

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF PLANTS

УДК 58.037 +633.111.1

doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-6

Влияние магнитоплазменной обработки на активность ферментов и прорастание *Triticum aestivum*

В. Ф. Путько¹, И. Л. Федорова², С. Н. Решетникова³, С. Н. Сергаченко⁴

¹Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия

^{2,3,4}Ульяновский государственный аграрный университет, Ульяновск, Россия

¹v.putko@samgups.ru, ²irinalfedorova@yandex.ru,

³reset-69@mail.ru, ⁴ssergachenko@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Применение физических воздействий на семена вместо химических стимуляторов позволит получать экологически чистую продукцию. Приведены результаты экспериментов по обработке семян яровой мягкой пшеницы установкой с одновременным воздействием магнитного поля и озонирования на базе плазменного разряда. Целью исследований является установление влияния комбинированного физического воздействия на посевные качества и физиологические процессы в прорастающих семенах. *Материалы и методы.* Воздействие на семенной материал осуществлялось установкой магнитоплазменной обработки, которая включает в себя мощный магнитный индуктор, создающий градиентное магнитное поле с регулируемым уровнем магнитной индукции от 100 до 500 Гс (0,01–0,05 Тл), а также электрический диффузный разряд, излучающий ультрафиолет с длиной волны $\lambda = 248\text{--}577$ нм. Под действием ультрафиолетового излучения в воздухе образуется озон. Магнитное поле оказывает возбуждающее воздействие на зародыши семян и подавляет личинки насекомых. Ультрафиолет уничтожает бактерии на поверхности семян и разлагает консервирующие элементы в оболочке. Озон оказывает общее обеззараживающее бактерицидное действие. *Результаты.* Установлено стимулирующее действие на энергию прорастания и всхожесть. Изучение активности ферментов выявило стимулирующий эффект обработки на каталазу и амилазу растений. Фитоэкспертиза семян показывает, что проведенные обработки снижают признаки заражения семян гельминтоспориозом. *Выводы.* Предложенный способ магнитоплазменной обработки семян оказывает стимулирующее воздействие на активность ферментов и всхожесть семян, а также уменьшается число семян, пораженных гельминтоспориозом.

Ключевые слова: яровая пшеница, обработка семян, проростки, магнитная обработка семян, озонирование семян, каталаза, амилаза, фитоэкспертиза семян

Для цитирования: Путко В. Ф., Федорова И. Л., Решетникова С. Н., Сергаченко С. Н. Влияние магнитоплазменной обработки на активность ферментов и прорастание *Triticum aestivum* // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2024. № 1. С. 61–71. doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-6

The effect of magnetic and plasma treatment on enzymatic activity and germination of *Triticum aestivum*

V.F. Putko¹, I.L. Fedorova², S.N. Reshetnikova³, S.N. Sergachenko⁴

¹Samara State Transport University, Samara, Russia

^{2,3,4}Ulyanovsk State Agrarian University, Ulyanovsk, Russia

¹v.putko@samgups.ru, ²irinalfedorova@yandex.ru,

³reset-69@mail.ru, ⁴ssergachenko@yandex.ru

Abstract. *Background.* The use of physical effects on seeds instead of chemical stimulants will allow obtaining environmentally friendly products. The article presents the results of experiments on the treatment of spring wheat seeds with an installation of simultaneous exposure to a magnetic action and ozonation based on a plasma discharge. The work objective of the research is to establish the effect of combined physical effects on sowing qualities and physiological processes in germinating seeds. *Materials and methods.* The effect on the seed material was carried out by a magnetoplasma installation, which includes a powerful magnetic inductor that creates a gradient magnetic field with an adjustable magnetic induction level from 100 to 500 Gs (0.01–0.05 T), as well as an electric diffuse discharge emitting ultraviolet with a wavelength of $\lambda = 248\text{--}577$ nm. Ozone is formed in the air under the influence of ultraviolet radiation. The magnetic field has a stimulating effect on seed germs and suppresses insect larvae. Ultraviolet destroys bacteria on the surface of seeds and decomposes the preservative elements in the seed cover. Ozone has a general disinfecting bactericidal action. *Results.* A stimulating effect on germination power and germinability has been established. The study of enzymatic activity revealed a stimulating effect of treatment on plant catalase and amylase. Phyto inspection of seeds shows that conducted treatments reduce the signs of helminthosporiosis in seeds. *Conclusions.* The proposed method of magnetic and plasma seed treatment has a stimulating effect on enzymatic activity and seed germination, and also reduces the number of seeds with helminthosporiosis.

