

ВЛИЯНИЕ ПРЕПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ПЕРЕМЕННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ НА УРОЖАЙНОСТЬ

В. Ю. Донцова¹, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, valja-doncova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1083-9881;

А. С. Казакова², доктор биологических наук, профессор, кафедры агрономии и селекции сельскохозяйственных культур, kasakova@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0002-0957-3994;

И. В. Юдаев³, доктор технических наук, профессор, кафедры электроснабжения, etsh1965@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3435-4873;

С. В. Брагинетс¹, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, sbraginet@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7137-5692

¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru;

²Азово-Черноморский инженерный институт –

филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде, 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Ленина, д. 21;

³ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ

350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13.; e-mail: mail@kubsau.ru

Применение физических методов для предпосевной обработки семян зерновых культур способствует повышению их урожайности и является экономически оправданным и экологически щадящим подходом. Один из таких способов – предпосевная обработка семян электрическим полем переменного напряжения промышленной частоты (ЭППН). Нами была предложена оптимальная схема обработки семян ячменя ЭППН, в результате которой повышается их лабораторная всхожесть и формируются более мощные проростки, однако влияние данного способа на урожайность изучено не было. Цель исследования заключалась в определении воздействия предпосевной обработки семян ярового ячменя сорта Вакула ЭППН в условиях полевого опыта на вегетацию, урожайность и элементы ее структуры. Полевые исследования были проведены в 2018–2020 гг. на опытном поле АЧИИ. Объектом исследований служили семена ярового ячменя сорта Вакула, репродуцированные в 2017–2019 годах. Семена обрабатывали ЭППН с напряженностью 0,5 кВ/см на экспериментальной установке в течение 20, 40 и 60 с и затем их высевали на пятый день после отлеживания. Учетная площадь деланки составила 100 м², повторность трехкратная, размещение деланок систематическое. Уборку урожая проводили прямым комбайнированием, собранный урожай сразу взвешивали в поле и приводили к 100 %-й чистоте и 14 %-й влажности. Установлено, что все испытанные варианты продолжительности предпосевной обработки семян за все годы испытаний привели к увеличению урожайности на 6,9–13 %. Максимальная прибавка урожайности отмечена в варианте 40 с в условиях острозасушливого года. Наибольший прирост урожайности (11,2 %) был зафиксирован при обработке в течение 40 с в среднем за три года. Урожайность зерна повысилась за счет увеличения количество растений на 1 м², массы 1000 зерен и продуктивной кустистости. Масса 1000 семян повысилась в 2018 г. на 0,7–4,2 %, в 2019 г. – на 0,35–1,53 % и в 2020 году – на 3,2–3,9 %.

Ключевые слова: электрическое поле переменного напряжения, предпосевная обработка, семена, ячмень, урожайность.

Для цитирования: Донцова В. Ю., Казакова А. С., Юдаев И. В., Брагинетс С. В. Влияние предпосевной обработки семян ярового ячменя переменным электрическим полем на урожайность // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 3. С. 65–70. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-98-3-65-70.



THE EFFECT OF PRE-SOWING TREATMENT OF SPRING BARLEY SEEDS WITH AN ALTERNATING ELECTRIC FIELD ON PRODUCTIVITY

V. Yu. Dontsova¹, junior researcher of the laboratory for cell breeding, valja-doncova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1083-9881;

A. S. Kazakova², Doctor of Biological Sciences, professor of the department of agronomy and breeding of agricultural crops, kasakova@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0002-0957-3994;

I. V. Yudaev³, Doctor of Technical Sciences, professor of the department of energy supply, etsh1965@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3435-4873;

S. V. Braginetz¹, Doctor of Technical Sciences, leading researcher of the department of processing of plant breeding products, sbraginet@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7137-5692

¹FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,

347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru;

²Azov-Blacksea Engineering Institute, branch of the FSBEI HE “Donskoy State Agricultural University”, 347740, Rostov region, Zernograd, Lenin Str., 21;

³Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

“Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin”, 350044, Krasnodar, Kalinin Str., 13; e-mail: mail@kubsau.ru

