3, 4].

Рост и развитие семян подвергаются различным внешним стрессам, которые могут быть преодолены применением предварительных физических воздействий на семенной материал [5]. Было доказано, что обработка семян перед посадкой способствует устойчивости растений к экстремальным условиям среды [6, 7].

Особое внимание привлекает изучение влияния низкоэнергетических физических факторов на повышение урожайности растений, что считается новым перспективным методом улучшения свойств семян [8, 9]. Технологии, основанные на применении магнитных полей, являются экологически чистыми и не требуют значительных энергозатрат, делая их востребованными в современной аграрной практике. Воздействие переменными магнитными полями способно существенно улучшать продуктивность культур благодаря изменениям на уровне физиологии и биохимии растений. Результаты исследований данного метода пока еще неоднородны и иногда противоречивы, вероятно, вследствие индивидуальных особенностей каждого вида растений и длительности либо силы воздействия электромагнитных полей.

Особенный интерес представляет технология переменных электромагнитных полей (ПЭМП). Например, особая роль отводится диапазону миллиметровых радиоволн (1–10 мм) [10–12], который показал высокую эффективность воздействия на биологические системы, начиная от микроорганизмов и заканчивая высшими растениями. Особенно активно исследуется влияние крайне высокочастотного (КВЧ) излучения малой мощности на фотобиохимические процессы, клеточную активность и другие параметры растительного организма [11–13].

Цель нашего исследования – оценка возможностей дистанционного ПЭМП на пасленовые культуры, в частности на картофель, путем применения слабоимпульсных полей определенных параметров.

Материалы и методы

Оценка эффективности воздействия слабых электромагнитных полей на сорте картофеля Печорский из коллекции Института агробиотехнологии началась в 2021 г. на экспериментальном поле м. Еля-Ты с. Вильгорт Сыктывдинского района Республики Коми. Почва характеризуется следующими показателями: рН_{сол}=5,7, гидролитическая кислотность – 2,57 ммоль/100 г, органическое вещество – 6,16 %, обменный кальций – 4,81 ммоль/100 г, обменный магний – 2,37 ммоль/100 г, подвижный фосфор – 774,0 мг/кг, обменный калий – 410 мг/кг, по механическому составу – супесчаная.

Закладка делянок по оценке экологической пластичности картофеля выполнена согласно общепринятой методике. Схема посадки – 0,7×0,3 м, однорядковые делянки (100 клубней в рядке). Площадь однорядковой делянки 0,21 м² × 100=21 м² по общепринятой схеме [14]. Были выполнены исследования оценки реакции сортов картофеля после воздействия ПЭМП. Отобранные для эксперимента клубни картофеля были подвергнуты электромагнитному воздействию в режиме 15/5 (15 мин воздействия / 5 мин перерыв в течение 1 ч) индивидуальным спектром.

Выполнена оценка последствий обработки ПЭМП картофеля сорта Печорский (среднеранний сорт). Учет оценки эффективности воздействия ПЭМП на рост и развитие сортов картофеля, статистическую обработку проводили согласно методике [14–16].

Схема опыта: К – контроль (без обработки ПЭМП), Э – обработка ПЭМП в 2025 г., Т-обработка 2021–2023 гг., ТЭ – обработка 2021–2024 гг.

Обработку картофеля ПЭМП проводили в день посадки. Для оценки эффекта последствие были высажены клубни картофеля, обработанные в 2021, 2022, 2023 и 2024 гг.

Метеорологические условия в период вегетации представлены на рис. 1 и 2. Характеристика метеорологических условий выполнена на основании данных сайта <http://www.pogodaiklimat.ru/> по г. Сыктывкарю. Погодные условия 2025 г. заметно отличались от условий в предыдущие года.

В целом за вегетационный период 2024 г. (май–август) средняя температура воздуха составила 14,0 °С при норме 13,1 °С, осадков выпало в количестве 257,9 мм при средней многолетней норме 252,0 мм.

