

DOI: 10.7868/S3034574X26020139  
УДК: 633.1 632.9 57.021

Оригинальная статья

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ХИТОЗАНА И ГЛИОКСАЛЯ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ РФ

М.В. Успенская<sup>1</sup>, М.И. Фокина<sup>1,3\*</sup>, Л.Е. Колесников<sup>2</sup>, А.Д. Фатеев<sup>3</sup>,  
Ю.Р. Колесникова<sup>4</sup>, Д.Ю. Радишевский<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт химии, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,  
Петергоф, Российская Федерация

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Пушкин, Российская Федерация

<sup>3</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>4</sup> Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург,  
Российская Федерация

\* E-mail: mfokina@niuitmo.ru

**Аннотация.** Проведена оценка влияния предпосевной обработки семян мягкой пшеницы сортов Дарья, к-64432 и Ленинградская 6, к-64902 биологически активным хитозаном с использованием сшивающего агента глиоксаля и без него. Показано, что, независимо от способа обработки семян (одновременной или последовательной), продуктивность пшеницы существенно увеличивалась (на 188 %), при этом оптимальная концентрация хитозана в растворе при обработке для сорта Дарья — 5 %, для сорта Ленинградская 6 — 6–7 %. Наиболее эффективным способом оказалась последовательная обработка семян хитозаном и глиоксалем, так как при такой обработке семян особенно сильно снижалась пораженность сорта Ленинградская 6 мучнистой росой (БЭ=95,7 %).

**Ключевые слова:** мягкая пшеница, предпосевная обработка семян, хитозан, глиоксаль, фитометрические характеристики посевов, особо опасные болезни зерновых культур

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

**Соблюдение этических стандартов.** В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

**Конфликт интересов.** Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

**Вклад авторов.** Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи.

**Ссылка для цитирования:** Успенская М.В., Фокина М.И., Колесников Л.Е., Фатеев А.Д., Колесникова Ю.Р., Радишевский Д.Ю. Эффективность применения хитозана и глиоксаля для предпосевной обработки семян мягкой пшеницы в северо-западном регионе РФ. *Прикладная биохимия и микробиология / Applied biochemistry and microbiology*. 2026. Т. 62. № 2. С. 295–306.  
<https://doi.org/10.7868/S3034574X26020139>

## USING CHITOSAN AND GLYOXAL EFFICIENCY FOR PRE-SOWING TREATMENT OF SOFT WHEAT SEEDS IN THE RUSSIAN FEDERATION NORTHWESTERN REGION

M.V. Uspenskaya<sup>1</sup>, M.I. Fokina<sup>1,3\*</sup>, L.E. Kolesnikov<sup>2</sup>, A.D. Fateev<sup>3</sup>,  
Yu.R. Kolesnikova<sup>4</sup>, D.Yu. Radishevskiy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Chemistry, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Peterhof, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Pushkin, Russian Federation*

<sup>3</sup>*ITMO University, Saint Petersburg, Russian Federation*

<sup>4</sup>*N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russian Federation*

\* E-mail: mfokina@niuitmo.ru

**Abstract.** The effect of pre-sowing treatment of soft wheat seeds of the Darya (K-64432) and Leningradskaya 6 (K-64902) varieties using biologically active chitosan with or without the crosslinking agent glyoxal has been evaluated. Two methods of glyoxal administration have been considered: after the treatment with chitosan and simultaneously with chitosan. The phytometric characteristics of the crops, as well as the phytopathological and other indicators of disease development, have been analyzed. Regardless of the processing method, wheat productivity has been shown to increase significantly (by 188 %), with the optimal chitosan solution concentrations being 5 % for the Darya variety and 6–7 % for the Leningradskaya 6 variety. Sequential treatment with chitosan and glyoxal has been found to be the most effective method, particularly reducing the incidence of powdery mildew in the Leningradskaya 6 variety (BE = 95.7 %).

**Keywords:** soft wheat, pre-sowing seed treatment, chitosan, glyoxal, phytometric characteristics of crops, especially dangerous diseases of grain crops

**Funding.** The work was supported by the State assignment according to the program VIR FGEM-2022-0009 “Structuring and unlocking the potential of hereditary variability in the global collection of grain and cereal crops for the development of an optimized gene bank and rational use in breeding and crop production”.

**Ethics declarations.** This work was carried out without involving humans or animals as research objects.

**Conflict of interests.** The authors state that there is no conflict of interest.

**Authors contribution.** All authors made a significant contribution to the development of the concept, conduct of the study, and preparation of the article.

**For Citation:** Uspenskaya M.V., Fokina M.I., Kolesnikov L.E., Fateev A.D., Kolesnikova Yu.R., Radishevskiy D.Yu. Using chitosan and glyoxal efficiency for pre-sowing treatment of soft wheat seeds in the Russian Federation northwestern region. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya / Applied biochemistry and microbiology*. 2026;62(2):295–306. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S3034574X26020139>

## ВВЕДЕНИЕ

Современные агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур, включая пшеницу, способны значительно повысить их урожайность. В последние годы большое внимание уделяется биологизации и экологизации сельского хозяйства [2]. Одним из ключевых направлений снижения агрохимической нагрузки на почву и сокращения применения пестицидов является использование ассортимента биологических средств стимуляции роста и защиты растений. Их своевременное и регулярное применение не только улучшает продуктивность растений и фитосанитарное состояние посевов, но и способствует производству экологически чистой продукции [22].

К числу важнейших соединений, обладающих выраженной росторегулирующей активностью и способностью индуцировать защитные реакции растений, относится ряд органических соединений, в том числе фенольные соединения, сесквитерпеноиды, изопреноиды, полисахариды и др. [4, 6, 7, 18]. Их использование позволяет своевременно выявлять угрозы, минимизировать потери урожая и совершенствовать стратегии защиты растений [11].

Хитозан — один из важнейших индукторов устойчивости растений к неблагоприятным факторам окружающей среды. Применение хитозана в составе композиций со штаммами микробов-антагонистов способствует снижению пораженности растений болезнями, что подтверждено в ряде исследований [3, 21]. Биологическая эффективность хитозана в отношении фитопатогенных микромицетов обусловлена несколькими механизмами: разрушением и модификацией цитоплазматической мембраны грибов, влиянием на экспрессию генов, ингибированием синтеза РНК и белка, блокированием кальциевых каналов [13, 17].

Использование хитозана для капсулирования семян позволяет улучшить их посевные качества и стимулировать прорастание [14, 20, 25]. Такое действие, в том числе, обуславливается рядом свойств хитозана: антитранспирантным эффектом — снижением потери влаги, что особенно важно в условиях засухи [9, 10, 15], и стимуляцией роста растений — активирует физиологические процессы, повышая устойчивость к стрессам. Хитозан влияет на проницаемость плазматической мембраны семян, повышает концентрацию сахаров и пролина, а также усиливает активность ключевых ферментов, таких как пероксидаза, фенилаланин-аммиак-лиаза, тирозинаммиак-лиаза, каталаза [12]. При внекорневой обработке хитозан не только стимулирует рост растений и повышает урожайность, но и индуцирует синтез вторичных метаболитов, включая полифенолы, флавоноиды, лигнин и фитоалексины [8].