The use of physical methods for pre-sowing treatment of grain crop seeds helps to improve productivity and is an economically justified and environmentally friendly approach. One of these methods is pre-sowing treatment

of seeds with an electric field of alternating voltage of industrial frequency (EFAV). There has been proposed an optimal scheme for treating barley seeds with EFAV, which increases their laboratory germination and forms more powerful sprouts, but the effect of this method on productivity has not been studied. The purpose of the current study was to establish the effect of pre-sowing seed treatment of the spring barley variety 'Vakula' with the EFAV in the field trial on vegetation, productivity, and yield structure elements. The study was conducted on the experimental plot of the ABEI in 2018–2020. The objects of the study were the seeds of the spring barley variety 'Vakula', reproduced in 2017–2019. The seeds were treated with an EFAV with a strength of 0.5 kV/cm on an experimental device for 20, 40 and 60 seconds, and then they were sown on the fifth day after treatment. The plot area was 100 m², with a three-fold repetition and systematic placement of plots. The harvesting was carried out by direct combining, the harvested crop was immediately weighed in the field and brought to 100% purity and 14 % humidity. It was found that all tested variants of the time of pre-sowing seed treatment during all years of testing resulted in productivity improvement by 6.9–13 %. The maximum yield increase was identified in the 40-second variant in the extremely arid year. The greatest yield increase (11.2 %) was recorded with treatment for 40 seconds on average over three years. Grain productivity has improved due to an increase in the number of plants per 1 m², 1000-grain weight and productive tillering. 1000-grain weight increased by 0.7–4.2% in 2018, by 0.35–1.53 % in 2019 and by 3.2–3.9 % in 2020.

Keywords: *alternating voltage electric field, pre-sowing treatment, seeds, barley, productivity.*

Введение. Увеличение урожайности сельскохозяйственных культур в условиях меняющегося климата – основная задача, стоящая перед агропромышленным комплексом. Одним из способов увеличения урожайности является предпосевная обработка семян, в том числе и с помощью физических факторов, которые экологически безопасны для окружающей среды, а также приводят к обеззараживанию семенного материала (Бахчевников, 2022).

Прием, который основан на воздействии электрического поля переменного напряжения промышленной частоты, открывает новые горизонты в области повышения качества семенного материала зерновых культур и защиты от различных заболеваний за счет его доступности и относительной безопасности.

Электростимуляция обеззараживает семена, ускоряет их прорастание, стимулирует рост растений и, как следствие, приводит к увеличению урожайности (Колесников и др., 2024; Пахомов 2023; Liang, Zhang 2019). Усиление процессов жизнедеятельности связано с ускорением биохимических процессов в прорастающем семени, в частности, с повышением активности α -амилазы (Liang, Zhang 2019).

Нами было изучено в лабораторных условиях действие предпосевной обработки ЭППН различной продолжительности на прорастание семян и рост проростков ярового ячменя и установлен оптимальный режим, включающий обработку семян в течение 40 с ЭППН напряженностью 0,5 кВ/см, а затем их отлежку в течение четырех суток перед проращиванием (Казакова и др., 2021). Однако влияние данного способа и установленного оптимального режима обработки семян ярового ячменя ЭППН на урожайность зерна не было изучено.

В связи с этим цель данного исследования – определить воздействие предпосевной обработки семян ярового ячменя сорта Вакула с помощью электрического поля переменного напряжения промышленной частоты (ЭППН) в условиях полевого опыта на вегетацию, урожайность и элементы ее структуры. Установить наиболее оптимальный режим обработки.

Материалы и методы исследований. Полевые и лабораторные опыты проводили в лаборатории и на полях Агротехнологического центра Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» в 2018–2020 годах. Весенне-летний период 2018 г. по гидротермическим параметрам характеризовался как острозасушливый, 2019 г. – как умеренно-засушливый, а в 2020 г. погодные условия были оптимальными для роста и развития ярового ячменя.

В качестве материала исследования выступали семена ярового ячменя сорта Вакула, репродуцированные в 2017–2019 гг. на участках размножения семян. Обработку семян проводили на экспериментальной лабораторной установке. Семена помещали в установку слоем 1 см и обрабатывали их переменным электрическим полем промышленной частоты напряженностью 0,5 кВ/см в течение 20, 40 или 60 с. Необработанные семена являлись контролем в опыте. Высота слоя семян при обработке составила 1 см.