Результаты анализа погодных условий вегетационного периода 2025 г. (рис. 2) свидетельствуют об отличиях в динамике температурного режима и влажности

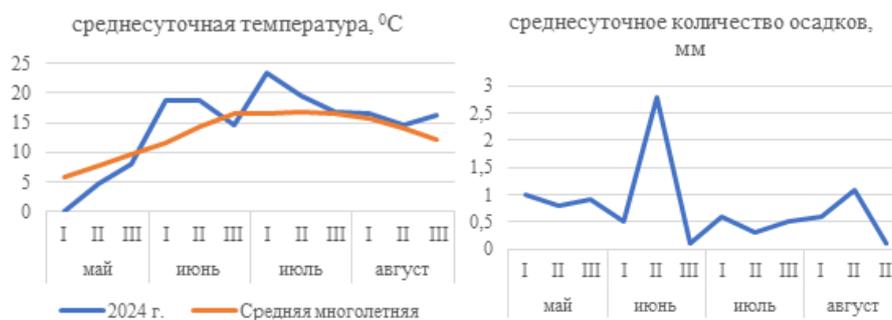


Рисунок 1. Динамика погодных условий (среднесуточная) вегетационного периода 2024 года.
Figure 1. The dynamics of weather conditions (average daily) of the growing season in 2024.

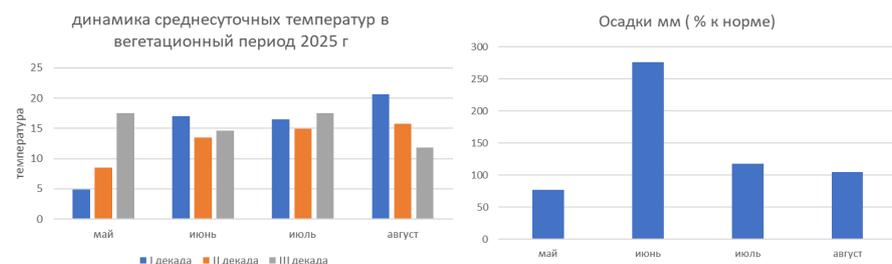


Рисунок 2. Динамика погодных условий вегетационного периода 2025 года.
Figure 2. The dynamics of weather conditions of the growing season in 2025.

в сравнении с 2024 г. Прежде всего высокие температуры в третьей декаде мая – более чем на 100 % превышают среднегодовую, обилие осадков в июне (270 % к норме), некоторое превышение уровня осадков в июле при относительно повышенной температуре сказались на показателях урожайности.

Результаты и их обсуждение

На рис. 3 показано различие динамики появления всходов сорта Печорский, обработанного в 2024 г., относительно варианта Печорский Т, обработанного ранее в 2021–2023 гг. Однократная обработка оказалась эффективнее многолетнего воздействия. Аналогично можно заключить, что различия в динамике всхожести связаны именно с частотой воздействий электромагнитных импульсов. Мы провели сравнительный анализ генетического материала сорта Печорский в разных условиях – необработанном состоянии и при регулярной обработке в течение трех лет. Установлено, что генотипы опытных образцов заметно различаются. Это послужило основанием для дальнейшего исследования причин различной чувствительности данного сорта к воздействию импульсных электромагнитных полей.



Рисунок 3. Динамика всходов картофеля сорта Печорский, % (2024).
Figure 3. The dynamics of potato seedlings of the Pechorsky variety, % (2024).

Экспериментально доказано, что воздействие электромагнитных полей (особенно низкочастотных) способно оказывать значительное влияние на сопротивляемость растений негативным внешним условиям [17]. Помимо постоянного геомагнитного фона, растения подвергаются воздействию временных электромагнитных колебаний различной длины волны и частоты [18, 19].

Обработка ПЭМП стимулирует рост ряда сельскохозяйственных культур, среди которых картофель, ячмень, горох, сахарная свекла и пр. [20–24]. Большинство исследователей связывают полученные положительные эффекты с изменениями гормонального баланса (например, уровня индола, гиббереллинов или цитокинина зеатина) либо ферментативной активности (таких как α - β -амилаза), контролируемые генетическим профилем растения. Механизм влияния электромагнитных излучений на растение до конца еще не выяснен [25]. Определенные воздействия связаны с тепловым эффектом, возникающим вследствие поглощения энергии излучения растительной тканью, особенно при высоких уровнях мощности. Вместе с тем существует ряд свидетельств о наличии неклассических эффектов, когда воздействие электромагнитных полей вызывает биохимические и морфологические изменения, не сопровождающиеся нагревом тканей. Такие «нетермальные» реакции включают модификации

мембранных потенциалов клеток, ионного транспорта, структурных изменений белков и взаимосвязи рецепторов с сигнальными молекулами, вызванных изменениями механизмов электронно-спинового резонанса.

Полученные данные о влиянии переменного электромагнитного поля на генетику картофеля позволяют предположить участие короткоживущих свободных радикальных частиц, обладающих определенной электронной корреляцией, часто образующихся в условиях нестабильного состояния электронных спинов [25, 26].