Применение хитозана активирует ключевые ферменты азотного метаболизма: нитратредуктазу, протеазу, глутаминсинтетазу, что способствует уси-

ленному поглощению азота и, как следствие, стимулирует рост и развитие растений [24]. Кроме того, хитозан оказывает влияние на фитогормональный баланс и синтез защитных соединений: стимулирует выработку растительных гормонов и липидных сигнальных молекул [24]; способствует накоплению ауксина в апикальных меристемах корней [23]; активирует метаболические пути, связанные с биосинтезом фенольных соединений, усиливающих устойчивость растений к стрессам [5].

Широкое применение в сельском хозяйстве также находит реакционноспособный диальдегид — глиоксаль. Он не только используется в качестве сшивающего агента при формировании биополимерных соединений различного состава, в том числе, на основе хитозана, но и проявляет высокую спороцидную и микобактерицидную активность [20, 21].

Таким образом, разработка инновационных биопрепаратов на основе хитозана открывает перспективные направления в биологизации технологий возделывания сельскохозяйственных культур, включая пшеницу. Их применение способствует сохранению устойчивости агробиоценозов, что особенно актуально в условиях климатических изменений и возрастающего спроса на экологически чистую продукцию.

Цель работы — оценка продуктивности мягкой пшеницы при предпосевной обработке семян низкомолекулярным хитозаном, а также хитозаном в структуре, сшитой глиоксалем.

## МЕТОДИКА

Исследования проведены на опытном поле научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Россия). В качестве растительного материала для исследования были использованы сорта мягкой пшеницы Дарья, к-64432 и Ленинградская 6, к-64902.

Обработка семян проводилась двумя способами. Способ I: семена помещали на 10 мин в раствор хитозана, в качестве растворителя использовали 2%-ный водный раствор уксусной кислоты. Для получения равномерного покрытия хитозаном семена перемешивали, а через 10 мин их вынимали из раствора и 15 мин высушивали при температуре 35 °С. Далее отдельные группы семян подвергали дополнительной обработке сшивающим агентом — помещали в 40%-ный водный раствор глиоксаля на 3 мин. После чего семена высушивали 15 мин при 35 °С.

Способ II: семена помещали на 10 мин в раствор хитозана с глиоксалем (концентрация глиоксаля 40 %). Для получения равномерного покрытия семена перемешивали, через 10 мин их вынимали из раствора и 15 мин высушивали при температуре 35 °С.

Концентрация хитозана в растворе варьировала от 4 до 7 % (табл. 1). Во всех случаях соотношение масс семени: хитозан сохранялось 4:1.

Полевые опыты были заложены в трехкратной повторности. Площадь опытной делянки для одного варианта опыта составила 1,0 м<sup>2</sup>, размещение делянок систематическое. Предшественник — кар-

тофель. Применялась агротехника возделывания пшеницы, рекомендованная для зерновых культур Всероссийским институтом генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Посев проводили рядовым способом с междурядьями 15 см и расстоянием в ряду 1–2 см при глубине заделки семян 5–6 см (300 зерен/м<sup>2</sup>).

**Таблица 1.** Предпосевная обработка семян мягкой пшеницы хитозаном и глиоксалем (схема опыта)

**Table 1.** Pre-sowing treatment of soft wheat seeds with chitosan and glyoxal (experimental scheme)

| Условные обозначения*         | Способ обработки | Концентрация хитозана в растворе, % | Наличие сшивающего агента |
|-------------------------------|------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Сорт Дарья, к-64432           |                  |                                     |                           |
| Контроль                      | -                | -                                   | -                         |
| I40                           | Способ I         | 4                                   | -                         |
| I41                           | Способ I         | 4                                   | +                         |
| I50                           | Способ I         | 5                                   | -                         |
| I51                           | Способ I         | 5                                   | +                         |
| I60                           | Способ I         | 6                                   | -                         |
| I61                           | Способ I         | 6                                   | +                         |
| I70                           | Способ I         | 7                                   | -                         |
| I71                           | Способ I         | 7                                   | +                         |
| Сорт Ленинградская 6, к-64902 |                  |                                     |                           |
| Контроль                      | -                | -                                   | -                         |
| I40                           | Способ I         | 4                                   | -                         |
| II41                          | Способ II        | 4                                   | +                         |
| I50                           | Способ I         | 5                                   | -                         |
| II51                          | Способ II        | 5                                   | +                         |
| I60                           | Способ I         | 6                                   | -                         |
| II61                          | Способ II        | 6                                   | +                         |
| I70                           | Способ I         | 7                                   | -                         |
| II71                          | Способ II        | 7                                   | +                         |

\*Первая цифра I или II — способ обработки семян; вторая цифра — концентрация хитозана (4, 5, 6 или 7 %); третья цифра: 0 — нет сшивающего агента; 1 — сшивающий агент (глиоксаль) есть.

\* The first digit is the method of seed treatment (I or II); the second digit is the concentration of chitosan (4, 5, 6, or 7 %); the third digit designates the absence or presence of glyoxal as the crosslinking agent (0 or 1).

При анализе элементов продуктивности пшеницы использовали комплекс показателей, характеризующих морфологические признаки растений и структуру урожая в фазы цветения и созревания. На основании данных о продуктивной кустистости и массе зерен колоса была рассчитана продуктивность одного растения (г/растение), что в дальнейшем позволило нам рассчитать потенциальную урожайность пшеницы, как т/га [1]. Пораженность пшеницы болезнями (гельминтоспориозная корневая гниль, бурая и желтая ржавчина, септориоз-

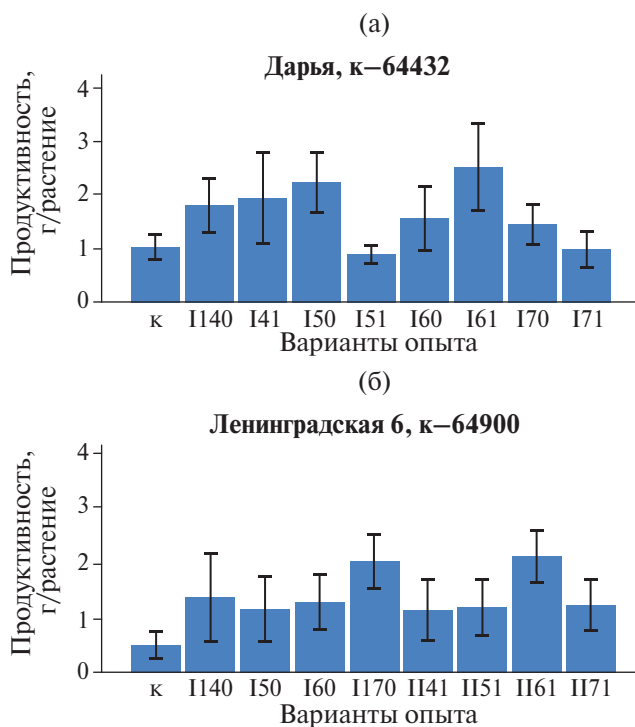
ная пятнистость, мучнистая роса) была изучена как по комплексу общепринятых параметров развития болезней, так и дополнительных фитопатологических показателей [16].