Посев опытных делянок – 100 м² в трехкратной повторности с систематическим размещением – производили на 5-й день после отлежки семян в оптимальные сроки. Норма высева составила 4,0 млн всхожих семян на гектар, глубина сева 6 см, ширина междурядий 15 см. Срок сева оптимальный для данной почвенно-климатической зоны – 2-я декада апреля, предшественник подсолнечник. Посев производили сеялкой СН-16, а уборку урожая – прямым комбайнированием в фазу полной спелости зерна малогабаритным комбайном «Terrior-2010». Анализ структуры урожая проводили по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Статистическую обработку результатов выполняли с помощью пакета программ Excel, корреляционный анализ – по Б. А. Доспехову (2014).

Результаты и их обсуждение. В таблице 1 даны результаты проведенных нами исследований, а именно определения урожайности ярового ячменя сорта Вакула в контрольном варианте и после предпосевной обработки семян ЭППН.

Таблица 1. Фактическая урожайность зерна ярового ячменя сорта Вакула в опытах с предпосевной обработкой семян ЭППН (2018–2020 гг.)
Table 1. Actual grain productivity of the spring barley variety 'Vakula' in the trials with pre-sowing seed treatment with EFAV (2018–2020)

Варианты опыта, продолжительность обработки семян	Урожайность, т/га	Отклонение от контроля	
		± т/га	± %
2018 год			
Контроль	2,21	–	–
20 с	2,60	0,20	7,8
40 с	2,87	0,33	13
60 с	2,84	0,30	11,8
НСР ₀₅	–	0,19	–
2019 год			
Контроль	3,22	–	–
20 с	3,51	0,29	9
40 с	3,55	0,33	10,2
60 с	3,56	0,34	10,6
НСР ₀₅	–	0,11	–
2020 год			
Контроль	3,33	–	–
20 с	3,60	0,27	8,1
40 с	3,68	0,35	10,5
60 с	3,47	0,23	6,9
НСР ₀₅	–	0,09	–

Все варианты посевов семенами с различной продолжительностью их предпосевной обработки ЭППН за все годы исследований обладали более высокой урожайностью по сравнению с контролем. Различия между вариантами опытов и контролем по урожайности во все годы исследований были достоверны. В 2020 г., более благоприятном по погодным условиям, сформирована большая урожайность – она варьировала по вариантам опыта от 3,33 до 3,68 т/га, а самая низкая урожайность была отмечена в острозасушливом 2018 г. – 2,21–2,87 т/га. Между вариантами обработки семян, особенно между вариантами «40 с» и «60 с»,

значения урожайности имели близкие значения, особенно в 2019 г., однако наибольшие показатели урожайности зерна были получены в варианте предпосевной обработки семян в течение 40 с: в 2018 г. урожайность составила 2,87 т/га, в 2019 г. – 3,55 т/га, в 2020 г. – 3,68 т/га. Превышение урожайности по сравнению с контролем было максимальным в острозасушливом 2018 г. – 13 % выше контроля, а в оптимальном 2020 г. – 10,5 %.

Средняя за три года урожайность зерна изученного сорта ярового ячменя увеличилась во всех вариантах продолжительности обработки относительно контроля (рис. 1).

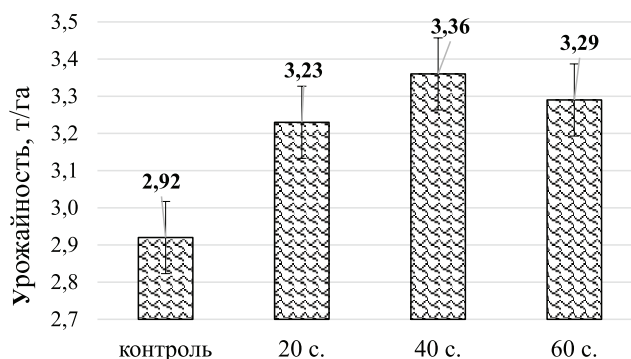


Рис. 1. Влияние продолжительности предпосевной обработки семян ярового ячменя сорта Вакула электрическим полем переменного напряжения промышленной частоты на урожайность зерна (среднее за 2018–2020 гг.)

Fig. 1. The effect of the time of pre-sowing seed treatment of the spring barley variety 'Vakula' with an electric field of alternating voltage of industrial frequency on grain productivity (mean in 2018–2020)

Варианты обработки семян «40 с» и «60 с» имеют близкие значения по средним показателям урожайности. Наибольший при-

рост урожайности (11,2 %) был зафиксирован при обработке в течение 40 с. Данный способ обработки семян является наиболее эффектив-

ным для повышения лабораторной всхожести семян (Казакова и др., 2021). Таким образом, предпосевная обработка семян ЭППН в течение 40 с способствует наибольшему увеличению урожайности, особенно в засушливые годы, поэтому мы рекомендуем использовать в производственных условиях этот вариант предпосевной обработки семян ячменя.

