

Информация об авторе

Цепляев Алексей Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, д. 9), ORCID: <https://org/0000-0003-1454-5784>, e-mail: can_volgau@mail.ru.

Author's Information

Tseplyaev Alexey Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture (Russian Federation, 400002, Volgograd, ul. Timiryazeva, 9), ORCID: <https://org/0000-0003-1454-5784>, e-mail: can_volgau@mail.ru.

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-34

PRE-SOWING STIMULATION OF GRAIN SEEDS IN A HIGH-VOLTAGE ELECTRIC FIELD

¹Yudaev I. V., ²Tibirkov A. P., ³Belenkov A. I.

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
"Kuban State Agricultural University named after I. T. Trubilin"
Krasnodar, Russian Federation

²Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

³Federal Science Center for feed production and agroecology named after V. R. Williams
Lobnya, Moscow region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: belenokaleksis@mail.ru

Received 28.12.2023

Submitted 19.01.2024

Summary

The strategic goal of modern agriculture is the vital need to increase crop yields while maintaining its quality, minimizing the total energy costs for cultivation and minimizing the negative impact on the environment. It is quite possible to achieve these tasks if you have healthy seeds, characterized, first of all, by improved sowing qualities.

Abstract

Introduction. The strategic goal of modern agriculture is the vital need to increase crop yields while maintaining crop quality, minimizing the total energy costs of cultivation and negating the negative impact on the environment. It is quite possible to accomplish these tasks if you have healthy seeds, characterized, first of all, by improved sowing qualities. **Object.** To implement the indicated approaches, today it is possible to use the preparation of seeds for sowing, using a variety of electrophysical influences, including processing of seed material in a high-voltage electric field. **Materials and methods.** The research was carried out by the Problem Research Laboratory "Bioenergy Research and Effective Electrotechnologies" of the Volgograd State Agrarian University, as well as on the basis of the experimental field of the Federal National Scientific Center "Agroecology, integrated reclamation and protective afforestation of the Russian Academy of Sciences" and the peasant farm of N. N. Oleinikov. **Results and conclusions.** The purpose of the presented article is to analyze the results obtained from studying the process of treating grain crop seeds before sowing in an electric field of constant (EPPVN) and alternating high voltage (EPPVN), as well as in the electric field of pulsed high-voltage discharges (EPHVD). For the research, a universal experimental setup was assembled, which could be transformed to change processing modes for processing seeds in electric fields of all designated types. According to the results of the experiments, there was a clear dependence of the speed and speed of germination of seeds of winter triticale and winter barley on the effects of electrical nature on them. The effectiveness of the effects and their modes is also manifested in the protection of plants from various pests, for example, against flea beetles and meromyces – this is a treatment in EPPrVN lasting 120 s.; against the Swedish fly – EPPrVN lasting 60 s.; against wheat thrips – EPIVN lasting 60 s. The use of pre-sowing treatment of winter barley seeds in EPIVN made it possible to increase the weight of 1000 seeds on average: a) by 1.16-1.94 g at a seeding rate of 3.0 million seedlings. seeds per 1 ha; b) by 0.48-1.44 g at a rate of 3.5 million shoots. seeds per 1 ha. Over two years of observation, an increase in the yield of barley plants from treated seeds over crops with untreated seeding material at a seeding rate of 3.0 million seedlings. seeds per 1 hectare ranged from 0.006 to 0.23 t/ha, and with 3.5 million seeds per 1 hectare – from 0.06 to 0.22 t/ha.

Keywords: pre-sowing electrical stimulation of seeds, seed treatment modes, electric field strength, seed treatment time, seed germination, seed growth energy.

Citation. Yudaev I. V., Tibirkov A. P., Belenkov A. I. Pre-sowing stimulation of grain seeds in a high-voltage electric field. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 1(73). 298-312 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-34.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.371:621

ПРЕДПОСЕВНАЯ СТИМУЛЯЦИЯ СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ¹Юдаев И. В., доктор технических наук, профессор²Тиби́рьков А. П., доктор сельскохозяйственных наук, профессор³Беленков А. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

г. Краснодар, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

³ФНЦ кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса

г. Лобня, Московская обл., Российская Федерация

Актуальность. Стратегической целью ведения современного сельского хозяйства является жизненно важная необходимость повысить урожайность сельскохозяйственных культур, сохранив при этом его качество, минимизировав совокупные затраты энергии на возделывание и сведя на нет отрицательное влияние на окружающую среду. Осуществить эти задачи вполне возможно, если иметь здоровые семена, характеризующиеся, в первую очередь, улучшенными посевными качествами. **Объект.** Для реализации обозначенных подходов сегодня можно использовать подготовку семян к посеву, используя для этого разнообразные электрофизические воздействия, в том числе и обработку семенного материала в электрическом поле высокого напряжения. **Материалы и методы.** Исследования осуществлены в Проблемной научно-исследовательской лаборатории «Биоэнергетические исследования и эффективные электротехнологии» Волгоградского ГАУ, а также на базе опытного поля ФНАЦ «Агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН» и крестьянского хозяйства Н. Н. Олейникова. **Результаты и выводы.** Целью представленной статьи является анализ полученных результатов по изучению процесса обработки семян зерновых культур перед посевом в электрическом поле постоянного (ЭППВН) и переменного высокого напряжения (ЭПРВН), а также электрическом поле импульсных высоковольтных разрядов (ЭПИВН). Для исследований была собрана универсальная экспериментальная установка, которая могла трансформироваться под изменение режимов обработки для обработки семян в электрических полях всех обозначенных видов. По результатам экспериментов прослеживалась явная зависимость скорости и дружности прорастания семян озимого тритикале, озимого ячменя от воздействий электрической природы на них. Эффективность воздействий и их режимов проявляется также и при защите растений от разнообразных вредителей, так против хлебных блошек и меромизы – это обработка в ЭПРВН длительностью 120 с.; против шведской мухи – ЭППВН длительностью 60 с.; против пшеничного трипса – ЭПИВН длительностью 60 с. Использование предпосевной обработки семян озимого ячменя в ЭПИВН позволило получить повышение массы 1000 семян в среднем: а) на 1,16-1,94 г при норме высева 3,0 млн. всх. семян на 1 га; б) на 0,48-1,44 г при норме 3,5 млн. всх. семян на 1 га. За два года наблюдений увеличение урожайности растений ячменя из обработанных семян над посевами с необработанным посевным материалом при норме высева 3,0 млн. всх. семян на 1 га составило от 0,006 до 0,23 т/га, а при 3,5 млн. семян на 1 га – от 0,06 до 0,22 т/га.

Ключевые слова: предпосевная электростимуляция семян, режимы обработки семян, напряженность электрического поля, время обработки семян, всхожесть семян, энергия роста семян.