Keywords: spring wheat, seed treatment, seedlings, magnetic seed treatment, seed ozonation, catalase, amylase, phyto inspection of seeds

For citation: Putko V.F., Fedorova I.L., Reshetnikova S.N., Sergachenko S.N. The effect of magnetic and plasma treatment on enzymatic activity and germination of *Triticum aestivum*. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2024;(1):61–71. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-6

Введение

Применение физических воздействий для обработки семян известно со второй половины XX в. Многочисленные исследования, проводимые с применением обработки магнитным полем, лазером, плазмой, ионизирующей радиацией, отмечают стимулирующий эффект подобных обработок. В результате тщательно подобранных дозировок обработанные семена имеют лучшую всхожесть и энергию прорастания, посев такими семенами ведет к получению дружных всходов и увеличению урожайности культуры [1, 2]. Эффект от

применения физических воздействий, по мнению А. М. Кузина, подобен эффекту обрезки на растения [3].

В настоящее время вновь возрастает интерес к применению физических воздействий на семена вместо химических стимуляторов, так как это позволяет получать экологически чистую продукцию [4, 5]. Среди многих способов применения физических воздействий хорошо себя зарекомендовало применение озонирования на базе плазменного разряда [6, 7, 8]. В ряде публикаций приводятся примеры стимулирующего действия на семена электромагнитного излучения для активации физиологических процессов при прорастании [9, 10].

Целью исследований было изучение влияния комбинированного физического воздействия с одновременным действием магнитного поля и озонирования на посевные качества и физиологические процессы прорастающих семян пшеницы.

Материалы и методы

Объектом изучения были семена мягкой яровой пшеницы сорта Ульяновская 105. Воздействие на семенной материал осуществлялось установкой магнитоплазменной обработки (УМПО), которая включает в себя мощный магнитный индуктор, создающий градиентное магнитное поле с регулируемым уровнем магнитной индукции от 100 до 500 Гс (0,01–0,05 Тл), а также электрический диффузный разряд, излучающий ультрафиолет с длиной волны $\lambda = 248\text{--}577$ нм.

Под действием ультрафиолетового излучения в воздухе образуется озон. Таким образом, семена, проходя через центральный цилиндрический канал диаметром 10 см, попадают в зону воздействия градиентного магнитного поля ультрафиолетового излучения и высокой концентрации озона (100 ПДК) 16 мг/м^3 [11].

Магнитное поле оказывает возбуждающее воздействие на зародыши семян и подавляет личинки насекомых. Ультрафиолет уничтожает бактерии на поверхности семян и разлагает консервирующие элементы в оболочке. Озон оказывает общее обеззараживающее бактерицидное действие.

Семена были обработаны в следующих вариантах воздействия:

- 1 – контроль, без обработки,
- 2 – УМПО, $B = 200$ Гс ($I = 3$ А), однократная обработка,
- 3 – УМПО, $B = 100$ Гс ($I = 2$ А), однократная обработка,
- 4 – УМПО, $B = 200$ Гс ($I = 3$ А), двукратная обработка,
- 5 – УМПО, $B = 100$ Гс ($I = 2$ А), двукратная обработка.

После обработки семена прошли период «отлежки» по инструкции к УМПО в течение 6 дней.