Структурный анализ урожайности показал, что все варианты обработки семян ЭППН привели к увеличению значений количества растений на 1 м², продуктивной кустистости, длины колоса, количества зерен и массы 1000 зерен.

Изученные варианты продолжительности предпосевной обработки семян ЭППН привели к увеличению значений всех компонентов структуры урожайности (табл. 2).

Таблица 2. Элементы структуры урожайности ярового ячменя сорта Вакула в зависимости от продолжительности предпосевной обработки семян в электрическом поле (2018–2020 гг.)

Table 2. Yield structure elements of the spring barley variety 'Vakula' depending on the time of pre-sowing seed treatment in an electric field (2018–2020)

Варианты опыта	Количество растений шт./м ²	Продуктивная кустистость, шт.	Длина колоса, см	Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г
2018 год					
Контроль	379	0,92	4,0	26	27,32
20 с	389	0,96	4,2	27	27,53
40 с	405	0,99	4,5	27	28,81
60 с	403	0,98	4,3	27	28,79
НСП ₀₅	2,0	0,13	0,7	1,1	1,01
2019 год					
Контроль	389	0,95	5,1	30	31,40
20 с	393	0,99	5,1	31	31,30
40 с	403	1,0	5,8	31	31,50
60 с	399	0,98	5,3	31	31,46
НСП ₀₅	2,1	0,16	0,19	1,0	0,63
2020 год					
Контроль	390	0,96	5,1	31	31,03
20 с	394	0,99	5,0	31	32,20
40 с	395	0,98	5,3	31	32,26
60 с	393	0,97	5,3	30	32,05
НСП ₀₅	2,3	0,3	0,2	2,0	1,4
Среднее за 2018–2020 годы					
Контроль	392	0,94	4,7	29	29,92
20 с	389	0,98	4,8	30	30,3
40 с	401	0,99	5,2	30	31
60 с	398	0,98	5	29	31,1
НСП ₀₅	2,0	0,2	0,3	1,7	1,5

Основным элементом, определяющим урожайность, является густота продуктивного стеблестоя на единицу площади посева. За все годы исследований обработка семян в течение 40 с привела к достоверному увеличению числа растений на 1 м² по сравнению с контролем и другими вариантами обработки. Продуктивная кустистость в варианте «40 с обработки» также была выше, чем в контроле и других вариантах обработки. Длина колоса в варианте «40 с обработки» достоверно превышала значения в контроле и по другим вариантам обработки. А вот количество зерен в колосе в 2018 и 2019 гг. увеличилось по всем вариантам обработки только на одну зерновку по сравнению с контролем, а в 2020 г. у всех вариантах опыта число зерен в колосе было одинаковое, кроме варианта «60 с». Масса 1000 семян повысилась в 2018 г. исследований на 0,7–4,2 %, в 2019 г. – на 0,35–1,53 %, а в 2020 г. – на 3,2–3,9 %.

Таким образом, прибавка урожайности была обеспечена в основном за счет следующих элементов структуры урожая: количество растений на 1 м², продуктивная кустистость, масса 1000 зерен.

Для сорта Вакула характерны более высокие показатели элементов структуры. Так как весенне-летние периоды проведенных исследований характеризовались засухой, это приводило к тому, что высокие температуры снижали качество и массу формирующегося зерна ячменя. Недостаток влаги и питательных веществ в период формирования колоса, колосков и цветков вызывал частичную стерильность и уменьшал количество зерен в колосе. В результате наблюдались снижение числа зерен в колосе, уменьшение их массы и укорочение длины колоса.

На рисунке 2 представлены средние за три года исследований значения урожайности

и элементов ее структуры в процентах от контроля. Только один вариант обработки семян ЭППН – в течение 40 с – дает максимальный

прирост урожайности и всех элементов ее структуры.