Цитирование. Юдаев И. В., Тиби́рьков А. П., Беленков А. И. Предпосевная стимуляция семян зерновых культур в электрическом поле высокого напряжения. *Известия НВ АУК*. 2024. 1(73). 298-312. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-34.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В настоящее время пристальное внимание приковано к поиску технологий и технических решений, позволяющих минимизировать негативное влияние на окружающую среду, сохранить пищевую безопасность производимого продукта, а само сельскохозяйственное производство максимально приблизить к природоподобным технологиям, технологиям органического земледелия. Поставленным задачам в качестве решений можно предложить применение разнообразных электротехнологий и электротехнологических операций, внедре-

ние которых в аграрный сектор и перерабатывающую промышленность технологически эффективно и экологически безопасно, и вместе с тем позволяет реализовать землепользователю современные принципы использования висотехнологических средств, получая при этом более высокий доход от выращенной, безопасной во всех смыслах, продукции [1]. Конкретным подходом реализации обозначенных технологий можно считать предпосевную стимуляцию семян разнообразных сельскохозяйственных культур. Сейчас доказана многочисленными исследованиями и практической реализацией возможность обрабатывать семена перед внесением в почву в электрическом поле постоянного и переменного тока [2, 3]; в магнитном поле [4, 5]; в поле коронного разряда [6]; при воздействии электрическими импульсами [7, 8, 9] и при пропускании электрического тока [10]; облучение ультрафиолетовым, инфракрасным, монохроматическим и когерентным излучением [11, 12].

Цель и постановка задач. Целью представленной статьи является анализ полученных результатов по изучению предпосевной подготовки семян злаков в электрическом поле постоянного (ЭППВН) и переменного (ЭППрВН) высокого напряжения, а также электрическом поле импульсных высоковольтных разрядов (ЭПИВН). В задачу проведения этих исследований входило выявление режимов и параметров, а также вида электрических воздействий, положительно сказывающихся на повышении урожайности культур, улучшении условий выращивания за счет более высокой их устойчивости к болезням и вредителям, а также выносливости к неблагоприятным факторам воздействий на всех периодах развития растений.

Материалы и методы. Программа исследований по изучению влияния обработки в электрических полях высокого напряжения (ЭППВН, ЭППрВН, ЭПИВН) семян злаковых культур перед посевом определило необходимость спроектировать и изготовить экспериментальную установку, позволяющую эффективно осуществлять обработку, контролировать и управлять ее параметрами и режимами. Собранная установка содержит в своей структуре основной элемент – источник регулируемого высокого переменного и постоянного напряжения, в качестве которого использовался аппарат для высоковольтных испытаний СКАТ-70. Применяя именно промышленно изготовленное устройство, прошедшее заводскую тарировку и имеющее возможность осуществлять визуальный контроль параметров обработки и их изменением в процессе исследований, позволило с минимальными затратами трансформировать лабораторную установку под задачи, которые ставились в эксперименте [13].

Наиболее содержательной и включающей самое большое количество элементов была экспериментальная установка по изучению влияния ЭПИВН на семена зерновых культур. Установка была скомпонована из следующих блоков: 1) источника высокого напряжения, в качестве которого применялась устройство для высоковольтных испытаний СКАТ-70 (рисунок 1а) или высоковольтный трансформатор с блоком выпрямления (рисунок 1б); 2) управляемого формирующего импульсные воздействия разрядника; 3) схемы управления этим разрядником; 4) экспериментальной ячейки с системой рабочих электродов; 5) комплекта контрольно-измерительных приборов [14].



Рисунок 1 – Варианты комплектования экспериментальных установок для обработки семян в электрическом поле: а – с использованием аппарата СКАТ-70; б – с применением высоковольтного трансформатора и блока выпрямления

Figure 1 – Options for completing experimental installations for processing seeds in an electric field:
a – using the SKAT-70 apparatus; b – using a high-voltage transformer and a rectification unit

В лабораторных условиях проблемной научно-исследовательской лаборатории «Биоэнергетические исследования и эффективные электротехнологии» Волгоградского ГАУ, а также на базе опытного поля ФНАЦ «Агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН» и крестьянского хозяйства Н. Н. Олейникова в 2008-2010 гг. были осуществлены исследования по изучению влияния стимуляции семян злаковых культур на энергию их прорастания и всхожесть, структуру урожая и развитие вредных патогенных организмов [13].

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение. Осуществленные экспериментальные исследования и анализ полученных результатов позволили выявить, что влияние электрических воздействий на семенной материал проявляется уже на начальных этапах развития растений – явно прослеживалась зависимость скорости и дружности прорастания семян озимого тритикале сорта ТИ 17 от воздействия на них электрического поля постоянного и переменного высокого напряжения (ЭППВН, ЭППрВН), а также электрического поля импульсных высоковольтных разрядов (ЭПИВН).

Наименьшее количество проросших семян на вторые сутки наблюдения было зафиксировано в варианте с использованием для предпосевной стимуляции в ЭППВН, для которого этот показатель был равен 4,3%. В тоже время на контроле, когда семена ничем не обрабатывались, энергия прорастания в среднем составила значение 3,3%. При стимуляции семян в ЭППрВН, а равно как и в ЭПИВН, показатели оказались существенно выше по сравнению с контролем, и составили соответственно значения 23,0% и 28,5%. На третьи сутки было выявлено, что число проросших семян, среди обработанных, увеличилось в среднем в 2,1...2,6 раза по сравнению с контролем. Скорость и дружность прорастания семян после электрообработки, на четвертые сутки практически выровнялись. Оптимальным режимом в этом отношении оказался вариант с обработкой в ЭППрВН, где одновременность отклика семян составила 96,0%. При обработке в ЭППВН и ЭПИВН энергия прорастания была практически одинаковой и составила значения 92,5 и 92,0% соответственно, а вот на контрольном варианте этот показатель был в два раза ниже.

Внешний вид развития проростков и оценка скорости и дружности прорастания семян тритикале сорта ТИ 17, а также определения энергии всхожести представлена на рисунке 2.

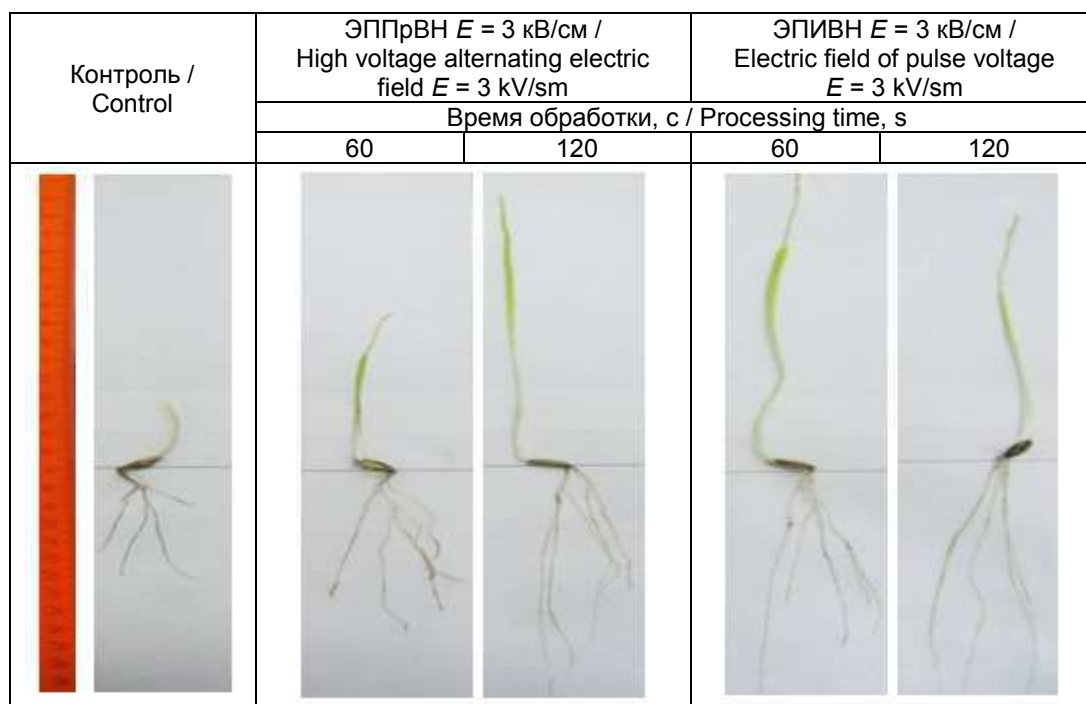


Рисунок 2 – Влияние режимов обработки в ЭППрВН и ЭПИВН семян озимого тритикале сорта ТИ 17 на рост и развитие ростков, см