В дальнейшем проводили изучение энергии прорастания и лабораторной всхожести семян пшеницы на 3-й и 7-й день соответственно. Семена проращивались в лабораторных условиях в чашках Петри в четырехкратной повторности. Активность ферментов определялись в семенах методом титрования. В эти же дни проводилась фитоэкспертиза семян, для этого определялась пораженность семян заболеваниями. Эффективность обработок определялась по формуле Аббота [12].

Результаты и обсуждение

Согласно методике, энергия прорастания и лабораторная всхожесть определяются на 3-й и 7-й день соответственно (табл. 1).

Таблица 1

Посевные качества семян яровой пшеницы при различных вариантах воздействия установкой магнитоплазменной обработки

Вариант опыта	Энергия прорастания семян, %	Лабораторная всхожесть семян, %
1. Контроль (без обработки)	62,00	95,25
2. УМПО, В = 200 Гс (I = 3А), однократная обработка	71,00	96,75
3. УМПО, В = 100 Гс (I = 2А), однократная обработка	66,25	96,50
4. УМПО, В = 200 Гс (I = 3А), двукратная обработка	70,75	93,75
5. УМПО, В = 100 Гс (I = 2А), двукратная обработка	59,75	92,25
НСР ₀₅	2,32	1,76

Можно отметить, что для энергии прорастания доза обработки во втором, третьем и четвертом варианте является стимулирующей, во втором варианте превышает контроль на 9 %, кратность обработки на результат не повлияла. В пятом варианте отмечается небольшое снижение энергии прорастания на 2 %.

Лабораторная всхожесть семян на контроле составляет 95,25 %, однократная обработка положительно влияет на всхожесть, увеличивая ее на 1,25–1,50 %. Двукратная обработка несколько снижает всхожесть, на 1,5–3,0 %. Лучший результат влияния на энергию прорастания и лабораторную всхожесть был получен при варианте обработки УМПО, В = 200 Гс (I = 3А), однократная обработка.

Следует отметить, что в лабораторных условиях семена находятся в очень благоприятных условиях, их всхожесть и без обработки высокая. В полевых условиях на семена действует ряд негативных факторов, нехватка влаги, снижение или резкие колебания температуры. Потому преимущества при полевой всхожести имеют семена с большей энергией прорастания.

Современные технологии возделывания пшеницы обязательно включают в себя протравливание семян для профилактики болезней. При этом большинство химических протравителей действуют на семена угнетающе, они снижают всхожесть и энергию прорастания семян. Некоторые вещества или обработки могут уменьшить негативное влияние протравителей. Для изучения возможного влияния семена пшеницы, обработанные УМПО, были в дальнейшем обработаны протравителем Скарлет МЭ в рекомендованной для культуры дозе. Изучалась энергия прорастания и лабораторная всхожесть (табл. 2).

Таблица 2

Посевные качества семян яровой пшеницы при обработке прибором УМПО и протравителем Скарлет МЭ

Вариант опыта	Энергия прорастания семян, %	Лабораторная всхожесть семян, %
1. Контроль (Скарлет МЭ)	58,25	84,25
2. УМПО, В = 200 Гс (I = 3А), однократная обработка + Скарлет МЭ	61,25	85,00
3. УМПО, В = 100 Гс (I = 2А), однократная обработка + Скарлет МЭ	49,25	85,75
4. УМПО, В = 200 Гс (I = 3А), двукратная обработка + Скарлет МЭ	52,00	86,50
5. УМПО, В = 100 Гс (I = 2А), двукратная обработка + Скарлет МЭ	59,75	83,50
НСР ₀₅	2,36	1,47

Закладка опыта была произведена на 20-й день после облучения УМПО. В результате опыта наблюдается снижение показателей прорастания протравленных семян, особенно существенное на лабораторную всхожесть на 9–11 % по сравнению с непротравленными семенами (табл. 1). Положительный эффект от предварительной обработки УМПО наблюдается во втором и пятом вариантах на 1,5–3,0 %, в третьем и четвертом вариантах энергия прорастания оказалась ниже контроля. На лабораторной всхожести можно отметить слабый положительный эффект в 1–2 %.