Также установлено, что активность ферментов, концентрация фитогормонов, стабильность работы ДНК-метаболических путей и транспортные процессы через клеточные мембраны могут варьировать под воздействием переменных магнитных полей [27]. Несколько исследований показали связь ПЭМП с ключевыми биологическими процессами, такими как деление клетки (митоз), баланс антиоксидантов и пр. [21].

Результаты наблюдений за динамикой фенологических признаков (всходы и цветение), отраженные в табл. 1 и 2, подтверждают ранее установленные закономерности – обработанные варианты сорта Печорский демонстрируют ускоренное прохождение этапов развития относительно контрольных образцов.

Таблица 1
Динамика всходов сорта Печорский разных вариантов обработки, %

Table 1
The dynamics of potato seedlings of the Pechorsky variety of different treatment options, %

Сорт	16 июня	19 июня	23 июня	26 июня
Печорский К	74	79	82	89
Печорский Э	71	87	97	97
Печорский 21-23	100	100	100	100
Печорский 21-24	100	100	100	100

Таблица 2
Динамика цветения сорта Печорский разных вариантов обработки, %

Table 2
The dynamics of potato flowering of the Pechorsky variety of different treatment options, %

Сорт	07 июля	10 июля	15 июля	18 июля
Печорский К	0	22	30	40
Печорский Э	3	8	26	39
Печорский 21-23	31	78	80	88
Печорский 21-24	4	52	58	70

Данные, представленные в табл. 2–5 и на рис. 4, показывают, что воздействие переменных электромагнитных полей на среднеранние сорта картофеля вызывает статистически значимое повышение количества клубней по сравнению с контрольными образцами без воздействия ПЭМП.

В табл. 3 и на рис. 4 указаны сведения о влиянии ПЭМП на биометрические показатели ранних урожаев сорта Печорский. Из анализа представленных данных видно, что обработка ПЭМП способствует росту количественных ха-

рактических растений (число стеблей, высота надземной части и количество клубней) как в 2024, так и в 2025 гг., причем увеличение количества клубней является достоверным показателем эффективности обработки.

Таблица 5

Биометрические показатели общей урожайности (85-й день) (2025)

Table 5

Biometric indicators of total yield (day 85) (2025)

Сорт	Вес клубней с куста, кг	Число клубней с куста, шт.	Урожайность, т/га
Печорский К	0,38	6,7 ± 0,43	18,1 ± 1,2
Печорский Э	0,34	7,7 ± 0,47*	16,2 ± 1,2
Печорский 21-23	0,56	8,1 ± 0,58*	26,7 ± 1,7*
Печорский 21-24	0,26	7,0 ± 0,88	12,4 ± 1,8*

Таблица 3

Результаты учета биометрических показателей в разных вариантах обработки. Сорт Печорский, 65-й день (06.08.2024), 2025 (30.07.2025)

Table 3

The evaluation results of biometric indicators in different treatment options. The Pechorsky variety, day 65 (06.08.2024), 2025 (30.07.2025)

Вариант	Число стеблей, шт.	Высота ботвы, см	Число клубней, шт.
Печорский К 2024	3	81,7	9,7±2,0
Печорский К 2025	2	77,5	11,1 ±1,9
Печорский Э 2024	3	92,7*	13,7±1,5*
Печорский Э 2025	4	83	20,8±1,7*
Печорский ТК 2024	2,7	77,7	8,0±1,2
Печорский ТК 2025	3,5	90	8,7 ±1,2

Примечание. Здесь и в табл. 4, 5: * $p \leq 0,05$ в сравнении с необработанным контрольным вариантом.

Note. Here and in Tables 4, 5: * $p \leq 0,05$ in comparison with the untreated control variant.

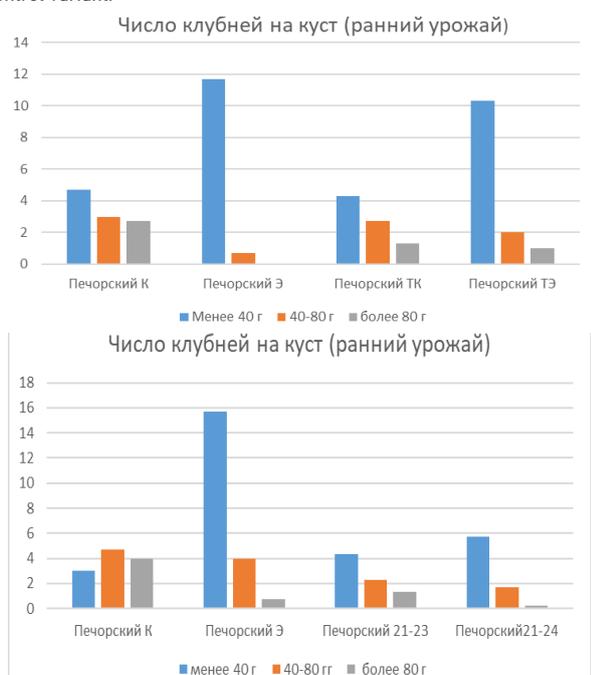


Рисунок 4. Биометрические показатели раннего урожая. Фракционный состав по трем кустам, 65-й день.