Figure 2 – Effect of treatment modes in High voltage alternating electric field and Electric field of pulse voltage of seeds of winter triticale variety TI 17 on the growth and development of sprouts, cm

На представленных фотографиях видно стимулирующее действие электрической обработки семян. В качестве обоснования можно предположить, что при воздействии электрических полей высокого напряжения во внутренней структуре семени происходит перераспределение электрических зарядов, которые изменяют ход физико-химических процессов в клетке и тем самым получается эффект, проявляющийся в виде более интенсивного роста и развития растений. Анализируя результаты по всхожести, были получены следующие данные: наиболее отзывчивыми семена оказались на воздействие ЭППрВН, так развившихся (проросших) семян оказалось 98,7%, что на 4% превышало контроль. Всхожесть семян других вариантов отличалась на 1,0% и 1,7% от контроля (рисунок 3).

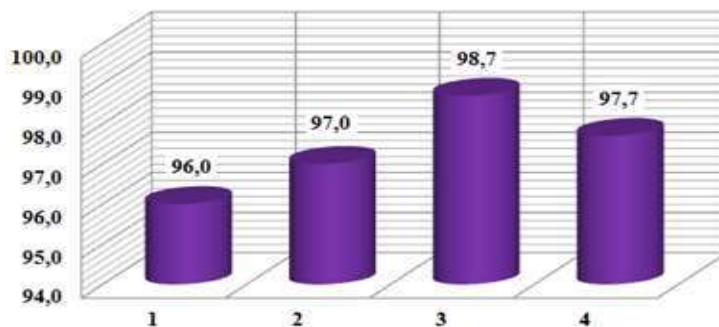


Рисунок 3 – Влияние на всхожесть вариантов предпосевной обработки семян озимого тритикале сорта ТИ 17, %: 1 – контроль; 2 – ЭППВН; 3 – ЭППрВН; 4 – ЭПИВН

Figure 3 – Effect on germination of pre-sowing seed treatment options for winter triticale variety TI 17, %: 1 – control; 2 – Electric field of constant high voltage; 3 – High voltage alternating electric field; 4 – Electric field of pulse voltage

Результат полученного положительного стимулирующего эффекта можно объяснить интенсификацией протекающих биологических процессов во внутренних структурах семени за счет получения им дополнительной энергии.

Для выявления практической применимости изучаемого метода предпосевной стимуляции программой исследований были предусмотрены поисковые эксперименты, в ходе которых было определено, что эффект от воздействий электрической природы на развитие семян зависит не только от параметров и режимов обработки, но и от состояния самих семян, то есть от чувствительности к электрическим воздействиям. Агротехнологический приём, по предпосевной обработке в электрических полях, эффективен для семян с пониженной всхожестью, но высокой жизнеспособностью [15, 16]. Было выявлено, что чем больше разница между всхожестью семян и их жизнеспособностью, тем выше эффективность изучаемого агроприёма.

Активизация в первоначальный период развития растений озимого тритикале сорта ТИ 17, выросших из семян, обработанных в электрических полях, приводит к изменению их морфологических характеристик (таблица 1).

Таблица 1 – Особенности изменения морфометрических показателей проростков семян озимого тритикале сорта ТИ 17 под влиянием электрических полей высокого напряжения

Table 1 – Features of changes in morphometric parameters of seedlings of winter triticale variety TI 17 under the influence of high voltage electric fields

Режим обработки / Processing mode		Всхожесть, % / Germination, %	Количество корней у одного растения, шт. / Number of roots per plant, pcs	Длина корней, см / Root length, cm	Высота проростков, см / Height of seedlings, cm
Вид воздействия / Type of impact	Время обра- ботки, с / Processing time, s				
1		2	3	4	5
Контроль – без обработки / Control - no treatment		88,7	5,1	9,4	6,3

Окончание таблицы 1

1		2	3	4	5
ЭПИВН $E = 3$ кВ/см / Electric field of pulse voltage $E = 3$ kV/sm	60	96,8	5,6	11,3	8,2
	120	96,6	5,6	11,9	8,9
ЭППВН $E = 3$ кВ/см / Electric field of constant high voltage $E = 3$ kV/sm	60	90,3	5,9	11,2	7,4
	120	91,5	6,0	12,1	7,2
ЭППрВН $E = 3$ кВ/см / High voltage alternating electric field $E = 3$ kV/sm	60	96,7	5,1	8,9	5,0
	120	90,0	5,1	10,4	8,5

Проведенный анализ результатов опытных исследований, позволяют говорить о том, что у вегетирующих растений происходит удлинение первых междоузлий, формируется более мощная, по сравнению с контролем, корневая система. Очень серьезным фактом, для условий аридной зоны, является то, что интенсивный рост корней приводит к более быстрому укоренению растений, лучшему использованию ими весенней влаги и питательных веществ (рисунок 4).

Контроль / Control	ЭППрВН $E = 3$ кВ/см / High voltage alternating electric field $E = 3$ kV/sm		ЭППВН $E = 3$ кВ/см / Electric field of constant high voltage $E = 3$ kV/sm	
	Время обработки, с / Processing time, s			
	120	60	120	60
				

Рисунок 4 – Образцы растений озимого тритикале сорта ТИ 17, выращенные в полевых условиях, из семян, обработанных перед посевом в электрическом поле переменного и постоянного высокого напряжения

Figure 4 – Samples of winter triticale plants of variety TI 17, grown in the field, from seeds treated before sowing in an electric field of alternating and direct high voltage

Уровень влияния стимуляции семян в электрическом поле зависит от режима обработки: наилучшие результаты выявлены при применении ЭПИВН при обработке в течение 120 с. Наблюдаемое при этом повышение морфофизиологических показателей проростков, несомненно, способствует увеличению урожайности. Фиксируемое при этом улучшение морфофизиологических показателей проростков, несомненно, закладывает возможность увеличения урожайности культур. Данный электротехнологический прием приводит к улучшению физиологического состояния зародыша, влияя вплоть до изменения интенсивности химических реакций.

Для проверки высказанной гипотезы об изменениях, протекающих во внутриклеточных структурах семян, была проведена серия опытов, в которых зерно различных культур обрабатывались в ЭПИВН. Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что сразу после обработки влажность массы семян увеличивалась, по сравнению с таким же объемом необработанных семян, а затем несколько снижалась, но вместе с тем конечное (установившееся) её значение оставалось выше, чем у необработанных образцов семян (рисунок 5).