Для более глубокого изучения физиолого-биохимических процессов при прорастании семян мы провели изучение активности ферментов каталазы, а также α - и β -амилазы. Стимулирующее влияние физических воздействий на окислительно-восстановительные ферменты, а также α и β -амилазы отмечено В. И. Костиным [13].

Каталаза относится к окислительно-восстановительным ферментам, она встречается во всех органах и тканях, ее активность отражает интенсивность физиолого-биохимических процессов в клетках.

Исследования каталазы проводились на прорастающих семенах ежедневно в течение трех дней (табл. 3).

Таблица 3

Активность фермента каталазы в прорастающих семенах яровой пшеницы

Вариант	В мкмоль H_2O_2 , разложившейся под действием фермента за 1 мин на 1 г сухого исследуемого вещества		
	1-й день	2-й день	3-й день
1. Контроль	54,7	72,4	82,4
2. В = 200 Гс (I = 3А) однократная обработка	60,9	75,2	88,9
3. В = 100 Гс (I = 2А) однократная обработка	62,6	76,3	87,6
4. В = 200 Гс (I = 3А) двукратная обработка	60,9	74,8	89,2
5. В = 100 Гс (I = 2А) двукратная обработка	64,1	72,5	92,0
НСР ₀₅	2,9	2,4	2,7

Все семена, обработанные УМПО, имеют активность каталазы существенно выше, чем в контрольном варианте. Разница выше в 1-й и на 3-й день прорастания. Между обработанными вариантами разница не велика.

При прорастании семян активно действуют процессы гидролиза запасного крахмала, которые протекают с участием ферментов амилаз (табл. 4). Чем больше количество расщепленного гидролизованного крахмала, тем выше активность амилаз, α - и β -амилазы расщепляют разные виды связей в молекуле крахмала.

Таблица 4

Активность ферментов α - и β -амилаз в прорастающих семенах яровой пшеницы (в мг гидролизованного крахмала за 30 мин на 1 г проростков)

Номер опыта	1-й день (24 ч)		2-й день (48 ч)		3-й день (72 ч)	
	$\alpha+\beta$	α	$\alpha+\beta$	α	$\alpha+\beta$	α
1. Контроль	4116	3955	4707	4043	7303	7256
2. В = 200 Гс (I = 3А) однократная обработка	3525	3061	4678	1829	7342	7110
3. В = 100 Гс (I = 2А) однократная обработка	3955	3197	5465	5231	7350	5186
4. В = 200 Гс (I = 3А) двукратная обработка	4344	3503	5207	4990	7295	4286
5. В = 100 Гс (I = 2А) двукратная обработка	4472	3402	6291	1099	7303	6631
НСР ₀₅	143	207	102	265	55	83

Исследование активности ферментов амилаз в первые сутки показало заметное снижение количества расщепленного крахмала при однократной обработке и увеличение при двукратной обработке по сравнению с контролем, что обусловлено активностью α - и β -амилаз, при этом активность α -амилазы в обработанных вариантах ниже контроля, следовательно, повышение происходило за счет β -амилазы.

На второй день активность α - и β -амилаз во втором варианте почти сравнялась с контролем, на остальных превышала контроль. При этом активность α -амилазы во втором и пятом варианте снизилась, в третьем и четвертом повысилась.

На третий день проращивания семян общая активность амилаз примерно равна контролю, несколько снижена активность α -амилазы в обработанных вариантах, следовательно, повышена активность β -амилазы по сравнению с контролем.

В технологии возделывания пшеницы большое значение имеет защита растений от болезней, в том числе обработка семян перед посевом, как правило, для этого используются протравители семян.

В наших опытах мы провели исследование действия УМПО на зараженность семян по методике фитоэкспертизы. Фитоэкспертиза проводилась одновременно с изучением всхожести и энергии прорастания (табл. 5).