При оценке влияния предпосевной обработки семян низкомолекулярным хитозаном, в том числе, совместно с глиоксалем, на продуктивность и интенсивность развития болезней достоверность различий между средними значениями фитометрических и фитопатологических показателей определяли на основе статистики Стьюдента при

$P < 0,05$ . При построении гистограмм использовали общепринятую методологию расчета 95 % доверительных интервалов для средних значений вышеуказанных показателей.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно данным рис. 1, применение хитозана без глиоксаля привело к значительному увеличению средней продуктивности растений ( $Y_n$ ) по сравнению с контролем: для сорта Дарья данный параметр показал увеличение на 73,9 % ( $Y_n = 1,0 \pm 0,1$  г/растение в контроле), для сорта Ленинградская 6 — на 196,1 % ( $Y_n = 0,5 \pm 0,1$  г/растение в контроле). С увеличением доли хитозана наблюдалась тенденция к росту продуктивности пшеницы, которая особенно была выражена у сорта Ленинградская 6.

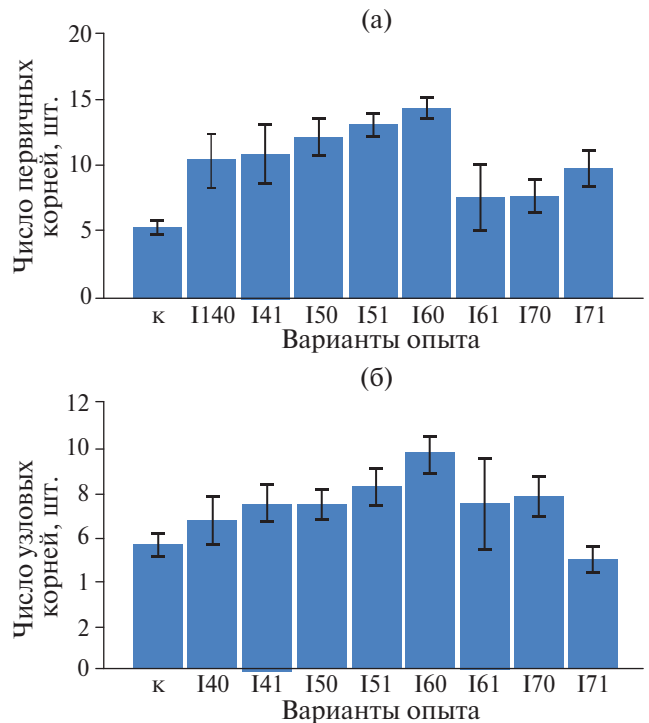


**Рис. 1.** Продуктивность мягкой пшеницы сортов Дарья, к-64432 (а) и Ленинградская 6 (б) при предпосевной обработке семян смесью хитозана и глиоксаля при различных концентрациях исходных компонентов (обозначения даны в табл. 1)

**Fig. 1.** Productivity of soft wheat varieties of Darya, k-64432 (a) and Leningradskaya 6 (б) after pre-sowing seed treatment with a mixture of chitosan and glyoxal at different concentrations of the initial components (designations are given in Table 1)

Наибольшее увеличение продуктивности у сорта Дарья ( $Y_n = 2,2 \pm 0,3$  г/растение,  $+^1 = 121,0$  %) отмечено при использовании для обработки семян

5 % хитозана, при этом наблюдался рост числа (рис. 2 а) и длины первичных корней на 129,8 % и 54,4 % соответственно, числа (рис. 2 б) и длины узловых корней — на 324 % и 701 % соответственно; продуктивной кустистости (на 59,0 %), длины колоса (на 12,1 %). Кроме того, выявлено снижение пораженности растений возбудителем желтой ржавчины на 25,7 % ( $БЭ^2=82,0$  %). В контрольном варианте развитие болезни составило  $R_{ж}=31,4 \pm 14,3$  %, в варианте I50 —  $R_{ж}=5,7 \pm 2,7$  %.



**Рис. 2.** Число первичных корней (а) и узловых корней (б) мягкой пшеницы сорта Дарья при предпосевной обработке семян смесью хитозана и глиоксаля при различных концентрациях исходных компонентов

**Fig. 2.** Number of primary roots (a) and nodular roots (б) of soft wheat of the Darya variety during pre-sowing seed treatment with a mixture of chitosan and glyoxal at various concentrations of the initial components

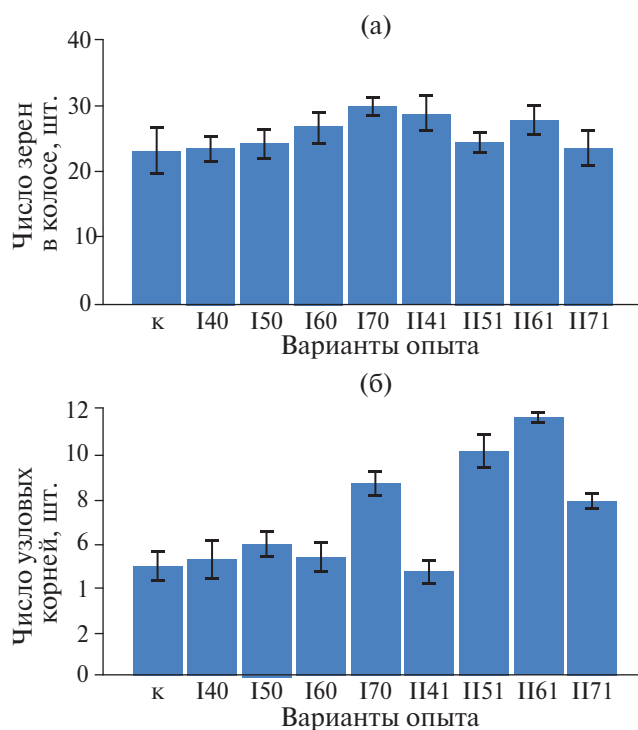
У сорта Ленинградская 6 существенный рост продуктивности зафиксирован в варианте опыта, где семена были обработаны 7%-ным хитозаном ( $Y_n = 2,0 \pm 0,2$  г/растение,  $+^1 = 313,0$  %). В этом варианте опыта отмечен значительный рост числа зерен в колосе на 93,4 % (рис. 3 а) и продуктивной кустистости растений — на 75,0 % (рис. 3 б), числа колосков в колосе (на 23,3 %).