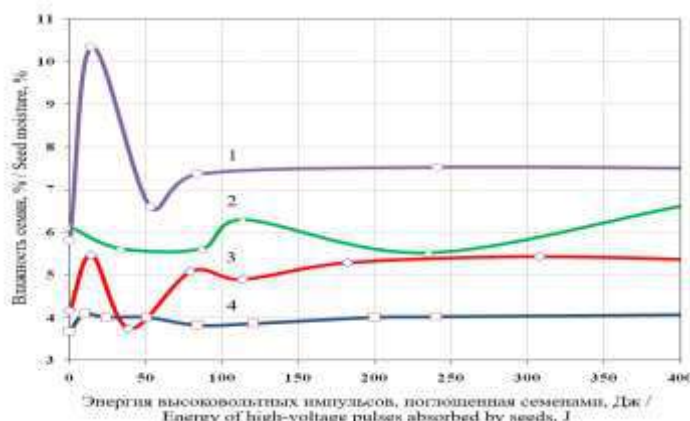


Рисунок 5 – Зависимость влажности обрабатываемого слоя семян зерновых культур (1 – овес, 2 – кукуруза, 3 – озимая пшеница, 4 – ячмень) от воздействующей энергии высоковольтных электрических импульсов

Figure 5 – Dependence of the moisture content of the treated layer of grain seeds (1 – oats, 2 – corn, 3 – winter wheat, 4 – barley) on the acting energy of high-voltage electrical pulses

Такие результаты могут свидетельствовать о том, что при электрических воздействиях происходят такие внутриклеточные изменения, в результате которых связанная внутренняя влага в семенах смешивается. Положительное влияние электрического поля высокого напряжения на семена включает регуляторные изменения на всех уровнях организации растительного организма. Экспериментально выявлено, что эффективность изучаемого агроприёма в области защиты растений от вредителей находится в прямой зависимости от режимов и параметров электрообработки.

Наиболее эффективные показатели были получены при обработке: против хлебных блошек (*Phyllotreta vittula* Redt. L.; *Chaetocnema hortensis* Geoffr. L.) и меромизы (*Meromyza* L.) – в ЭППрВН, время обработки 120 с; против шведской мухи (*Oscinella* L.) – в ЭППрВН, время обработки 60 с; против пшеничного трипса (*Haplothrips tritici* L.) – в ЭПИВН, время обработки 60 с. Судя по полученным данным, предпосевная электростимуляция семян относится к числу агроприёмов, которые способны положительно решать задачи минимизации в агробиоценозах количества вредителей и максимальной циркуляции энтомофагов. Электрообработка посевного материала независимо от режимов и параметров воздействия отрицательно сказывается на развитии семенной инфекции. Лучшие результаты показывает электризация семян ЭППрВН в течение 60 с, обеспечивающая подавление патогенов на 5,5...27,2 (таблица 2).

Таблица 2 – Эффективность предпосевной обработки семян озимого тритикале сорта ТИ 17 в электрических полях высокого напряжения

Table 2 – Efficiency of pre-sowing treatment of seeds of winter triticale variety TI 17 in high voltage electric fields

Режим обработки / Processing mode		Повреждено растений, % / Plants damaged, %			Численность учёта, шт./ед. / Number of records, pcs./unit	
Вид воздействия / Type of impact	Время обработ- ки, с / Pro- cessing time, s	<i>Phyllotreta vittula</i> Redt. L. <i>Chaetocnema hortensis</i> Geoffr. L.	<i>Oscinella</i> L.	<i>Meromyza</i> L.	<i>Haplothrips tritici</i> L., шт./ колос pcs./ear	Энтомофагов, учёта Entomophages, pcs./unit accounting
1	2	3	4	5	6	7
ЭППрВН $E = 3 \text{ кВ/см}$ / High voltage alternating electric field $E = 3 \text{ kV/sm}$	60	25,0±1,1	9,4±0,22	1,5±0,090	103,1±2,0	6,1±0,12
	120	21,1±1,7	13,3±0,41	0,3±0,003	78,3±2,3	6,4±0,06

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
ЭППВН $E = 3$ кВ/см / Electric field of constant high voltage $E = 3$ kV/sm	60	28,6±0,4	15,5±0,55	1,2±0,100	88,0±3,1	6,0±0,02
	120	34,8±2,2	17,2±0,30	0,7±0,010	118,7±4,7	6,1±0,08
ЭПВН $E = 3$ кВ/см / Electric field of pulse voltage $E = 3$ kV/sm	60	52,6±2,3	12,4±0,26	1,0±0,020	61,0±0,6	6,8±0,03
Контроль – без обработки / Control – no treatment		78,3±3,1	19,8±0,21	2,6±0,300	192,4±4,5	6,0±0,05

Воздействие на семена различных видов электрического поля, режимов и параметров воздействия приводит к повышению иммунности и устойчивости посевов зерновых культур к негативному влиянию хозяйственно опасных инфекционных заболеваний (рисунок 6).

		
Контроль / Control – no treatment	ЭППВН (время обработки 60 с) / Electric field of constant high voltage (processing time 60 s)	ЭППрВН (время обработки 60 с) / High voltage alternating electric field (processing time 60 s)
		
ЭППВН (время обработки 120 с) / Electric field of constant high voltage (processing time 120 s)	ЭППрВН (время обработки 120 с) / High voltage alternating electric field (processing time 120 s)	ЭПВН (время обработки 60 с) / Electric field of pulse voltage (processing time 60 s)

Рисунок 6 – Влияние стимуляции посевного материала электрическим полем (напряженность 3 кВ/см) переменного, постоянного и импульсного высокого напряжения на развитие семенной инфекции
Figure 6 – Effect of stimulation of seed material with an electric field (tension of 3 kV/cm) of alternating, direct and pulsed high voltage on the development of seed infection

Обработка семян в электрических полях высокого напряжения в наибольшей степени повышает защиту растений от листостеблевых патогенов. Так, в случае гельминтоспориоза и септориоза на листьях растений выросших из обработанных семян образовывалось небольшое количество некротических пятен и в дальнейшем развитие обозначенных болезней не наблюдалось. Более эффективным оказалось действие ЭППрВН с временем обработки 60 с – интенсивность развития листостеблевых инфекций снижалась: у ярового ячменя на 5%, у озимого тритикале – на 5,4...10,8%. Обработка в ЭППВН в меньшей степени сказывалось на иммунности растений.

Следует, однако, отметить, что увеличение времени обработки до 120 с. снижало интенсивность развития листостеблевых патологий на 4,2...11,5%. Менее откликались на электрообработку возбудители корневых гнилей. Воздействие на семена электрическими полями высокого напряжения обеспечивает снижение развития заболеваемости вегетирующих растений на 3,1...4,2%. Совместно с оптимизацией фитосанитарного состояния посевов семян обработанных в электрическом поле высокого напряжения, выявлено стимулирующее действие последнего на структуру урожая злаковых культур (таблица 3).