Фитоэкспертиза семян яровой пшеницы сорта Ульяновская 105 показала, что общая зараженность микромицетами на контроле составила 13,5 %; из них патогенной микобиотой: *Fusarium spp.* – 0 (не обнаружено), *Bipolaris sorokiniana* – 8,0 %; и грибами, вызывающими плесневение семян – 5,5 %. Оценка пораженности проводилась два раза, на 3-й и на 7-й день.

Таблица 5

**Фитоэкспертиза семян яровой пшеницы при различных вариантах
воздействия установкой магнитоплазменной обработки**

Вариант опыта	Микобиота								Всего	
	патогенная, <i>B. sorokiniana</i>				сапротрофная, плесневение семян					
	3-й день		7-й день		3-й день		7-й день		заражено, %	эффективность, %
	заражено, %	эффективность *, %	заражено, %	эффективность, %	заражено, %	эффективность, %	заражено, %	эффективность, %		
Контроль (без обработки)	5,5	–	2,50	–	1,25	–	4,25	–	13,5	–
УМПО, В = 200 Гс (I = 3А), однократная обработка	5,25	4,55	2,5	0	4,75	0	6,0	0	18,5	0
УМПО, В = 100 Гс (I = 2А), однократная обработка	2,0	63,64	2,5	0	4,0	0	4,5	0	13,0	3,7
УМПО, В = 200 Гс (I = 3А), двукратная обработка	2,0	63,64	2,0	20,0	6,0	0	5,0	0	15,0	0
УМПО, В = 100 Гс (I = 2А), двукратная обработка	1,5	72,73	1,25	50,0	7,75	0	2,5	41,18	13,0	3,7

П р и м е ч а н и е. * – показатель эффективности получен по формуле Аббота.

На третий день проращивания семян они были осмотрены на предмет пораженности, поражения фузариозом в виде розовых пятен на семенах обнаружено не было. Гельминтоспориоз определялся как поражения семян и проростков черного цвета. Плесневение семян отмечалось в виде пятен плесени белого, коричневого и серо-черного цвета. На контроле 5,5 % семян имели признаки гельминтоспориоза, 1,25 % – признаки плесневения. Проведенные обработки снижают признаки заражения *B. sorokiniana*, но также на обработанных семенах увеличилось количество плесени, в основном рода *Mucor*.

На 7-й день проращивания семян заметное снижение заражения *B. sorokiniana* отмечалось только в варианте В = 100 Гс (I = 2А), двукратная обработка. В этом же варианте отмечено снижение количества заплесневевших семян.

Заключение

Использование для обработки семян яровой мягкой пшеницы УМПО, в дозе В = 200 Гс (I = 3А) при однократной обработке повышает энергию прорастания на 9 % и лабораторную всхожесть на 1,5 %.

При использовании обработки семян УМПО в дозе В = 200 Гс (I = 3А) при однократной обработке и последующей протравке семян протравителем

Скарлет МЭ наблюдалось снижение показателей прорастания на контроле под действием Скарлет МЭ на 3 % и увеличение энергии прорастания в случае обработки на 3 %, т.е. предварительно обработанные УМПО семена меньше угнетаются при протравливании.

Обработка УМПО влияет на активность ферментов в прорастающих семенах. Все семена, обработанные УМПО, имеют активность каталазы существенно выше, чем в контрольном варианте. Разница выше в 1-й и на 3-й день прорастания. Между обработанными вариантами разница незначительна.

Исследование активности ферментов α - и β -амилаз в первые сутки прорастания семян показало заметное снижение количества расщепленного крахмала при однократной обработке и увеличение при двукратной обработке по сравнению с контролем, что обусловлено активностью α - и β -амилаз. При этом активность α -амилазы в обработанных вариантах оказалась ниже контроля. Повышение суммарной активности амилаз происходит за счет повышенной активности β -амилазы. Изучение активности амилаз на вторые и третьи сутки показывает явное влияние обработок на активность ферментов. Увеличение активности чаще фиксируется у β -амилазы.