Figure 4. Biometric indicators of early yield. Fractional composition for three potato plants, day 65.

Биометрические показатели общей урожайности (85-й день) (2024)

Таблица 4

Biometric indicators of total yield (day 85) (2024)

Table 4

Сорт	Менее 40 г		40-80 г		Более 80 г		Всего клубней
	Вес	Число клубней	Вес	Число клубней	Вес	Число клубней	
Печорский К	5,8	127	11,9	214	39,6	250	591
Печорский Э	10,8	425*	15,2	230	16,6	132	787*
Печорский ТК	8,6	144	22,1	340	36,4	222	706
Печорский ТЭ	9,5	408*	15,8	274	22,9	199	881*

Обращает на себя внимание тот факт, что даже на этапе учета ранних урожаев обнаружены различия в массе картофеля среди контрольных образцов. Важно подчеркнуть, что данные различия связаны исключительно с крупными клубнями, вес которых превышает 80 г. Что касается мелких клубней (менее 40 г) и клубней второй фракции, то их общая масса у растений, клубни которых подвергались обработке ПЭМП в 2024 и 2025 гг., оказалась выше, нежели у тех, чьи клубни такой обработки не подвергались.

Анализируя итоги учета ранних сборов урожая, установлено, что применение органических удобрений повысило массу клубней относительно предыдущих лет (2021-2023), тогда как дополнительное использование ПЭМП способствовало росту числа клубней на растениях (с вероятностью $p \leq 0,05$).

Таблица 4 содержит сведения о результатах биометрии общей урожайности за 2024 г. По ее данным, среднее число клубней на одном растении в группе обработанных образцов оказалось значительно выше (примерно на 12-13%), нежели в контрольной группе без обработки ПЭМП. Следует подчеркнуть, что урожайность опытного участка «Печорский ТЭ» оказалась выше аналогичного показателя для варианта «Печорский Э», вероятно, это связано с модификациями генотипа вследствие воздействия ПЭМП.

Данные табл. 5 демонстрируют результаты измерения общей урожайности образца исследования 2025 г., повторяя тенденции прошлых сезонов: однократная обработка ПЭМП (Э) увеличивает количество клубней. Аналогичные изменения отмечены также для вариантов типа Печорский 21-23; наблюдалась схожая динамика увеличения числа клубней в варианте Печорский 21-24 (табл. 5). Итоговый вывод исследований показывает, что одноразовая обработка ПЭМП вызывает значительное увеличение числа клубней с вариативным изменением уровня общей урожайности, обусловленным преимущественно условиями

роста культуры в конкретный период вегетации.

Подводя итоги проведенного исследования, важно подчеркнуть, что в Республике Коми сорт Печорский демонстрирует повышенную восприимчивость к действию ПЭМП. Было выявлено, что предварительная обработка посевного материала способствует улучшению роста и развития

культуры картофеля. Полученные результаты подтвердили, что обработка клубней ПЭМП стимулирует образование большего количества новых клубней, что неизбежно повышает общую продуктивность посадок картофеля.

Заключение

1. Экспериментально подтверждено, что обработка клубней картофеля ПЭМП в режиме 15/5 (по схеме: 15 мин воздействия / 5 мин перерыва в течение 1 ч) индивидуально подобранным спектром («предпосевное облучение») оказывает влияние на процессы роста и развития растений картофеля.

2. Переменное электромагнитное поле стимулирует процессы формирования зеленой массы и клубнеобразование картофеля, демонстрируя свою эффективность в климатических условиях Севера.

3. Показана эффективность переменного электромагнитного поля после однократной обработки. Предпосевная обработка картофельных клубней на протяжении нескольких вегетационных периодов (не менее трех) не приводит к повышению показателей урожайности картофеля, что может свидетельствовать об изменении генотипа исходного сорта.