При предпосевной обработке семян смесью глиоксаля с 6 %-ным хитозаном рост значений

<sup>1</sup> + изменение показателя относительно контроля, %

<sup>2</sup> БЭ — биологическая эффективность, %

комплекса фитометрических показателей — продуктивной кустистости растений (на 135,3 %) (рис. 3 б), массы корней (на 467,1 %), числа колосков в колосе (на 4,3 %), числа зерен в колосе (на 78,7 %) обуславливал максимальное увеличение продуктивности растений сорта Ленинградская 6 ( $Y_{\text{п}} = 2,1 \pm 0,2$  г/растение,  $+_{\text{п}} = 330,4$  %).

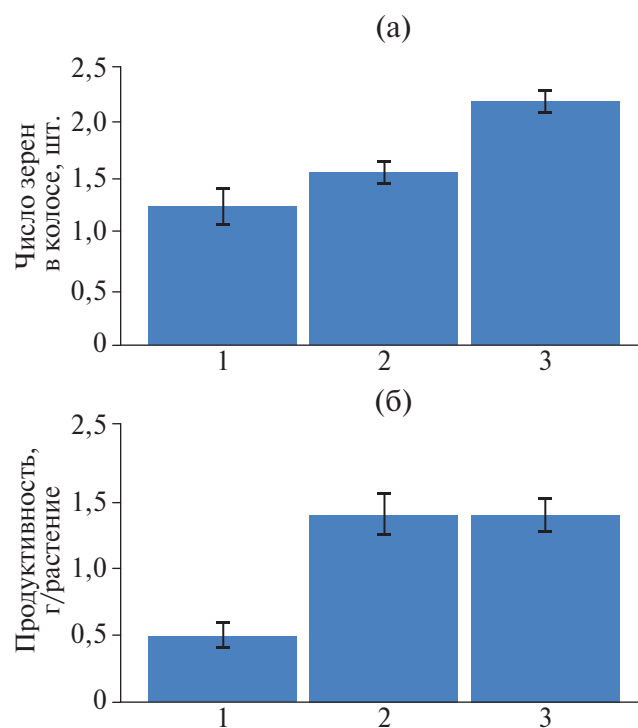


**Рис. 3.** Число зерен в колосе (а) и продуктивная кустистость (б) сорта Ленинградская 6 при предпосевной обработке семян смесью хитозана и глиоксала при различных концентрациях исходных компонентов

**Fig. 3.** Number of grains per ear (a) and productive bushiness (б) of the Leningradskaya 6 variety during pre-sowing seed treatment with a mixture of chitosan and glyoxal at various concentrations of the initial components

На рис. 4 обобщены данные, отражающие изменение продуктивности пшеницы сорта Ленинградская 6 при использовании для предпосевной обработки семян хитозана и хитозана совместно с глиоксалем по сравнению с контролем. Существенных различий между указанными вариантами опыта по продуктивности растений выявлено не было. Однако они были отмечены по отдельным фитометрическим показателям. В частности, при обработке семян хитозаном с глиоксалем выявлен статистически достоверный рост при  $P < 0,05$  продуктивной кустистости (рис. 4 а) и массы корней — на 74,9 % и 126,5 % соответственно. Рост массы корней (в контрольном варианте опыта —  $0,4 \pm 0,1$  г, при предпосевной обработке хитозаном с глиокса-

лем —  $0,9 \pm 0,2$  г), в основном, был связан с увеличением длины узловых корней — на 22,5 %. Длина корней в контрольном варианте опыта —  $36,2 \pm 4,8$  мм, при предпосевной обработке хитозаном с глиоксалем —  $44,3 \pm 4,0$  мм. При использовании хитозана с глиоксалем для обработки семян наблюдался рост (при  $P > 0,05$ ) числа колосков в колосе на 11,3 %, числа зерен в колосе на 13,0 %, массы зерен одного колоса на 15,0 %, массы 1000 зерен на 3,8 %, массы зерен в колоске колоса на 3,1 %. Однако при использовании хитозана с глиоксалем отмечено (при  $P < 0,05$ ) уменьшение числа и длины первичных корней на 48,9 % и 39,7 %, общей кустистости на 42,7 %, массы вегетативной части растений на 67,7 %, и увеличение (при  $P > 0,05$ ) числа пустых колосков в колосе (на 16,8 %). Продуктивность пшеницы как при обработке семян хитозаном, так и при использовании хитозана с глиоксалем существенно увеличилась — в среднем на 188,4 % и 188,6 % соответственно (рис. 4 б).



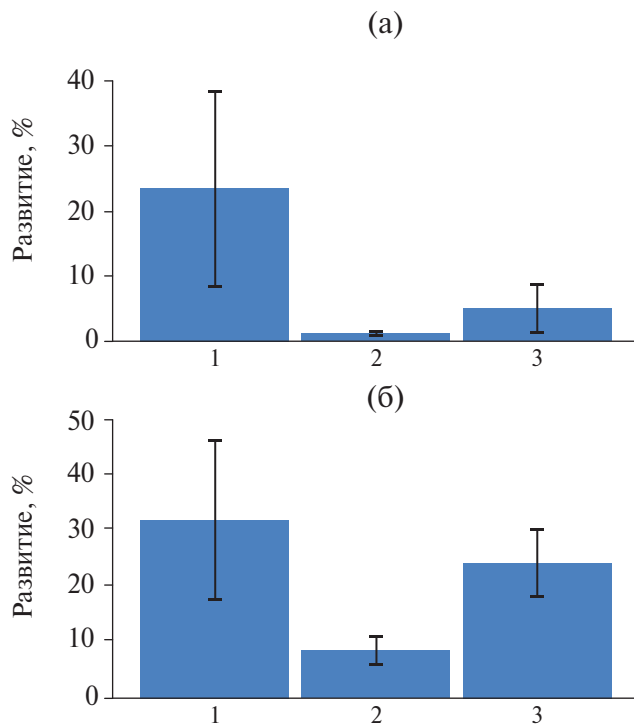
**Рис. 4.** Продуктивность (а) и продуктивная кустистость (б) сорта Ленинградская 6 в вариантах опыта: 1 — Контроль; 2 — Хитозан без глиоксала; 3 — Хитозан с глиоксалем

**Fig. 4.** Productivity (a) and productive tillering (б) of the Leningradskaya 6 variety in the experimental variants: 1 — Control; 2 — Chitosan without glyoxal; 3 — Chitosan with glyoxal

На сорте Ленинградская 6 использование для предпосевной обработки семян смеси хитозана с глиоксалем по сравнению с использованием только хитозана определяло рост продуктивности расте-

ний (при  $P < 0,05$ ) в вариантах опыта: 5 %-ный хитозан — с 1,1 до 1,2 г/растение и 6 %-ный хитозан — с 1,3 до 2,1 г/растение.