Таблица 3 – Влияние предпосевной обработки семян ярового ячменя сорта Донецкий-8 электрическими полями высокого напряжения на развитие болезней, %

Table 3 – Effect of pre-sowing treatment of spring barley seeds of the Donetsk-8 variety with high-voltage electric fields on the development of diseases, %

Вид воздействия / Type of impact	Время обработки, с / Processing time, s	Мучнистая роса / Powdery mildew	Септориоз / Septoria	Тёмно-бурая пятнистость / Dark brown spotting	Бактериоз / Bacteriosis	Гельминто-спориозно- фузариозная гниль / Helminth-sporium-fusarium rot
ЭППрВН $E = 3\text{кВ/см}$ / High voltage alternating electric field $E = 3\text{ kV/sm}$	60	18,2	10,0	16,2	20,6	5,8
	120	20,9	12,1	18,6	23,1	7,5
ЭППВН $E = 3\text{кВ/см}$ / Electric field of constant high voltage $E = 3\text{ kV/sm}$	60	20,6	13,5	20,7	23,9	7,5
	120	19,4	10,8	21,1	27,2	7,3
ЭПВН $E = 3\text{кВ/см}$ / Electric field of pulse voltage $E = 3\text{ kV/sm}$	60	-	-	17,5	23,6	6,2
	120	-	-	18,3	23,5	6,3
Контроль – без обработки / Control – no treatment		30,0	15,0	24,5	35,4	9,0

Анализ данных показывает, что обработка семян в электрическом поле обеспечивает увеличение продуктивности, кустистости и формирование более густого продуктивного стеблестоя до 500 колосьев/м². Это также наиболее дешёвый и эффективный способ подавления внутрисклеблевых вредителей, инфекционных болезней и сорной растительности. Электростимуляция позитивно сказывается на таком труднорегулируемом параметре, как озернёность колосьев. Так общее число зёрен в колосе возрастает на 13,8...31,0%, несколько увеличивается масса 1000 зёрен – на 3,0...6,2%, а выход зерна к общей массе повышается на 40,3...57,8%. Предпосевная стимуляция семян в электрическом поле высокого напряжения положительно влияет и на все элементы структуры урожая. Так, урожайность озимой тритикале сорта ТИ 17 увеличивается в среднем на 33,1%. Но все же наибольший эффект, причём по всем показателям экспозиции, достигается при использовании ЭППВН. Учитывая неблагоприятные погодные условия в период налива зерна, более высокие показатели массы 1000 зерен на вариантах с применением ЭППВН свидетельствуют о повышении общего уровня засухоустойчивости растений (таблица 4). В качестве промежуточных итогов можно отметить, что прибавка полученных урожаев складывается из: увеличения продуктивной кустистости, что сопровождается накоплением биомассы и, как следствие, формированием более густого стеблестоя; получения более крупного зерна и, соответственно, большего выхода зерна с одного колоса и растения. Все перечисленное в целом обеспечило прибавку урожая зерна на опытных полевых делянках от 4,9 до 8,4 ц/га.

Таблица 4 – Влияние обработки семян в электрических полях высокого напряжения на структуру урожая

Table 4 – Effect of seed treatment in high voltage electric fields on the structure of the crop

Вид воздействия / Type of impact	Время обработки, с / Processing time, s	Количество продуктивных стеблей, шт./м ² / Number of productive stems, pcs./m ²	Масса солом, г/м ² / Straw weight, g/m ²	Длина колоса, см / Spike length, cm	Число зерен в колосе, шт. / Number of grains in an ear, pcs.	Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g	Прибавка урожая, % / Yield increase, %
Яровой ячмень сорта Донецкий 8 / Spring barley variety Donetsk 8							
ЭППрВН $E = 3$ кВ/см / High voltage alternating electric field $E = 3$ kV/sm	60	438,0	230,8	7,5	19,0	38,2	+57,80
	120	500,0	218,4	7,2	17,3	39,4	+40,30
ЭППВН $E = 3$ кВ/см / Electric field of constant high voltage $E = 3$ kV/sm	60	424,0	178,0	6,5	16,5	36,3	+7,00
	120	376,0	192,4	6,5	16,5	32,3	-1,90
Контроль – без обработки / Control – no treatment		392,0	161,6	6,5	14,5	37,1	-
Озимый тритикале сорта ТИ-17 / Winter triticale variety TI-17							
ЭППрВН $E = 3$ кВ/см / High voltage alternating electric field $E = 3$ kV/sm	60	96,0	102,6	8,5	42,2	36,7	+43,60
	120	73,0	80,9	8,4	41,8	37,7	+24,00
ЭППВН $E = 3$ кВ/см / Electric field of constant high voltage $E = 3$ kV/sm	60	91,3	83,4	7,8	38,2	39,5	+21,60
	120	111,3	101,8	7,8	35,4	41,1	+29,80
ЭПИВН $E = 3$ кВ/см / Electric field of pulse voltage $E = 3$ kV/sm	60	104,3	91,0	8,1	41,1	37,9	+21,98
Контроль – без обработки / Control – no treatment		64,0	61,1	7,4	46,5	37,0	-

В качестве промежуточных итогов можно отметить, что прибавка полученных урожаев складывается из: увеличения продуктивной кустистости, что сопровождается накоплением биомассы и, как следствие, формированием более густого стеблестоя; получения более крупного зерна и, соответственно, большего выхода зерна с одного колоса и растения. Все перечисленное в целом обеспечило прибавку урожая зерна на опытных полевых делянках от 4,9 до 8,4 ц/га.

В 2013-2014 гг. на полях УНПЦ «Горная Поляна» Волгоградского ГАУ было исследовано влияние стимуляции семян в ЭПИВН на рост и развитие ярового ячменя [17]. В полевых условиях была проведена закладка двухфакторного полевого эксперимента, в котором изучались две нормы высева – 3,0 и 3,5 млн. всх. семян/га (фактор А) и четыре режима обработки семян в ЭПИВН при напряжении на электродах 15 кВ, расстоянием между ними 5 см и при различном времени отлежки перед посевом: 48, 72, 96 и 120 ч (фактор Б). Исследовался яровой ячмень сорта Ергенинский 2. На контрольном варианте применена норма высева 3,5 млн. семян/га первой репродукции, без дополнительных агроприемов (таблица 5).

Посевы из семян, обработанных в ЭПИВН, имели более лучшие показатели сохранности выросших растений к уборке: 1,1-5,1% – при посеве 3,0 млн. всх. семян/га и 3,3-7,6% – при посеве 3,5 млн. всх. семян/га. Визуально было отмечено, что загущенные посевы ячменя из необработанных в ЭПИВН семян (3,5 млн. всх. семян/га) на 1,4% хуже сохранились, растения ячменя из обработанных семян выглядели иначе – проявлялось незначительное улучшение относительно 3,0 млн. всх. семян/га – до 0,4%.