4. Данные экспериментов подтверждают целесообразность дальнейших исследований по уточнению наиболее эффективных режимов обработки клубней картофеля перед посадкой и методов воздействия ПЭМП для улучшения показателей сельскохозяйственной продукции.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источники и литература

1. Симаков, Е. А. Приоритеты развития селекции и семеноводства картофеля / Е. А. Симаков, Б. В. Анисимов // Картофель и овощи. – 2006. – № 8. – С. 4–5.
2. Зайнуллин, В. Г. Картофель. Факторы урожайности / В. Г. Зайнуллин, А. А. Юдин, С. А. Быков. – Сыктывкар, 2021. – 160 с.
3. Aladjadjiyan, A. Physical factors for plant growth stimulation improve food quality. In: Aladjadjiyan, A. (ed) Food production approaches, challenges and tasks, 1st edn. IntechOpen Limited, London, 2012, p. 145–168. – URL: <https://doi.org/10.5772/32039>.
4. Kuntal, B. Seed priming with non-ionizing physical agents: plant responses and underlying physiological mechanisms / B. Kuntal, D. Puspendu, S. Sanjoy // Plant Cell Reports. – 2022. – № 41. – P. 53–73. – URL: <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02798-y>.
5. Pre-treatment of seeds with static magnetic field ameliorates soil water stress in seedlings of maize (*Zea mays* L.) / A. Anand, S. Nagarajan, A. P. S. Verma [et al.] // Indian J Biochem Biophys. – 2012. – № 49 (1). – P. 63–70.
6. Hydrogen peroxide signaling integrates with phytohormones during the germination of magnetoprimed tomato seeds / A. Anand, A. Kumari, M. Thakur [et al.] // Sci Rep. – 2019. – № 9 (1). – P. 8814. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45102-5>.
7. Investigation of pulsed electromagnetic field as a novel organic pre-sowing method on germination and initial growth stages of cotton / D. J. Bilalis, N. Katsenios, A. Efthimiadou [et al.] // Electromagn Biol Med. – 2012. – № 31 (2). – P. 143–150. – URL: <https://doi.org/10.3109/15368378.2011.624660>.
8. Physical methods for seed invigoration: advantages and challenges in seed technology / S. Araújo, S. Paparella, D. Dondi [et al.] // Front Plant Sci. – 2016. – № 7. – P. 646. – URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00646>.
9. Нетепловые эффекты миллиметрового излучения / под ред. Н. Д. Девяткова. – М.: ИЗЭ АН СССР, 1981. – 186 с.
10. Девятков, Н. Д. Особенности взаимодействия миллиметрового излучения низкой интенсивности с биологическими объектами / Н. Д. Девятков, О. В. Бецкий // Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине: сб. докл. – М.: ИРЭ АН СССР, 1985. – С. 6–20.
11. Девятков, Н. Д. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности / Н. Д. Девятков, М. Б. Голант, О. В. Бецкий. – М.: Радио и связь, 1991. – 168 с.
12. Adey, W. R. Tissue interactions with nonionizing electromagnetic fields / W. R. Adey // Physiol. Rev. – 1981. – № 61. – P. 435–514.
13. Biological effects of nonionizing electromagnetic fields: Two sides of a coin / T. Saliev, D. Begimbetova, A. R. Masoud, B. Matkarimov // Progress in Biophysics and Molecular Biology. – 2019. – № 141. – P. 25–36.
14. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
15. Методические положения. По проведению оценки сортов и гибридов картофеля на испытательных участках. ФГБНУ ВНИИКХ. – М., 2017. – 11 с.
16. Гублер, Е. В. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях / Е. В. Гублер, А. А. Генкин. – Л.: Медицина, 1973. – 141 с.
17. The effect of an extremely low-frequency electromagnetic field on the drought sensitivity of wheat plants / N. S. Mshenskaya, M. A. Grinberg, E. A. Kalyasova [et al.] // Plants. – 2023. – № 12. – P. 826. – URL: <https://doi.org/10.3390/plants12040826> <https://www.mdpi.com/journal/plants>.
18. Maffei, M. E. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution / M. E. Maffei // Front. Plant Sci. – 2014. – № 5. – doi: 10.3389/fpls.2014.00445.
19. Growth, physiological, biochemical and molecular changes in plants induced by magnetic fields: A review / M. B. Hafeez, N. Zahra, N. Ahmad [et al.] // Plant Biol. – 2022. – № 1. – P. 23.
20. Belyavskaya, N. A. Biological effects due to weak magnetic field on plants / N. A. Belyavskaya // Adv Space Res. – 2004. – № 34 (7). – P. 1566–1574. – doi: 10.1016/j.asr.2004.01.021.
21. Extremely low frequency non-uniform magnetic fields induce changes in water relations, photosynthesis and tomato plant growth / A. De Souza-Torres, L. Sueiro-Pelegrín,