Фитоэкспертиза семян показала, что проведенные обработки снижают признаки заражения семян гельминтоспориозом. Однако на обработанных семенах несколько увеличилось количество плесени, в основном рода *Mucor*.

Список литературы

1. Карагичев М. И., Шуляк М. Д., Худяков А. С. Повышение посевных качеств семян озимой пшеницы при использовании физических факторов // Современные тенденции развития науки и технологий (г. Ставрополь, 4–8 апреля 2016 г.). Ставрополь : Ставропольский государственный аграрный университет, 2016. С. 76–80.
2. Волхонов М. С., Мамаева И. А., Беляков М. М. Классификация и определение эффективности известных способов предпосевной обработки семян // Вестник НГИЭИ. 2022. № 8 (135). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-i-opredelenie-effektivnosti-izvestnyh-sposobov-predposevnoy-obrabotki-semyan> (дата обращения: 27.02.2023).
3. Кузин А. М. Структурно-метаболическая теория в радиобиологии. М. : Наука, 1986. 282 с.
4. Иваненко В. В., Кравцов Е. А., Немыкин А. А. Предпосевная электромагнитная обработка семян как один из наиболее безопасных и перспективных приемов рационального природопользования // Современные тенденции развития науки и технологий (г. Ставрополь, 4–8 апреля 2016 г.). Ставрополь : Ставропольский государственный аграрный университет, 2016. С. 72–76.
5. Даниловских М. Г., Винник Л. И. Стимуляция биосистем семян растений пространственным модулятором // Лучшая научная статья 2016 : сб. ст. победителей IV Междунар. науч.-практ. конкурса (г. Пенза, 30 ноября 2016 г.). Пенза : Наука и просвещение, 2016. С. 21–25.
6. Чайкин Н. И. Предпосевная стимуляция семян электроозонированием // Стратегическое развитие АПК и сельских территорий РФ в современных международных условиях : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг. (г. Волгоград, 3–5 февраля 2015 г.) / под ред. А. С. Овчинникова. Волгоград : Волгоградский государственный аграрный университет, 2015. Т. 2. С. 408–411.
7. Гретченко А. Е. Применение физических факторов для повышения посевных качеств семян // Молодежь XXI века: шаг в будущее : материалы XXII региональной

- науч.-практ. конф. (г. Благовещенск, 20 мая 2021 г.). Благовещенск : Благовещенский государственный педагогический университет, 2021. С. 533–535.
8. Русакович А. А., Самохина В. В., Войтехович М. А. [и др.] Использование холодной плазмы атмосферного разряда для стимуляции ростовых процессов у высших растений // Клеточная биология и биотехнология растений : тез. докл. III Междунар. науч.-практ. конф. (г. Минск, 24–27 мая 2022 г.). Минск : Белорусский государственный университет, 2022. С. 100–101.
 9. Корлэтяну Л. Б., Ганя А. И., Маслоброд С. Н. Влияние физических факторов на жизнеспособность семян озимой пшеницы при консервации *ex situ* // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. (г. Киров, 4–5 апреля 2021 г.) / под общ. ред. И. А. Устюжанина. Киров : Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, 2021. С. 102–106.
 10. Городецкая Е. А., Дубодел И. Б., Кардашов П. В. [и др.] Исследование процесса стимуляции семян магнитным полем // Биологически активные вещества растений – изучение и использование : материалы международной научной конференции (г. Минск, 29–31 мая 2013 г.). Минск : Центральный ботанический сад НАН Беларуси, 2013. С. 246–247.
 11. Установка магнитоплазменной обработки семян сельскохозяйственных культур «УМПО» : руководство по эксплуатации. 19 с.
 12. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве. СПб., 2009. 378 с.
 13. Костин В. И., Дозоров А. В., Исайчев В. А. К вопросу о стимуляции сельскохозяйственных растений под действием физических и химических факторов при обработке семян // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 2 (42). С. 67–77.