Как следует из данных рис. 5 а, предпосевная обработка семян хитозаном и хитозаном с глиоксалем сорта Ленинградская 6 приводила к снижению развития мучнистой росы на 22,3 % существенное при  $P < 0,05$ , БЭ=95,7 % и 18,4 % несущественное при  $P > 0,05$ , БЭ=79,2 % соответственно. В указанных вариантах опыта отмечена тенденция при  $P > 0,05$  снижения развития септориоза — на 15,0 % и 11,7 %, желтой ржавчины — на 7,3 % и 9,0 % (рис. 5 б), корневой гнили — на 3,6 % и 1,0 % соответственно. Также в вариантах опыта с использованием хитозана и хитозана с глиоксалем не выявлено симптомов повреждения листьев личинками пяденицы обыкновенной (в контроле  $R_{\text{п}} = 16,7 \pm 4,4$  %).



**Рис. 5.** Развитие мучнистой росы (а) и желтой ржавчины (б) на сорте Ленинградская 6 в вариантах опыта: 1 — Контроль; 2 — Хитозан без глиоксаля; 3 — Хитозан с глиоксалем

**Fig. 5.** Development of powdery mildew (a) and yellow rust (b) on the Leningradskaya 6 variety in the experimental variants: 1 — Control; 2 — Chitosan without glyoxal; 3 — Chitosan with glyoxal

Наблюдаемое отсутствие повреждений от пяденицы обыкновенной при обработке семян хитозаном и хитозаном с глиоксалем, на фоне снижения пораженности растений болезнями, может быть связано с механизмами системной приобретенной устойчивости. Она может влиять на синтез фитоалексинов, усиление лигнификации и укрепление клеточных

стенок, создающих физический барьер не только для проникновения фитопатогенных микромицетов, но и для ротового аппарата личинок пяденицы, которым они соскабливают паренхиму листа; на активацию патоген-родственных PR-белков, в том числе хитиназ и глюконаз, которые разрушают клеточные стенки грибов и хитиновые покровы насекомых. Хитозан и его производные могут придавать поверхности листьев или их соку специфические химические характеристики (например, изменять pH или выделять летучие вещества), которые неприятны или отпугивают пяденицу обыкновенную при откладке яиц или ее личинок при питании.

Продуктивность сорта Дарья в среднем, наоборот, была больше при предпосевной обработке семян хитозаном без использования глиоксаля ( $Y_{\text{п}} = 1,8 \pm 0,1$  г/растение, изменение к контролю 78,4 %), чем при их совместном применении ( $Y_{\text{п}} = 1,5 \pm 0,2$  г/растение, изменение к контролю 49,8 %). По сравнению с контролем обработка семян только хитозаном обуславливала увеличение числа первичных корней на 107,3 % («хитозан с глиоксалем» — на 94,7 %), длины первичных корней на 53,1 % («хитозан с глиоксалем» — на 38,2 %), узловых корней на 40,1 % («хитозан с глиоксалем» — на 20,6 %), длины узловых корней на 65,5 % («хитозан с глиоксалем» — на 32,7 %), продуктивной кустистости на 53,3 % («хитозан с глиоксалем» — на 16,5 %), общей кустистости на 61,8 % («хитозан с глиоксалем» — на 38,9 %). Совместная обработка семян растений сорта Дарья раствором хитозана с их последующим покрытием глиоксалем по сравнению с использованием только хитозана приводила к увеличению продуктивности растений при использовании 6 % хитозана — с 1,5 до 2,5 г/растение.

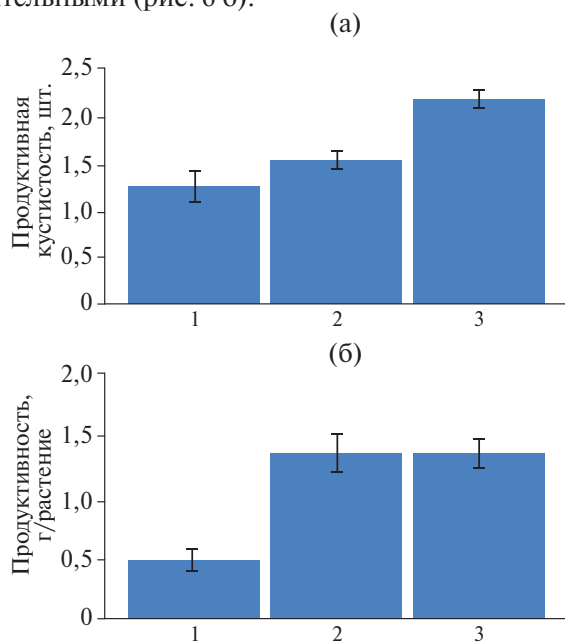
Наилучшие фитометрические характеристики посева и высокая продуктивность сорта Дарья при использовании для обработки семян только хитозана, возможно, были связаны с существенно меньшей поражаемостью растений желтой ржавчиной по сравнению с контролем — на 23,4 %, БЭ = 74,5 % («хитозан с глиоксалем» — на 7,5 %, БЭ=23,9 %) и отсутствием повреждения листьев растений личинками пяденицы обыкновенной («хитозан с глиоксалем» — повреждение листьев 12,5 %). Развитие септориоза в указанных вариантах опыта было больше, чем в контроле, но особенно сильно болезнью поражались листья при обработке семян хитозаном с глиоксалем (увеличение составило 22,5 %). Также отмечено сильное поражение растений корневой гнилью в вариантах «хитозан без глиоксаля»:  $R_{\text{г}} = 55,8 \pm 10,1$  % и «хитозан с глиоксалем»:  $R_{\text{г}} = 55,6 \pm 5,9$  %, в контроле —  $R_{\text{г}} = 48,1 \pm 9,1$  %.

Применение только элиситоров иногда бывает неэффективно и часто зависит от отзывчивости к ним определенных генотипов (сортов) растений. Идеальная стратегия — интегрированная: со-

вместное использование хитозана с различными биологически активными веществами и при необходимости селективных фунгициды (протравители) против специфических патогенов, в данном случае, против септориоза и корневой гнили.

Различия в пораженности сорта Дарья разными возбудителями болезней можно объяснить тем, что глиоксаль, судя по всему, модифицировал действие хитозана, несколько снижая его эффективность против желтой ржавчины, но резко усиливая негативный эффект в отношении септориоза и корневой гнили.