- M. Zambrano-Reyes [et al.] // Int. J. Radiat. Biol. – 2020. – № 96. – P. 951–957. – doi: 10.1080/09553002.2020.1748912.
22. Verma, S. Microwave pretreatment of tomato seeds and fruit to enhance plant photosynthesis, nutritive quality and shelf life of fruit / S. Verma, V. Sharma, N. Kumari // Postharvest Biol Tech-nol. – 2020. – № 159. – P. 111015. – doi: 10.1016/j.postharvbio.2019.111015.
 23. The effect of pre-sowing seed stimulation on the germination and pigment content in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) seedlings leaves / H. Szajsner, U. Prośba-Białczyk, E. Sacata [et al.] // Pol J Nat Sci. – 2017. – № 32 (2). – P. 207–222.
 24. Effect of presowing magnetic treatment on properties of pea / M. Iqbal, Z. Haq, Y. Jamil [et al.] // Int Agrophys. – 2012. – № 26. – P. 25–31.
 25. Hore, P. J. Upper bound on the biological effects of 50/60 Hz magnetic fields mediated by radical pairs / P. J. Hore // eLife. – 2019. – № 8. – P. e44179. – URL: <https://doi.org/10.7554/eLife.44179>.
 26. Weak radiofrequency field effects on biological systems mediated through the radical pair mechanism / Luca Gerhards, Andreas Deser, Daniel R. Kattinig [et al.] // Chem. Rev. – 2025. – № 125. – P. 8051–8088. – URL: <http://doi.org/10.26434/chemrev.5c00178>.
 27. Strasak, L. Effects of low-frequency magnetic fields on bacteria *Escherichia coli* / L. Strasak, V. Vetterl, J. Smarda // Bioelectrochemistry. – 2002. – № 55. – P. 161–164.
- ## References
1. Simakov, E. A. Prioritety razvitiya selekcii i semenovodstva kartofelya [Priorities for the development of potato breeding and seed production] / E. A. Simakov, B. V. Anisimov // Kartofel i ovoshhi [Potato and Vegetables]. – 2006. – № 8. – P. 4–5.
 2. Zajnullin, V. G. Kartofel. Faktory urozhajnosti [Potato. Yield factors] / V. G. Zainullin, A. A. Yudin, S. A. Bykov. – Syktyvkar, 2021. – 160 p.
 3. Aladjadjian, A. Physical factors for plant growth stimulation improve food quality. In: Aladjadjian, A. (ed) Food production approaches, challenges and tasks, 1st edn. IntechOpen Limited, London, 2012, p. 145–168. – URL: <https://doi.org/10.5772/32039>.
 4. Kuntal, B. Seed priming with non-ionizing physical agents: plant responses and underlying physiological mechanisms / B. Kuntal, D. Puspendu, S. Sanjoy // Plant Cell Reports. – 2022. – № 41. – P. 53–73. – URL: <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02798-y>.
 5. Pre-treatment of seeds with static magnetic field ameliorates soil water stress in seedlings of maize (*Zea mays* L.) / A. Anand, S. Nagarajan, A. P. S. Verma [et al.] // Indian J Biochem Biophys. – 2012. – № 49 (1). – P. 63–70.
 6. Hydrogen peroxide signaling integrates with phytohormones during the germination of magnetoprimed tomato seeds / A. Anand, A. Kumari, M. Thakur [et al.] // Sci Rep. – 2019. – № 9 (1). – P. 8814. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45102-5>.
 7. Investigation of pulsed electromagnetic field as a novel organic pre-sowing method on germination and initial growth stages of cotton / D. J. Bilalis, N. Katsenios, A. Efthimiadou [et al.] // Electromagn Biol Med. – 2012. – № 31 (2). – P. 143–150. – URL: <https://doi.org/10.3109/15368378.2011.624660>.
 8. Physical methods for seed invigoration: advantages and challenges in seed technology / S. Araújo, S. Paparella, D. Dondi [et al.] // Front Plant Sci. – 2016. – № 7. – P. 646. – URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00646>.
 9. Neteplovye efekty millimetrovogo izlucheniya [Non-thermal effects of millimeter radiation] / ed. N. D. Devyatkov. – Moscow: Institute of Radiotechnics and Electronics AS USSR, 1981. – 186 p.
 10. Devyatkov, N. D. Osobennosti vzaimodejstviya millimetrovogo izlucheniya nizkoj intensivnosti s biologicheskimi obyektami [Interaction features of low-intensity millimeter radiation with biological objects] / N. D. Devyatkov, O. V. Beczkij // Primenenie millimetrovogo izlucheniya nizkoj intensivnosti v biologii i medicine [Application of Low-Intensity Millimeter Radiation in Biology and Medicine]: Collected papers. – Moscow: Institute of Radiotechnics and Electronics AS USSR, 1985. – P. 6–20.
 11. Devyatkov, N. D. Millimetrovye volny i ikh rol v processakh zhiznedeyatelnosti [Millimeter waves and their role in life processes] / N. D. Devyatkov, M. B. Golant, O. V. Beczkij. – Moscow: Radio i svyaz [Radio and Communication], 1991. – 168 p.
 12. Adey, W. R. Tissue interactions with nonionizing electromagnetic fields / W. R. Adey // Physiol. Rev. – 1981. – № 61. – P. 435–514.
 13. Biological effects of nonionizing electromagnetic fields: Two sides of a coin / T. Saliev, D. Begimbetova, A. R. Masoud, B. Matkarimov // Progress in Biophysics and Molecular Biology. – 2019. – № 141. – P. 25–36.
 14. Dospikhov, B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy) [Methods of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)] / B. A. Dospikhov. – Moscow: Kolosagropromizdat, 1985. – 351 p.
 15. Metodicheskie polozheniya po provedeniyu ocenki sortov i gibrinov kartofelya na ispytatelnykh uchastkakh [Methodological provisions to evaluate potato varieties and hybrids at the test sites]. – Russian Potato Research Centre. – Moscow, 2017. – 11 p.
 16. Gubler, E. V. Primenenie neparametricheskikh kriteriev statistiki v mediko-biologicheskikh issledovaniyakh [Use of non-parametric statistic criteria in medical-biological studies] / E. V. Gubler, A. A. Genkin. – Leningrad: Medicina [Medicine]. – 1973. – 141 p.
 17. The effect of an extremely low-frequency electromagnetic field on the drought sensitivity of wheat plants / N. S. Mshenskaya, M. A. Grinberg, E. A. Kalyasova [et al.] // Plants. – 2023. – № 12. – P. 826. – URL: <https://doi.org/10.3390/plants12040826> <https://www.mdpi.com/journal/plants>.
 18. Maffei, M. E. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution / M. E. Maffei // Front. Plant Sci. – 2014. – № 5. – doi: 10.3389/fpls.2014.00445.