Таблица 5 – Выживаемость растений ярового ячменя сорта Ергенинский-2 к уборке в зависимости от примененных агроприемов по предпосевной обработке семян, % (в среднем за 2013-2014 гг.)
Table 5 – Survival of spring barley plants of the Ergeninsky-2 variety for harvesting, depending on the applied agricultural practices for pre-sowing seed treatment, % (average for 2013-2014)

Вариант агроприема / Option of agricultural practice	Значение / Meaning	Вариант агроприема / Option of agricultural practice	Значение / Meaning
Количество растений по всходам, шт./м ² / Number of plants by shoots, pcs./m ²			
3,0 млн. контроль / 3.0 million control – no treatment	257	3,5 млн. контроль / 3.5 million control – no treatment	317
3,0 млн.+ ЭПИВН (48) / 3.0 million+ Electric field of pulse voltage (48)	276	3,5 млн.+ ЭПИВН (48) / 3.5 million+ Electric field of pulse voltage (48)	330
3,0 млн.+ ЭПИВН (72) / 3.0 million+ Electric field of pulse voltage (72)	277	3,5 млн.+ ЭПИВН (72) / 3.5 million+ Electric field of pulse voltage (72)	332
3,0 млн.+ ЭПИВН (96) / 3.0 million+ Electric field of pulse voltage (96)	287	3,5 млн.+ ЭПИВН (96) / 3.5 million+ Electric field of pulse voltage (96)	341
3,0 млн.+ ЭПИВН (120) / 3.0 million+ Electric field of pulse voltage (120)	282	3,5 млн.+ ЭПИВН (120) / 3.5 million+ Electric field of pulse voltage (120)	337
Количество растений к уборке, шт./м ² / Number of plants to be harvested, pcs./m ²			
3,0 млн. контроль / Control – no treatment 3.0 million control – no treatment	177	3,5 млн. контроль / Control – no treatment 3.5 million control – no treatment	214
3,0 млн.+ ЭПИВН (48) / 3.0 million+ Electric field of pulse voltage (48)	196	3,5 млн.+ ЭПИВН (48) / 3.5 million+ Electric field of pulse voltage (48)	234
3,0 млн.+ ЭПИВН (72) / 3.0 million+ Electric field of pulse voltage (72)	204	3,5 млн.+ ЭПИВН (72) / 3.5 million+ Electric field of pulse voltage (72)	245
3,0 млн.+ ЭПИВН (96) / 3.0 million+ Electric field of pulse voltage (96)	212	3,5 млн.+ ЭПИВН (96) / 3.5 million+ Electric field of pulse voltage (96)	254
3,0 млн.+ ЭПИВН (120) / 3.0 million+ Electric field of pulse voltage (120)	207	3,5 млн.+ ЭПИВН (120) / 3.5 million+ Electric field of pulse voltage (120)	249
Сохранность растений к уборке, % / Safety of plants for harvesting, %			
3,0 млн. контроль / 3.0 million control – no treatment	68,9	3,5 млн. контроль / 3.5 million control – no treatment	67,5
3,0 млн.+ ЭПИВН (48) / 3.0 million+ Electric field of pulse voltage (48)	70,8	3,5 млн.+ ЭПИВН (48) / 3.5 million+ Electric field of pulse voltage (48)	70,8
3,0 млн.+ ЭПИВН (72) / 3.0 million+ Electric field of pulse voltage (72)	73,6	3,5 млн.+ ЭПИВН (72) / 3.5 million+ Electric field of pulse voltage (72)	73,8
3,0 млн.+ ЭПИВН (96) / 3.0 million+ Electric field of pulse voltage (96)	74,0	3,5 млн.+ ЭПИВН (96) / 3.5 million+ Electric field of pulse voltage (96)	74,3
3,0 млн.+ ЭПИВН (120) / 3.0 million+ Electric field of pulse voltage (120)	73,4	3,5 млн.+ ЭПИВН (120) / 3.5 million+ Electric field of pulse voltage (120)	73,8

Следующим показателем является масса 1000 семян, которая одновременно является и важнейшей характеристикой полноценности семян (таблица 6).

Использование предпосевной обработки семян в ЭПИВН позволило получить повышение массы 1000 семян в среднем за 2013-2014 гг. на 1,16-1,94 г при норме высева 3,0 млн. всх. семян/га и на 0,48-1,44 г при норме 3,5 млн. всх. семян/га. Меньшая норма высева способствует увеличению массы 1000 семян. Рассматривая значения по-

казателя биологической урожайности можно отметить, что здесь прослеживается та же тенденция: в среднем за два года на 3,0 млн. всх. семян/га значение превышения урожайности растений из электрообработанных семян над чистыми посевами при норме высева 3,0 млн. всх. семян/га составило от 0,006 до 0,23 т/га, а на посевах при норме высева 3,5 млн. – от 0,06 до 0,22 т/га.

Таблица 6 – Структура урожая зерна ярового ячменя сорта Ергенинский-2 (в ср. за 2013-2014 гг.)
Table 6 – Structure of grain yield of spring barley variety Ergeninsky-2 (average for 2013-2014)

Вариант агроприема / Option of agricultural practice	Показатели / Indicators				
	Количество продуктивных стеблей, шт./м ² / Number of productive stems, pcs./m ²	Число растений к уборке, шт./м ² Number of plants to be harvest- ed, pcs./m ²	Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g	Масса зерна с одного колоса, г / Grain weight per ear, g	Урожайность (биол.), т/га / Productivity (biol.), t/ha
3,0 млн. контроль / 3.0 million control – no treatment	204	177	35,93	0,61	1,25
3,0 млн.+ ЭПИВН (48) / 3.0 million+ Electric field of pulse voltage (48)	235	196	37,09	0,56	1,31
3,0 млн.+ ЭПИВН (72) / 3.0 million+ Electric field of pulse voltage (72)	245	204	37,28	0,56	1,37
3,0 млн.+ ЭПИВН (96) / 3.0 million+ Electric field of pulse voltage (96)	261	212	37,87	0,57	1,48
3,0 млн.+ ЭПИВН (120) / 3.0 million+ Electric field of pulse voltage (120)	255	207	37,54	0,56	1,43
3,5 млн. контроль / 3.5 million control – no treatment	236	214	36,39	0,56	1,33
3,5 млн.+ ЭПИВН (48) / 3.5 million+ Electric field of pulse voltage (48)	270	234	36,87	0,52	1,39
3,5 млн.+ ЭПИВН (72) / 3.5 million+ Electric field of pulse voltage (72)	282	245	36,98	0,52	1,46
3,5 млн.+ ЭПИВН (96) / 3.5 million+ Electric field of pulse voltage (96)	305	254	37,83	0,51	1,55
3,5 млн.+ ЭПИВН (120) / 3.5 million+ Electric field of pulse voltage (120)	299	249	37,69	0,51	1,52

Закключение. Обработка семян перед посевом в электрических полях высокого напряжения (ЭППВН, ЭППрВН, ЭПИВН) при разных режимах воздействий эффективно проявляется для защиты растений от разнообразных вредителей, например, против хлебных блошек и мeroмизы (*Phyllotreta vittula* Redt. L.; *Chaetocnema hortensis* Geoffr. L.) – это обработка в ЭППрВН длительностью 120 с.; против шведской мухи (*Oscinella* L.) – ЭППрВН длительностью 60 с.; против пшеничного трипса (*Haplothrips tritici* L.) – ЭПИВН длительностью 60 с.