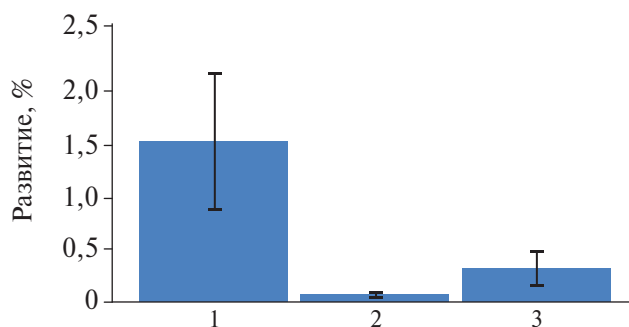
Использование для обработки семян раствора глиоксаля с хитозаном (способ 2) приводило к увеличению большего числа фитометрических характеристик пшеницы сорта Ленинградская 6, чем при применении способа I, по сравнению с контролем (при  $P < 0,05$ ). Увеличивались продуктивная кустистость на 74,9 % (рис. 6 а), число колосков в колосе (28,1 %), масса корней (126,5 %); при  $P > 0,05$  число узловых корней (22,5 %), число зерен в колосе (13,0 %), масса зерен колоса (15,0 %), масса 1000 зерен (3,8 %), масса зерен в колоске колоса (3,1 %). Продуктивность пшеницы существенно увеличивалась как при способе I обработки на 188,4 %, так и при способе II обработки на 188,6 %, при этом различия между вариантами были незначительными (рис. 6 б).



**Рис. 6.** Продуктивная кустистость (а) и продуктивность (б) сорта Ленинградская 6 при разных способах обработки семян хитозаном с глиоксалем: 1 — Контроль; 2 — Первый способ обработки; 3 — Второй способ обработки

**Fig. 6.** Productive tillering (a) and productivity (b) of the Leningradskaya 6 variety with different methods of seed treatment with chitosan and glyoxal: 1 — Control; 2 — First treatment method; 3 — Second treatment method

В отношении болезней пшеницы наиболее эффективен был способ I обработки семян. По сравнению с контролем (при  $P < 0,05$ ) снижалось развитие мучнистой росы на 22,3 %, БЭ=95,7 %, при способе II на 18,4 %, (рис. 7), число пятен с налетом мучнистой росы — на 86,1 % (II способ — на 47,3 %); при  $P > 0,05$  уменьшалось развитие септориоза — на 15,0 % (II способ — на 11,7 %), желтой ржавчины на 7,3 % (II способ — на 9,0 %), длина полосы желтой ржавчины на 14,4 % (II способ — на 5,1 %). Отмечена тенденция снижения развития корневой гнили при I способе обработки семян (при  $P > 0,05$ ) на 3,6 %, при способе II — на 1,0 %.



**Рис. 7.** Пораженность пшеницы сорта Ленинградская 6 возбудителем мучнистой росы при разных способах обработки семян хитозаном с глиоксалем: 1 — Контроль; 2 — Первый способ обработки; 3 — Второй способ обработки

**Fig. 7.** Infection of Leningradskaya 6 wheat variety by powdery mildew pathogen with different methods of seed treatment with chitosan and glyoxal: 1 — Control; 2 — First treatment method; 3 — Second treatment method

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение хитозана без глиоксаля приводило к значительному увеличению продуктивности растений по сравнению с контролем: сорта Дарья на 73,9 %, сорта Ленинградская 6 на 196,1 %, а также к оздоровлению фитосанитарного состояния посевов. Наблюдалась тенденция роста продуктивности пшеницы с увеличением доли хитозана, особенно выраженная у сорта Ленинградская 6. Наибольшее значение продуктивности у сорта Дарья отмечено при использовании для обработки семян 5%-ного хитозана, у сорта Ленинградская 6 — 7%-ного. Обработка семян пшеницы хитозаном с глиоксалем оказывала большее влияние на фитометрические характеристики посевов сортов Дарья и Ленинградская 6, а использование только хитозана — на фитопатологические показатели развития болезней. Наибольшей отзывчивостью на применение хитозана с глиоксалем отличался сорт Ленинградская 6. При этом продуктивность пшеницы существенно увеличивалась как при I способе обработки (на 188,4 %), так и при II способе

обработки (на 188,6 %). Обработка семян способом I, при котором семена сначала помещали в раствор хитозана, высушивали, затем помещали в 40 % раствор глиоксаля, была наиболее эффективной в подавлении возбудителей болезней пшеницы. При таком способе обработки семян особенно сильно снижалась пораженность сорта Ленинградская 6 мучнистой росой (БЭ=95,7 %). Таким образом, обработка семян хитозаном, особенно в комбинации с глиоксалем, была перспективным способом повышения урожайности пшеницы и снижения ее поражаемости возбудителями болезней растений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Новикова И.И., Колесников Л.Е., Попова Э.В. и др.* Биологическая эффективность полифункциональных комплексов на основе штаммов *Bacillus subtilis* и салицилата хитозана при возделывании пшеницы // Прикл. биохимия и микробиология. 2024. Т. 60. № 2, С. 205–218.  
<https://doi.org/10.31857/S0555109922030102>
2. *Павлюшин В.А., Постовалов А.А.* Приемы фитосанитарной оптимизации агробиоценозов кормовых культур в Зауралье // Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 1 (45). С. 13–22.
3. *Попова Э.В., Коваленко Н.М., Тюттерев С.Л. и др.* Биологическая активность хитозана с разной молекулярной массой // Вестник защиты растений. 2017. №3 (93). С. 28–33.
4. *Рябчинская Т.А., Зимина Т.В.* Средства, регулирующие рост и развитие растений, в агротехнологиях современного растениеводства // Агрехимия. 2017. № 12. С. 62–92.  
<https://doi.org/10.7868/S0002188117120092>
5. *Серикбаев Р.Е.* Изучение спороцидных и микобактерицидных свойств глиоксаля // Аграрный вестник Урала. 2013. № 7 (113). С. 22–23.
6. *Шатилова Т.И., Герчиу Я.П., Бобков А.А. и др.* Препараты фиторегуляторов в производстве и формировании качества зерновых культур // Известия ТСХА. 2007. № 3. С. 75–82.
7. *Acamovic T., Brooker J.D.* Biochemistry of plant secondary metabolites and their effects in animals // Proc. Nutr. Soc. 2005. V. 64. P. 403–412.  
<https://doi.org/10.1079/PNS2005449>
8. *Bistgani Z.E., Siadat S.A., Bakhshandeh A., Pirbalouti A.G., Hashemi M.* Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of *Thymus daenensis* Celak // The Crop Journal. 2017. V. 5. № 5. P. 407–415.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cj.2017.04.003>
9. *Bittelli M., Flury M., Campbell G.S., Nichols E.J.* Reduction of Transpiration Through Foliar Application of Chitosan // Agricultural and Forest Meteorology. 2001. V. 107. № 3. P. 167–175.
10. *El-Bassiouny H.M.S., Abdallah M.M.S., Al-Ashkar N.M., Bakry B.A.* Potential impacts of chitosan on growth, yield, endogenous phytohormones, and antioxidants of wheat plant grown under sandy soil condition // Agronomy Research. 2023. № 21 (1), P. 39–61.  
<https://doi.org/10.15159/AR.23.020>
11. *Favaro R., Berka M., Pettersson M. et al.* The use of volatile organic compounds in preventing and managing invasive plant pests and pathogens // Front.Hortic. 2024. 3:1379997.  
<https://doi.org/10.3389/fhort.2024.1379997>
12. *Guan Y., Hu J., Wang X., Shao C.* Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress // Journal of Zhejiang University Science B. 2009. V. 10. P. 427–433.
13. *Karamchandani B. M., Chakraborty S., Dalvi S. G., Satpute S. K.* Chitosan and its derivatives: Promising biomaterial in averting fungal diseases of sugarcane and other crops // Journal of Basic Microbiology. 2022. V. 62. № 5. P. 533–554.  
<https://doi.org/10.1002/jobm.202100613>
14. *Khaptsev Z., Lugovitskaya T., Shipovskaya A., Shipenok K.* Biological activity of chitosan aspartate and its effect on germination of test seeds // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2021. V. 723. № 2. P. 022074.  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022074>
15. *Kocięcka J., Liberacki D.* The Potential of Using Chitosan on Cereal Crops in the Face of Climate Change // Plants. 2021. V. 10. № 6. P. 1160.  
<https://doi.org/10.3390/plants10061160>