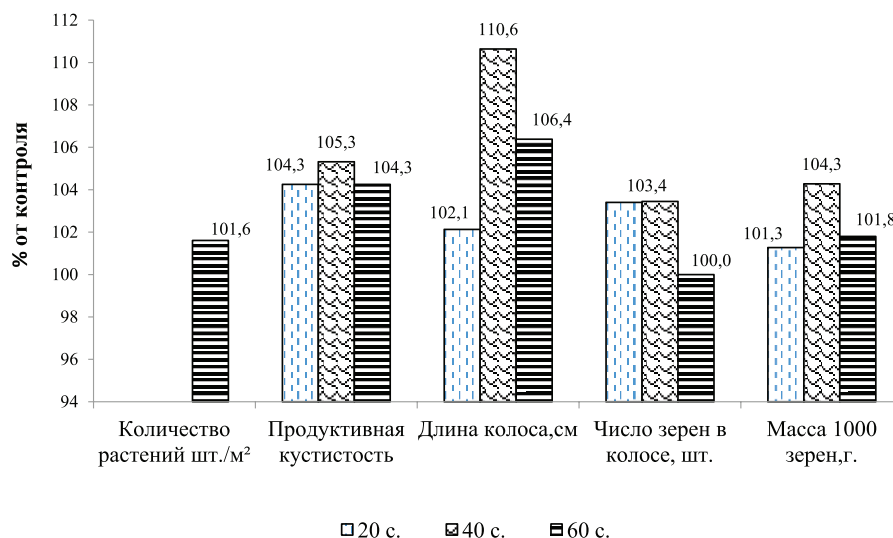


Рис. 2. Изменение элементов структуры урожайности (% от контроля) ярового ячменя сорта Вакула в зависимости от продолжительности предпосевной обработки семян ЭППН напряженностью 0,5 кВ/см (среднее за 2018–2020 гг.)

Fig. 2. Changes in the yield structure elements (% of control) of the spring barley variety 'Vakula' depending on the time of pre-sowing seed treatment with EFAV at a strength of 0.5 kV/cm (mean in 2018–2020)

Увеличение урожайности ярового ячменя в оптимальном варианте обработки семян «40 с», которое составило в среднем за три года 11,2 %, складывается из увеличения значений всех элементов структуры урожайности.

В результате проведенного корреляционного анализа установлено, что средняя за три

года урожайность зерна после предпосевной обработки семян в течение 40 с имеет высокую положительную связь с числом растений к уборке, продуктивной кустистостью и массой 1000 зерен, а вот число зерен в колосе не оказывает влияния на урожайность (табл. 3).

Таблица 3. Корреляционная взаимосвязь между средней за 2018–2020 гг. урожайностью зерна ярового ячменя сорта Вакула и элементами ее структуры в варианте предпосевной обработки семян ЭППН в течение 40 с

Table 3. Correlation between the mean grain productivity of the spring barley variety 'Vakula' in 2018–2020 and the yield structure elements at the pre-sowing seed treatment with EFAV for 40 s

	Урожайность, т/га	Количество растений на 1 м²	Продуктивная кустистость, шт.	Длина колоса, см	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г
Урожайность, т/га	1	0,93	0,90*	1,00	0,06	0,96*
Количество растений на 1 м²	–	1	0,67*	0,95*	-0,31	0,78*
Продуктивная кустистость, шт.	–	–	1	0,87*	0,50	0,99*
Длина колоса, см	–	–	–	1	0,52	0,94*
Число зерен в колосе, шт.	–	–	–	–	1	0,35
Масса 1000 зерен, г	–	–	–	–	–	1

Примечание. * – достоверно при $p < 0,01$.

Масса 1000 зерен имеет высокую корреляционную связь ($r = 0,99 \pm 0,03$) с продуктивной кустистостью. Это может свидетельствовать о том, что в результате предпосевной обработки формируются более мощные растения с большим числом продуктивных стеблей, а это способствует накоплению ассимилятов, достаточных для налива более полновесных зерновок.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что предпосевная обработка семян ярового ячменя сорта Вакула переменным электрическим полем положительно воздействует на основные элементы структуры. Это привело к стабильному и достоверному увеличению урожая зерна в сравнении с необработанными семенами. Формирование более высокой урожайности было достигнуто

при обработке семян в течение 40 с – в среднем за годы исследований на 11,2 % с последующей отлежкой в течение четырех суток. Увеличение урожайности было обусловлено повышением количества растений на 1 м², продуктивной кустистости и массы 1000 зерен. Масса 1000 семян увеличилась в 2018 г. на 0,7–4,2 %, в 2019 г. – на 0,35–1,53 % и в 2020 г. – на 3,2–3,9 %. На основании полученных результатов

мы рекомендуем использовать в производстве предпосевную обработку семян ярового ячменя ЭППН мощностью 0,5 кВ/см в течение 40 с с последующей их отлежкой четверо суток, а высевать на пятые сутки.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания № 0505-2025-0001.