19. Growth, physiological, biochemical and molecular changes in plants induced by magnetic fields: A review / M. B. Hafeez, N. Zahra, N. Ahmad [et al.] // *Plant Biol.* – 2022. – № 1. – P. 23.
20. Belyavskaya, N. A. Biological effects due to weak magnetic field on plants / N. A. Belyavskaya // *Adv Space Res.* – 2004. – № 34 (7). – P. 1566–1574. – doi: 10.1016/j.asr.2004.01.021.
21. Extremely low frequency non-uniform magnetic fields induce changes in water relations, photosynthesis and tomato plant growth / A. De Souza-Torres, L. Sueiro-Pelegrín, M. Zambrano-Reyes [et al.] // *Int. J. Radiat. Biol.* – 2020. – № 96. – P. 951–957. – doi: 10.1080/09553002.2020.1748912.
22. Verma, S. Microwave pretreatment of tomato seeds and fruit to enhance plant photosynthesis, nutritive quality and shelf life of fruit / S. Verma, V. Sharma, N. Kumari // *Postharvest Biol Tech-nol.* – 2020. – № 159. – P. 111015. – doi: 10.1016/j.postharvbio.2019.111015.
23. The effect of pre-sowing seed stimulation on the germination and pigment content in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) seedlings leaves / H. Szajsner, U. Prośba-Białczyk, E. Sacata [et al.] // *Pol J Nat Sci.* – 2017. – № 32 (2). – P. 207–222.
24. Effect of presowing magnetic treatment on properties of pea / M. Iqbal, Z. Haq, Y. Jamil [et al.] // *Int Agrophys.* – 2012. – № 26. – P. 25–31.
25. Hore, P. J. Upper bound on the biological effects of 50/60 Hz magnetic fields mediated by radical pairs / P. J. Hore // *eLife.* – 2019. – № 8. – P. e44179. – URL: <https://doi.org/10.7554/eLife.44179>.
26. Weak radiofrequency field effects on biological systems mediated through the radical pair mechanism / Luca Gerhards, Andreas Deser, Daniel R. Kattinig [et al.] // *Chem. Rev.* – 2025. – № 125. – P. 8051–8088. – URL: <http://doi.org/10.26434/chemrev.5c00178>.
27. Strasak, L. Effects of low-frequency magnetic fields on bacteria *Escherichia coli* / L. Strasak, V. Vetterl, J. Smarda // *Bioelectrochemistry.* – 2002. – № 55. – P. 161–164.