16. Kolesnikov L.E., Radishevsky D.Yu., Novikova I.I., Popova E.V., Kolesnikova Yu.R. Biological rationale for the use of polyfunctional biological products based on antagonist microbes and chitosan in wheat cultivation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. V. 852. № 1. P. 012048. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012048>
17. Lárez-Velásquez C., Rojas-Avelizapa L. A Review on the physicochemical and biological aspects of the chitosan antifungal activity in agricultural applications // Journal of Research. 2020. V. 9, P. 70–79. <https://doi.org/10.6000/1929-5995.2020.09.07>
18. Matsuura T., Mori I.C., Himi E., Hirayama T. Plant hormone profiling in developing seeds of common wheat (*Triticum aestivum* L.) // Breeding Science 2019. V. 69. P. 601–610. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.19030>
19. Michalik R., Wandzik I. Mini-Review on Chitosan-Based Hydrogels with Potential for Sustainable Agricultural Application // Polymers. 2020. V. 12. № 10. P. 2425. <https://doi.org/10.3390/polym12102425>
20. Mounni M., Brodal G., Romanazzi G. Recent innovative seed treatment methods in the management of seedborne pathogen // Food Security. 2023. V. 15. № 5. P. 1365–1382. <https://doi.org/10.1007/s12571-023-01384-2>
21. Novikova I.I., Kolesnikov L.E., Popova E.V. et al. The biological efficiencies of multifunctional complexes based on bacillus subtilis strains and chitosan salicylate in wheat cultivation // Appl. Biochem. and Microbiol. 2024. V. 60. № 2. P. 205–218. <https://doi.org/10.31857/S0555109924020109>
22. Rezyakova S.V., Eremin L.P., Tarakin A.V., Danilov S. Yu., Tarakina V.Yu. Biological protection of winter wheat against fungal diseases // IOP Conf. Series: Earth and Environ. Sci. 2022. P. 012021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1010/1/012021>
23. Singh M., Poddar N.K., Singh D. Agrawal. S. Foliar application of elicitors enhanced the yield of withanolide contents in *Withania somnifera* (L.) Dunal (variety. Poshita) // 3 Biotech. 2020. V. 10. P. 1–8. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-2153-2>
24. Suarez-Fernandez M., Marhuenda-Egea F.C., Lopez-Moya F. et al. Chitosan Induces Plant Hormones and Defenses in Tomato Root Exudates // Front. Plant Sci. 2020. V. 11. P. 572087. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.572087>
25. Sun D., Liang G., Xie J., Lei X., Mo Y. Improved preservation effects of litchi fruit by combining chitosan coating with ascorbic acid treatment during postharvest storage // African Journal of Biotechnology. 2010. V. 9. № 22. P. 3272–3279.

#### REFERENCES

1. Novikova I.I., Kolesnikov L.E., Popova E.V. et al. *Biological efficiency of multifunctional complexes based on Bacillus subtilis strains and chitosan salicylate in wheat cultivation*. Applied Biochemistry and Microbiology. 2024. Vol. 60. No. 2. P. 205–218. (In Russ.) <https://doi.org/S0555109922030102>
2. Pavlyushin V.A., Postovalov A.A. *Phytosanitary optimization techniques for forage crop agrobiocenoses in the Trans-Urals*. Vestn. Kurgan. GSKhA, 2023. № 1 (45). P. 13–22. (In Russ.)
3. Popova E.V., Kovalenko N.M., Tyuterev S.L. et al. *Biological activity of chitosan with different molecular weights*. Plant Protection Bulletin. 2017. No. 3 (93). P. 28–33. (In Russ.)
4. Ryabchinskaya T.A., Zimina T.V. *Means regulating plant growth and development in agricultural technologies of modern crop production*. Agrochemistry. 2017. No. 12. P. 62–92. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0002188117120092>
5. Serikbaev R.E. *Study of sporicidal and mycobactericidal properties of glyoxal*. Agrarian Bulletin of the Urals. 2013. No. 7 (113). P. 22–23. (In Russ.)
6. Shatilova T.I., Gerchiu Ya.P., Bobkov A.A. et al. *Phytoregulators in the production and formation of the quality of grain crops*. Bulletin of the Timiryazev Agricultural Academy. 2007. No. 3. P. 75–82 (In Russ.).
7. Acamovic T., Brooker J.D. *Biochemistry of plant secondary metabolites and their effects in animals*. Proc. Nutr. Soc. 2005. V. 64. P. 403–412. <https://doi.org/10.1079/PNS2005449>
8. Bistgani Z.E., Siadat S.A., Bakhshandeh A., Pirbalouti A.G., Hashemi M. *Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of Thymus daenensis Celak*. The Crop Journal. 2017. T. 5. № 5. C. 407–415. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cj.2017.04.003>
9. Bittelli M., Flury M., Campbell G.S., Nichols E.J. *Reduction of Transpiration Through Foliar Application of Chitosan*. Agricultural and Forest Meteorology. 2001. V. 107. № 3. P. 167–175.