Библиографический список

1. Бахчевников О. Н., Брагинец А. В., Нозимов К. Ш. Перспективные физические методы стимулирования прорастания семян (обзор) // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 7. С. 56–66.
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
3. Казакова А. С., Донцова В. Ю., Юдаев И. В. Применение электротехнологий для предпосевной обработки семян ярового ячменя. Ч. 1. Установление оптимального режима воздействия электрического поля переменного напряжения промышленной частоты на семена // Вестник аграрной науки Дона. 2021. № 2(54). С. 36–42.
4. Колесников Л. Е., Казакова А. С., Юдаев И. В., Архипов М. В., Черникова Н. В., Колесникова Ю. Р., Радишевский Д. Ю., Пархоменко О. А. Разработка инновационного способа предпосевной обработки семян зерновых культур в электрическом поле переменного напряжения // Агрофизика. 2024. № 1. С. 16–26.
5. Пахомов А. И. О влиянии спектральной частоты электромагнитного поля на результат обеззараживания зерна // Техника и оборудование для села. 2023. № 9. С. 41–44. DOI: 10.33267/2072 9642-2023-9-41-44
6. Zhang L., Li C. Q., Jiang W., Wu M., Rao S. Q., Qian J. Y. Pulsed Electric Field as a Means to Elevate Activity and Expression of α -Amylase in Barley (*Hordeum vulgare* L.) malting // Food Bioprocess Technol. 2019. Vol. 12, P. 1010–1020. DOI: 10.1007/s11947-019-02274-2

References

1. Bakhchevnikov O. N., Braginets A. V., Nozimov K. Sh. Perspektivnye fizicheskie metody stimulirovaniya prorastaniya semyan (obzor) [Promising physical methods for stimulating seed germination (review)] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2022. T. 36, № 7. S. 56–66.
2. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. Izd. 5-e., pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
3. Kazakova A. S., Dontsova V. Yu., Yudaev I. V. Primenenie elektrotekhnologii dlya predposevnoi obrabotki semyan yarovogo yachmenya [Application of electrical technologies for pre-sowing treatment of spring barley seeds]. Ch. 1. Ustanovlenie optimal'nogo rezhima vozdeistviya elektricheskogo polya peremennogo napryazheniya promyshlennoi chastoty na semena // Vestnik agrarnoi nauki Dona. 2021. № 2(54). S. 36–42.
4. Kolesnikov L. E., Kazakova A. S., Yudaev I. V., Arkhipov M. V., Chernikova N. V., Kolesnikova Yu. R., Radishevskii D. Yu., Parkhomenko O. A. Razrabotka innovatsionnogo sposoba predposevnoi obrabotki semyan zernovykh kul'tur v elektricheskome pole peremennogo napryazheniya [Development of an innovative method for pre-sowing treatment of grain crop seeds in an alternating voltage electric field] // Agrofizika. 2024. № 1. S. 16–26.
5. Pakhomov A. I. O vliyaniy spektral'noi chastoty elektromagnitnogo polya na rezul'tat obezzarazhivaniya zerna [On the effect of the spectral frequency of the electromagnetic field on grain disinfection] // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2023. № 9. S. 41–44. DOI: 10.33267/2072 9642-2023-9-41-44
6. Zhang L., Li C. Q., Jiang W., Wu M., Rao S. Q., Qian J. Y. Pulsed Electric Field as a Means to Elevate Activity and Expression of α -Amylase in Barley (*Hordeum vulgare* L.) malting // Food Bioprocess Technol. 2019. Vol. 12, P. 1010–1020. DOI: 10.1007/s11947-019-02274-2

Поступила: 01.04.25; доработана после рецензирования: 09.06.25; принята к публикации: 09.06.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Донцова В. Ю. – проведение полевых опытов, сбор и анализ данных, подготовка рукописи; Казакова А. С. – научное руководство, постановка цели и задач, концептуализация исследования, подготовка рукописи; Юдаев И. В., Брагинец С. В. – анализ литературных источников, концептуализация исследования.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.