Благодарность (госзадание)

Исследования выполнены в рамках государственного задания Института агrobiотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № FUUU-2024-0015, регистрационный номер ЕГИСУ НИОКТР 1034031100067-7-4.1.1 по теме «Оценка эффективности технологии дистанционной электромагнитной обработки сортов картофеля слабыми неионизирующими импульсными полями».

Acknowledgments (state task)

The studies were conducted within the framework of the state task of the Institute of Agrobiotechnologies, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences № FUUU-2024-0015, EGISU NIOKTR registration number 1034031100067-7-4.1.1 on the topic "Ocenka effektivnosti tekhnologii distancionnoj elektromagnitnoj obrabotki sortov kartofelya slabymi neioniziruyushchimi impulsnymi polyami [The efficiency evaluation of remote electromagnetic technology of potato varieties' treatment with weak non-ionising pulsed fields]."

Информация об авторах:

Зайнуллин Владимир Габдуллович – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института агrobiотехнологий им. А. В. Журавского Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; AuthorID: 78291, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9378-1170>, SPIN-код: 3874-0936 (167023, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Ручейная, д. 27; e-mail: zainullin.v.g@yandex.ru).

Пожирицкая Александра Николаевна – младший научный сотрудник Института агrobiотехнологий им. А. В. Журавского Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; AuthorID: 1256167, <https://orcid.org/0009-0009-5595-8391>, SPIN-код: 2453-2236 (167023, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Ручейная, д. 27).

Кожевников Сергей Юрьевич – инженер-исследователь Института агrobiотехнологий им. А. В. Журавского Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (167023, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Ручейная, д. 27).

Грязнов Валерий Георгиевич – кандидат технических наук, заместитель руководителя Научного центра ОАО «Концерн «ГРАНИТ»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5751-6815>, SPIN-код: 1071-5506 (119019, Российская Федерация, г. Москва, б-р Гоголевский, д. 31, стр. 2; e-mail: info@granit-concern.ru).

About the authors:

Vladimir G. Zainullin – Doctor of Sciences (Biology), Leading Researcher at the A. V. Zhuravsky Institute of Agrobiotechnologies, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; AuthorID: 78291, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9378-1170>, SPIN-code: 3874-0936 (27 Rucheynaya str., Syktyvkar, Komi Republic, 167023, Russian Federation; e-mail: zainullin.v.g@yandex.ru).

Alexandra N. Pozhiritskaya – Junior Researcher at the A. V. Zhuravsky Institute of Agrobiotechnologies, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Author ID: 1256167, <https://orcid.org/0009-0009-5595-8391>, SPIN-code: 2453-2236 (27 Rucheynaya str., Syktyvkar, Komi Republic, 167023, Russian Federation; e-mail: alexa-rgz@yandex.ru).

Sergey Yu. Kozhevnikov – Research Engineer at the A. V. Zhuravsky Institute of Agrobiotechnologies, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (27 Rucheynaya str., Syktyvkar, Komi Republic, 167023, Russian Federation).

Valery G. Gryaznov – Candidate of Sciences (Engineering), Deputy Head of the Scientific Department of AO “Concern GRAIT”, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5751-6815>, SPIN-code: 1071-5506 (31 Gogolevsky Boulevard, Building 2, Moscow, 119019, Russian Federation; e-mail: office@granit-concern.ru).

Для цитирования:

Влияние переменных электромагнитных полей на повышение ресурсного потенциала картофеля сорта Печорский в условиях Крайнего Севера / В. Г. Зайнуллин, А. Н. Пожирицкая, С. Ю. Кожевников [и др.] // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Сельскохозяйственные науки». – 2026. – № 1 (86). – С. 36–43.

For citation:

Vliyanie peremennykh elektromagnitnykh polej na povyshenie resursnogo potenciala kartofelya sorta Pechorskij v usloviyah Krajnego Severa [The influence of variable electromagnetic fields on enhancing the resource potential of potato variety Pechorsky in conditions of the Far North] / V. G. Zainullin, A. N. Pozhiritskaya, S. Yu. Kozhevnikov [et al.] // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series “Agricultural Sciences”. – 2026. – № 1 (86). – P. 36–43.

Дата поступления рукописи: 15.01.2026

Прошла рецензирование: 28.01.2026

Принято решение о публикации: 16.02.2026

Received: 15.01.2026

Reviewed: 28.01.2026

Accepted: 16.02.2026