10. El-Bassiouny H.M.S., Abdallah M.M.S., Al-Ashkar N.M., Bakry B.A. *Potential impacts of chitosan on growth, yield, endogenous phytohormones, and antioxidants of wheat plant grown under sandy soil condition*. Agronomy Research. 2023. № 21 (1), P. 39–61. <https://doi.org/10.15159/AR.23.020>
11. Favaro R., Berka M., Pettersson M. et al. *The use of volatile organic compounds in preventing and managing invasive plant pests and pathogens*. Front.Hortic. 2024. 3:1379997. <https://doi.org/10.3389/fhort.2024.1379997>
12. Guan Y., Hu J., Wang X., Shao C. *Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress*. Journal of Zhejiang University Science B. 2009. V. 10. P. 427–433.
13. Karamchandani B. M., Chakraborty S., Dalvi S. G., Satpute S. K. *Chitosan and its derivatives: Promising biomaterial in averting fungal diseases of sugarcane and other crops*. Journal of Basic Microbiology. 2022. V. 62. № 5. P. 533–554. <https://doi.org/10.1002/jobm.202100613>
14. Khaptsev Z., Lugovitskaya T., Shipovskaya A., Shipenok K. *Biological activity of chitosan aspartate and its effect on germination of test seeds*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2021. V. 723. № 2. P. 022074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022074>
15. Kocięcka J., Liberacki D. *The Potential of Using Chitosan on Cereal Crops in the Face of Climate Change*. Plants. 2021. V. 10. №. 6. P. 1160. <https://doi.org/10.3390/plants10061160>
16. Kolesnikov L.E., Radishevsky D.Yu., Novikova I.I., Popova E.V., Kolesnikova Yu.R. *Biological rationale for the use of polyfunctional biological products based on antagonist microbes and chitosan in wheat cultivation*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. V. 852. № 1. P. 012048. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012048>
17. Lárez-Velásquez C., Rojas-Avelizapa L.A. *Review on the physicochemical and biological aspects of the chitosan antifungal activity in agricultural applications*. Journal of Research. 2020. V. 9, P. 70–79. <https://doi.org/10.6000/1929-5995.2020.09.07>
18. Matsuura T., Mori I.C., Himi E., Hirayama T. *Plant hormone profiling in developing seeds of common wheat (Triticum aestivum L.)*. Breeding Science 2019. V. 69. P. 601–610. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.19030>
19. Michalik R., Wandzik I. *Mini-Review on Chitosan-Based Hydrogels with Potential for Sustainable Agricultural Application*. Polymers. 2020. V. 12. № 10. P. 2425. <https://doi.org/10.3390/polym12102425>
20. Moumni M., Brodal G., Romanazzi G. *Recent innovative seed treatment methods in the management of seedborne pathogen*. Food Security. 2023. V. 15. № 5. P. 1365–1382. <https://doi.org/10.1007/s12571-023-01384-2>
21. Novikova I.I., Kolesnikov L.E., Popova E.V. et al. *The biological efficiencies of multifunctional complexes based on bacillus subtilis strains and chitosan salicylate in wheat cultivation*. Appl/ Biochem. and Microbiol. 2024. V. 60. № 2. P. 205–218. <https://doi.org/10.31857/S0555109924020109>
22. Rezvyakova S.V., Eremin L.P., Tarakin A.V., Danilov S.Yu., Tarakina V.Yu. *Biological protection of winter wheat against fungal diseases*. IOP Conf. Series: Earth and Environ. Sci. 2022. P. 012021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1010/1/012021>
23. Singh M., Poddar N.K., Singh D., Agrawal S. *Foliar application of elicitors enhanced the yield of withanolide contents in Withania somnifera (L.) Dunal (variety. Poshita)*. 3 Biotech. 2020. V. 10. P. 1–8. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-2153-2>
24. Suarez-Fernandez M., Marhuenda-Egea F.C., Lopez-Moya F. et al. *Chitosan Induces Plant Hormones and Defenses in Tomato Root Exudates*. Front. Plant Sci. 2020. V. 11. P. 572087. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.572087>
25. Sun D., Liang G., Xie J., Lei X., Mo Y. *Improved preservation effects of litchi fruit by combining chitosan coating with ascorbic acid treatment during postharvest storage*. African Journal of Biotechnology. 2010. V. 9. № 22. P. 3272–3279.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Успенская Майя Валерьевна — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры медицинской химии, Институт Химии, СПбГУ, Санкт-Петербург, Российская Федерация  
 E-mail: mv\_uspenskaya@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-2510-2639>

ABOUT THE AUTHORS

Uspenskaya, Maya V. — Ph.D. (Engineering), Professor, Professor in the Department of Medicinal Chemistry, Institute of Chemistry, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russian Federation  
 E-mail: mv\_uspenskaya@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-2510-2639>

Фокина Мария Ивановна — кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры лазерной химии и лазерного материаловедения СПбГУ, доцент Центра химической инженерии Университета ИТМО, Санкт-Петербург, Российская Федерация

E-mail: mfokina@niuitmo.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7927-2732>

Колесников Леонид Евгеньевич — доктор биологических наук, доцент, зав. кафедрой Защиты и карантина растений СПбГАУ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

E-mail: kleon9@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3765-1192>

Фатеев Арсений Дмитриевич — аспирант, ассистент Центра химической инженерии Университета ИТМО, Санкт-Петербург, Российская Федерация

E-mail: fateev.arseny@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5910-0741>

Колесникова Юлия Рудольфовна — научный сотрудник ВИР, Санкт-Петербург, Российская Федерация

E-mail: jusab@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4002-220X>

Радишевский Дмитрий Юрьевич — аспирант СПбГАУ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

E-mail: dimaradi@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3324-459X>

Fokina, Mariia I. — Cand. Sc. (Physics and Mathematics), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Laser Chemistry and Laser Materials Science, St. Petersburg State University, Associate Professor in Center for Chemical Engineering, ITMO University, St. Petersburg, Russian Federation

E-mail: mfokina@niuitmo.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7927-2732>

Kolesnikov, Leonid E. — Ph.D. (Biology), Associate Professor, Head of the Department of Plant Protection and Quarantine, St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russian Federation

E-mail: kleon9@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3765-1192>

Fateev, Arseny D. — Postgraduate, Assistant in Center for Chemical Engineering, ITMO University, St. Petersburg, Russian Federation

E-mail: fateev.arseny@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5910-0741>

Kolesnikova, Yulia R. — Research Officer, VIR, St. Petersburg, Russian Federation

E-mail: jusab@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4002-220X>

Radishevsky, Dmitry Yu. — Postgraduate, St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russian Federation

E-mail: dimaradi@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3324-459X>

Поступила в редакцию 29.05.2025

После доработки 11.09.2025

Принята к публикации 20.12.2025

Received May 29, 2025

Revised September 11, 2025

Accepted December 20, 2025