References

1. Karagichev M.I., Shulyak M.D., Khudyakov A.S. Increasing the sowing qualities of winter wheat seeds using physical factors. *Sovremennyye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii* (g. Stavropol', 4–8 aprelya 2016 g.) = Modern trends in the development of science and technology (Stavropol, April 4–8, 2016). Stavropol': Stavropol'skiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2016:76–80. (In Russ.)
2. Volkhonov M.S., Mamaeva I.A., Belyakov M.M. Classification and determination of the effectiveness of known methods of pre-sowing seed treatment. *Vestnik NGIEI*. 2022;(8). (In Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-i-opredelenie-effektivnosti-izvestnyh-sposobov-predposevnoy-obrabotki-semyan> (accessed 27.02.2023).
3. Kuzin A.M. *Strukturno-metabolicheskaya teoriya v radiobiologii* = Structural-metabolic theory in radiobiology. Moscow: Nauka, 1986:282. (In Russ.)
4. Ivanenko V.V., Kravtsov E.A., Nemykin A.A. Pre-sowing electromagnetic seed treatment as one of the safest and most promising methods for rational environmental management. *Sovremennyye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii* (g. Stavropol', 4–8 aprelya 2016 g.) = Modern trends in the development of science and technology (Stavropol, April 4–8, 2016). Stavropol': Stavropol'skiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2016:72–76. (In Russ.)
5. Danilovskikh M.G., Vinnik L.I. Stimulation of plant seed biosystems with a spatial modulator. *Luchshaya nauchnaya stat'ya 2016: sb. st. pobediteley IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konkursa* (g. Penza, 30 noyabrya 2016 g.) = Best scientific article 2016: proceedings of the winners of the 4th International scientific and practical competition (Penza, November 30, 2016). Penza: Nauka i prosveshchenie, 2016:21–25. (In Russ.)
6. Chaykin N.I. Pre-sowing stimulation of seeds by electroozonation. *Strategicheskoe razvitie APK i sel'skikh territoriy RF v sovremennykh mezhdunarodnykh usloviyakh*:

- materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 70-letiyu Pobedy v Velikoy Otechestvennoy voyne 1941–1945 gg. (g. Volgograd, 3–5 fevralya 2015 g.)* = Strategic development of the agro-industrial complex and rural areas of the Russian Federation in modern international conditions: proceedings of the International scientific and practical conference, dedicated to the 70th anniversary of the Great Patriotic War (Volgograd, February 3–5, 2015). Ed. by A.S. Ovchinnikov. Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2015;2:408–411. (In Russ.)
7. Gretchenko A.E. Application of physical factors to improve the sowing qualities of seeds. *Molodezh' XXI veka: shag v budushchee: materialy XXII regional'noy nauch.-prakt. konf. (g. Blagoveshchensk, 20 maya 2021 g.)* = Youth of the 21st century: proceedings of the 22nd regional scientific and practical conference (Blagoveshchensk, May 20, 2021). Blagoveshchensk: Blagoveshchenskiy gosudarstvennyy pedagogicheskiy universitet, 2021:533–535. (In Russ.)
 8. Rusakovich A.A., Samokhina V.V., Voytekhovich M.A. et al. Use of cold atmospheric discharge plasma to stimulate growth processes in higher plants. *Kletochnaya biologiya i biotekhnologiya rasteniy: tez. dokl. III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Minsk, 24–27 maya 2022 g.)* = Cell biology and plant biotechnology: proceedings of the 3rd International scientific and practical conference (Minsk, May 24–27, 2022). Minsk: Belorusskiy gosudarstvennyy universitet, 2022:100–101. (In Russ.)
 9. Korletyanu L.B., Ganya A.I., Maslobrod S.N. The influence of physical factors on the viability of winter wheat seeds during ex situ preservation. *Metody i tekhnologii v selektsii rasteniy i rastenievodstve: materialy VII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Kirov, 4–5 aprelya 2021 g.)* = Methods and technologies in plant breeding and crop production: proceedings of the 7th International scientific and practical conference (Kirov, April 4–5, 2021). Ed. by I.A. Ustyuzhanin. Kirov: Federal'nyy agrarnyy nauchnyy tsentr Severo-Vostoka imeni N.V. Rudnitskogo, 2021:102–106. (In Russ.)
 10. Gorodetskaya E.A., Dubodel I.B., Kardashov P.V. et al. Studying the process of seed stimulation by a magnetic field. *Biologicheski aktivnye veshchestva rasteniy – izuchenie i ispol'zovanie: materialy Mezhdunar. nauch. konf. (g. Minsk, 29–31 maya 2013 g.)* = Biologically active substances of plants - study and use: proceedings of the International scientific conference (Minsk, May 29–31, 2013). Minsk: Tsentral'nyy botanicheskiy sad NAN Belarusi, 2013:246–247. (In Russ.)
 11. *Ustanovka magnitoplazmennoy obrabotki semyan sel'skokhozyaystvennykh kul'tur «UMPO»: rukovodstvo po ekspluatatsii* = Installation of magnetic plasma treatment of agricultural seeds “UMPO”: operating manual. 19 p. (In Russ.)
 12. *Metodicheskie ukazaniya po registratsionnym ispytaniyam fungitsidov v sel'skom khozyaystve* = Guidelines for registration testing of fungicides in agriculture. Saint Petersburg, 2009:378. (In Russ.)
 13. Kostin V.I., Dozorov A.V., Isaychev V.A. On the issue of stimulation of agricultural plants under the influence of physical and chemical factors during seed treatment. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2018;(2):67–77. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Валерий Федорович Пуцько

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры электротехники,
Самарский государственный
университет путей сообщения
(Россия, г. Самара, ул. Свободы, 2В),

E-mail: v.putko@samgups.ru

Valery F. Putko

Doctor of engineering sciences, professor,
professor of the sub-department
of electrical engineering,
Samara State Transport University
(2V Svobody street, Samara, Russia)

Ирина Леонидовна Федорова

кандидат химических наук, доцент,
доцент кафедры биологии, химии
и технологии хранения, переработки
продукции растениеводства,
Ульяновский государственный
аграрный университет
(Россия, г. Ульяновск,
бульвар Новый Венец, 1)

E-mail: irinalfedorova@yandex.ru

Irina L. Fedorova

Candidate of chemical sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department of biology,
chemistry and technology of storage,
processing of plant products,
Ulyanovsk State Agrarian University
(1 Noviy Venets boulevard,
Ulyanovsk, Russia)

Софья Николаевна Решетникова

кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры биологии, химии
и технологии хранения, переработки
продукции растениеводства,
Ульяновский государственный
аграрный университет
(Россия, г. Ульяновск,
бульвар Новый Венец, 1)

E-mail: reset-69@mail.ru

Sofya N. Reshetnikova

Candidate of agricultural sciences,
associate professor of the sub-department
of biology, chemistry and technology
of storage, processing of plant products,
Ulyanovsk State Agrarian University
(1 Noviy Venets boulevard,
Ulyanovsk, Russia)

Светлана Николаевна Сергаченко

кандидат биологических наук, доцент,
доцент кафедры биологии, химии
и технологии хранения, переработки
продукции растениеводства,
Ульяновский государственный
аграрный университет
(Россия, г. Ульяновск,
бульвар Новый Венец, 1)

E-mail: ssergatenko@yandex.ru

Svetlana N. Sergatenko

Candidate of biological sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department of biology, chemistry
and technology of storage,
processing of plant products,
Ulyanovsk State Agrarian University
(1 Noviy Venets boulevard,
Ulyanovsk, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 22.11.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 27.12.2023

Принята к публикации / Accepted 13.02.2024