Кроме оптимизации фитосанитарного состояния посевов семян обработанных в электрическом поле высокого напряжения, выявлено стимулирующее действие последнего на структуру урожая злаковых культур (озимые ячмень и тритикале): увеличивается продуктивность, кустистость и формируется более густой продуктивный стеблестой. Электростимуляция позитивно сказывается на таком труднорегулируемом параметре, как озернённость колосьев – общее число зёрен в колосе возрастает на 13,8...31,0%; несколько увеличивается масса 1000 зёрен – на 3,0...6,2%; выход зерна к общей массе повышается на 40,3...57,8%; прослеживается положительное влияние на все элементы структуры урожая. Так, урожайность озимой тритикале сорта ТИ 17 увеличивается в среднем на 33,1%. Наибольший эффект, причём по всем показателям времени обработки, достигается при ис-

пользовании ЭППВН. Учитывая неблагоприятные погодные условия в период налива зерна, более высокие показатели массы 1000 зерен на вариантах с применением ЭППВН свидетельствуют о повышении общего уровня засухоустойчивости растений. Использование предпосевной обработки семян озимого ячменя в ЭПИВН позволило получить повышение массы 1000 семян в среднем: а) на 1,16-1,94 г при норме высева 3,0 млн. всх. семян на 1 га; б) на 0,48-1,44 г при норме 3,5 млн. всх. семян на 1 га. За два года наблюдений увеличение урожайности растений ячменя из обработанных семян над посевами с необработанным посевным материалом при норме высева 3,0 млн. всх. семян на 1 га составило от 0,006 до 0,23 т/га, а при 3,5 млн. – от 0,06 до 0,22 т/га.

Conclusions. Treatment of seeds before sowing in high voltage electric fields (EPPVN, EPPVN, EPIVN) under different modes of influence is effective in protecting plants from a variety of pests, for example, against flea beetles and meromyces (*Phyllotreta vittula* Redt. L.; *Chaetocnema hortensis* Geoffr. L.) is processing in EPPrVN lasting 120 s.; against the Swedish fly (*Oscinella* L.) – EPPrVN lasting 60 s.; against wheat thrips (*Haplothrips tritici* L.) – EPIVN lasting 60 s. In addition to optimizing the phytosanitary condition of seed crops treated in a high-voltage electric field, the stimulating effect of the latter on the structure of the yield of cereal crops (winter barley and triticale) was revealed: productivity, bushiness increases and a denser productive stem is formed. Electrical stimulation has a positive effect on such a difficult-to-control parameter as the grain content of the ears – the total number of grains in the ear increases by 13.8...31.0%; The weight of 1000 grains increases slightly – by 3.0...6.2%; grain yield to total weight increases by 40.3...57.8%; there is a positive effect on all elements of the crop structure. Thus, the yield of winter triticale variety TI 17 increases by an average of 33.1%. The greatest effect, in terms of all indicators of processing time, is achieved when using EPPVN. Taking into account unfavorable weather conditions during the grain filling period, higher values of 1000 grain weight in variants using EPPVN indicate an increase in the overall level of drought resistance of plants. The use of pre-sowing treatment of winter barley seeds in EPIVN made it possible to increase the weight of 1000 seeds on average: a) by 1.16-1.94 g at a seeding rate of 3.0 million seedlings. seeds per 1 ha; b) by 0.48-1.44 g at a rate of 3.5 million shoots seeds per 1 ha. Over two years of observation, an increase in the yield of barley plants from treated seeds over crops with untreated seeding material at a seeding rate of 3.0 million seedlings. seeds per 1 hectare ranged from 0.006 to 0.23 t/ha, and with 3.5 million plantings. seeds per 1 ha – from 0.06 to 0.22 t/ha.

Библиографический список

1. Baev V. I., Petrukhin V. A., Baev I. V., et al. Electrotechnology as One of the Most Advanced Branches in the Agricultural Production Development. Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. Hershey, Pennsylvania: IGI Global, 2018. Pp. 149-175.
2. Kazakova A. S., Yudaev I. V., Fedoschenko M. G., et al. New approach to study stimulating effect of the pre-sowing barley seeds treatment in the electromagnetic field. OnLine Journal of Biological Sciences. 2018. Vol. 18. No. 2. Pp. 197-207.
3. Юдаев Ю. А., Кожанова Т. В., Юдаев М. Ю. Численные исследования распределения электрического поля в системе электродов при воздействии на семена растений. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2015. № 4 (28). С. 144-148.
4. Koukounaras A., Boursianis A., Kostas S., et al. Pre-Sowing Static Magnetic Field Treatment of Vegetable Seeds and Its Effect on Germination and Young Seedlings Development. Seeds. 2023. V. 2. No 4. Pp. 394-405.
5. Клейменов Э. В., Данилочкина Е. А. Градиентное магнитное поле. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2011. № 2 (10). С. 64-68.
6. Porsev E. G., Malozyomov B. V. Innovative Technology of Seed Treatment by Electric Corona Discharge. Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2018). Atlantis Press, 2018. Pp. 496-503.
7. Ahmed Z., Manzoor M. F., Ahmad N., et al. Impact of pulsed electric field treatments on the growth parameters of wheat seeds and nutritional properties of their wheat plantlets juice. Food Science & Nutrition. 2020. Vol. 8 (5). Pp. 2490-2500.
8. Хайновский В. И., Копылова О. С., Козырев А. Е. Расчет доз воздействия импульсного электрического поля на семенной материал. Аграрная Россия. 2012. № 9. С. 37-40.
9. Дульский А. В., Стародубцева Г. П., Хайновский В. И. Предпосевная обработка семян моркови сорта "Витаминная 6" импульсным электрическим полем. Аграрная Россия. 2009. № 5. С. 34-36.
10. Nelson S. O. Seed Treatment Applications. Dielectric Properties of Agricultural Materials and their Applications. Academic Press, 2015. Pp. 57-71.
11. Pournavab R. F., Mejia E. B., Mendoza A. B., et al. Ultraviolet Radiation Effect on Seed Germination and Seedling Growth of Common Species from Northeastern Mexico. Agronomy. 2019. Vol. 9 (6). P. 269.
12. Bozhkov A. I., Kovalova M. K., Azeev Z. A., et al. The effect of pre-sowing seed treatment on seedlings growth rate and their excretory activity. Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2020. Vol. 11 (1). Pp. 60-66.

13. Тибирьков А. П., Юдаев И. В., Азаров Е. В. Предпосевная электрофизическая обработка семян – перспективный агроприем ресурсосберегающей технологии возделывания озимой пшеницы. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 3 (27). С. 61-66.

14. Kasakova A. S., Mayboroda S. Y., Chronyuk V. B., et al. Prospects for the use of stimulation by electric field of old cereal seeds. Asia Life Sciences. 2019. Vol. 28. No. 1. Pp. 229-239.

15. Шпаков А. С., Новоселов Ю. К., Воловик В. Т., и др. Полевое кормопроизводство: история, проблемы и решения: монография. М.: ФГБОУ ДПО РАКО АПК, 2023. 259 с.

16. Казакова А. С., Кулешова Л. А. Устойчивость к засухе прорастающих семян ярового ячменя, обработанных в переменном электромагнитном поле промышленной частоты. Вестник аграрной науки Дона. 2018. № S4. С. 99-104.

17. Тибирьков А. П., Юдаев И. В. Электрофизическая обработка семян – новый агроприем при возделывании ярового ячменя на юге России. Фундаментальные исследования. 2015. № 2-22.

References

1. Baev V. I., Petrukhin V. A., Baev I. V., et al. Electrotechnology as One of the Most Advanced Branches in the Agricultural Production Development. Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. Hershey, Pennsylvania: IGI Global, 2018. Pp. 149-175.

2. Kazakova A. S., Yudaev I. V., Fedoischenko M. G., et al. New approach to study stimulating effect of the pre-sowing barley seeds treatment in the electromagnetic field. OnLine Journal of Biological Sciences. 2018. Vol. 18. No 2. Pp. 197-207.

3. Yudaev Y. A., Kozhanova T. V., Yudaev M. Y. Numerical Studies of the Electric Field Distribution in the System of Electrodes under the Influence of Plant Seeds. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2015. № 4 (28). Pp. 144-148.

4. Koukounaras A., Boursianis A., Kostas S., et al. Pre-Sowing Static Magnetic Field Treatment of Vegetable Seeds and Its Effect on Germination and Young Seedlings Development. Seeds. 2023. V. 2. No 4. Pp. 394-405.

5. Kleymenov E. V., Danilochkina E. A. Gradient Magnetic Field. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2011. № 2 (10). Pp. 64-68.

6. Porsev E. G., Malozyomov B. V. Innovative Technology of Seed Treatment by Electric Corona Discharge. Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2018). Atlantis Press, 2018. Pp. 496-503.

7. Ahmed Z., Manzoor M. F., Ahmad N., et al. Impact of pulsed electric field treatments on the growth parameters of wheat seeds and nutritional properties of their wheat plantlets juice. Food Science & Nutrition. 2020. Vol. 8 (5). Pp. 2490-2500.

8. Khainovsky V. I., Kopylova O. S., Kozyrev A. E. Calculation of Doses of Pulsed Electric Field Impact on Seed Material. Agrarian Russia. 2012. № 9. Pp. 37-40.

9. Dul'skii A. V., Starodubtseva G. P., Khainovsky V. I. Pre-sowing treatment of carrot seeds of the Vitaminnaya 6 variety with a pulsed electric field. Agrarian Russia. 2009. № 5. Pp. 34-36.

10. Nelson S. O. Seed Treatment Applications. Dielectric Properties of Agricultural Materials and their Applications. Academic Press, 2015. Pp. 57-71.

11. Pournavab R. F., Mejia E. B., Mendoza A. B., et al. Ultraviolet Radiation Effect on Seed Germination and Seedling Growth of Common Species from Northeastern Mexico. Agronomy. 2019. Vol. 9 (6). P. 269.

12. Bozhkov A. I., Kovalova M. K., Azeev Z. A., et al. The effect of pre-sowing seed treatment on seedlings growth rate and their excretory activity. Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2020. Vol. 11 (1). Pp. 60-66.

13. Tibirkov A. P., Yudaev I. V., Azarov E. V. Pre-sowing electrophysical treatment of seeds is a promising agricultural technique of resource-saving technology of winter wheat cultivation. News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2012. No. 3 (27). Pp. 61-66.

14. Kasakova A. S., Mayboroda S. Y., Chronyuk V. B., et al. Prospects for the use of stimulation by electric field of old cereal seeds. Asia Life Sciences. 2019. Vol. 28. No. 1. Pp. 229-239.

15. Shpakov A. S., Novoselov Y. K., Volovik V. T., et al. Field Feed Production: History, Problems and Solutions: Monograph. Moscow, 2023. 259 p.

16. Kazakova A. S., Kuleshova L. A. Drought Resistance of Germinating Spring Barley Seeds Treated in an Alternating Electromagnetic Field of Industrial Frequency. Bulletin of the Agrarian Science of the Don. 2018. № S4. Pp. 99-104.

17. Tibirkov A. P., Yudaev I. V. Electrophysical Seed Treatment – A New Agricultural Technique in the Cultivation of Spring Barley in the South of Russia. Basic research. 2015. № 2-22.

Информация об авторах

Юдаев Игорь Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры «Применение электрической энергии», ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), e-mail: etsh1965@mail.ru

Тибирьков Александр Павлович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры почвоведения и общей биологии, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), e-mail: a.tibirkov@mail.ru

Беленков Алексей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, консультант НФЦ «Кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса» (Российская Федерация, 141055, Московская обл. г. Лобня, ул. Научный городок, корп. 1), e-mail: belenokaleksis@mail.ru

Author's Information

Yudaev Igor Viktorovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of "Application of Electrical Energy" of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Agricultural University named after I. T. Trubilin" (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinin Street, 13), e-mail: etsh1965@mail.ru.

Tibirkov Aleksander Pavlovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Soil Science and General Biology, Volgograd State Agrarian University, (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: a.tibirkov@mail.ru.

Belenkov Aleksey Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, consultant at the National Federal Center for Feed Production and Agroecology named after V. R. Williams (Russian Federation, 141055, Moscow region, Lobnya, Nauchny Gorodok str., building 1), e-mail: belenokaleksis@mail.ru.

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-35

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THE INTRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY FACILITIES AS PART OF THE TRANSITION TO AN ENERGY-EFFICIENT ECONOMY IN THE AGRARIAN REGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION

Kirichenko A. S., Kirichenko E. V.

*Kuban State Agrarian University
Krasnodar, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: kir89ann@gmail.com

Received 31.10.2023

Submitted 28.11.2023

This research was funded by the Russian Science Foundation and Kuban Science Foundation, grant number 22-28-20298

Summary

The legislative and investment initiatives of agrarian regions of the Russian Federation occupying the top lines of the investment rating in the field of renewable energy were analyzed to select the practices that should be adopted by less successful regions.

Abstract

Introduction. The introduction of renewable energy power plants into regional energy systems is an important stage in the implementation of Russian energy strategy for the period until 2030, however, not all regions are successful in this task. Some of Russian agricultural regions are more successful than others at integrating renewable energy into their energy system. Agrarian regions that have rich climatic potential but that are not included in the lists of leaders in the field of renewable energy sources, such as, for example, the Krasnodar region, can borrow successful experience in introduction of regional economic programs to support renewable energy sources and in their legal support. In order to adopt the experience and best practices of the regions of the Russian Federation most successful in introduction of installations based on renewable energy sources into their energy balance it is necessary to determine in which aspects of the introduction of renewable energy sources into their energy balance these regions have succeeded. **Object.** Renewable energy power plants as an element of the regional energy system. **Materials and methods.** Methods of statistical processing, fundamentals of electrical engineering and energetics were used when conducting research and making calculations. For the purposes of the study, seven agricultural regions occupying the top lines of the RREDA ranking were selected, namely Krasnodar region, Rostov region, Stavropol region, Astrakhan region, Republic of Kalmykia, Volgograd region and Orenburg region. To borrow the experience and best practices of the regions of the Russian Federation that most successfully implement installations based on renewable energy sources into their energy balance, the following assessment criteria were identified: renewable energy potential of the region, installed capacity of renewable energy equipment, share of renewable energy sources in fulfillment of regional demand, energy generated per 1 MW of installed capacity. **Results and conclusions.** Based on the criteria chosen in the methodology, we should highlight Republic of Kalmykia, in which it was possible to use the high potential of renewable energy resources to bring the region from a deep energy deficiency to energy neutrality, and Stavropol region, in which, under less favorable climatic conditions, it was possible to achieve high energy generation per 1 MW of installed capacity and the largest energy production from renewable energy installations among the regions.

Keywords: *renewable energy sources, regional energy systems, energy balance, energy potential, energy legislation, energy-efficient economy.*

Citation. Kirichenko A. S., Kirichenko E. V. Assessment of the effectiveness of the introduction of renewable energy facilities as part of the transition to an energy-efficient economy in the agrarian regions of the Russian Federation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 1(73). 312-321 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-35.

Author's contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the final version presented.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.