

Научная статья

УДК 547.99 + 632.934.1

DOI: 10.15372/ChUR2025654

EDN: TIYMFU

## Биологическое обоснование применения Новохизоля с природными фунгицидами при возделывании мягкой пшеницы

С. В. БУРЛАКОВА<sup>1</sup> , М. Т. ЕГОРЫЧЕВА<sup>1</sup>, В. В. ФОМЕНКО<sup>2</sup>, Н. Ф. САЛАХУТДИНОВ<sup>2</sup>, А. Б. ЩЕРБАНЬ<sup>3</sup><sup>1</sup>Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Краснообск, Новосибирская область, Россия<sup>2</sup>Новосибирский институт органической химии им. Н. Н. Ворожцова СО РАН, Новосибирск, Россия<sup>3</sup>Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, РоссияE-mail: burlackovasweta@yandex.ru<sup>✉</sup>, ms.egory2@mail.ru, chemistnsk@yandex.ru, anvar@nioch.nsc.ru, atos@bionet.nsk.ru

### Аннотация

На основе водного раствора Новохизоля с добавлением экстракта коры сосны сибирской (ЭКСС) и усниновой кислоты (УК) – вещества, выделенного из лишайников рода *Usnea* – созданы новые эффективные препараты широкого спектра действия. Проведена оптимизация методик экстракции фунгицидов из растительного сырья для уменьшения затрат и получения чистых экстрактов в количестве, достаточном для создания комплексных препаратов. В ходе полевых экспериментов, выполненных в 2022–2023 гг. в Новосибирской области, изучено влияние обработки семян формами Новохизоля с добавлением ЭКСС и УК на развитие корневой гнили и листовых болезней, на ростовые процессы и урожайность яровой пшеницы Новосибирская 31. Применение в качестве регулятора роста комплекса Новохизол + УК способствовало снижению корневой гнили в фазе кущения и молочно-восковой спелости на 53.3 и 41.6 %, а комплекса Новохизол + ЭКСС – на 25.0 и 37.0 % соответственно. При использовании протравителя семян Дивиденд Экстрим аналогичные показатели составили 70.0 и 28.6 % соответственно. Вышеуказанные препараты Новохизол + УК, Новохизол + ЭКСС и Дивиденд Экстрим проявляли эффективность против септориоза, которая составила 65.0, 66.7 и 67.7 % соответственно. Обработка семян оказывала положительное ростостимулирующее влияние на такие параметры, как формирование ростков, кустистость, накопление биомассы, густоту стояния растений, высоту и площадь флагового листа, достоверно улучшала показатели структуры колоса. При этом более выражено проявилось воздействие формы Новохизоля с добавлением УК. Обработки семян обеспечили дополнительный урожай относительно контроля (2.7 т/га) на уровне 0.3 т/га при использовании композиции Новохизоля + УК и 0.2 т/га при применении композиции Новохизоля + ЭКСС или фунгицида Дивиденд Экстрим.

**Ключевые слова:** мягкая пшеница, биопрепараты, протравливание семян, корневая гниль, площадь листьев, биомасса, строение колоса, урожайность

**Финансирование:** разработка методик выделения и анализа биологически активных веществ, их наработка в необходимых количествах, а также получение препаратов на основе Новохизоля выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-16-00119. Полевые эксперименты проводили по государственной тематике СФНЦА РАН в рамках проекта № 0533-2021-0005.

**Благодарности:** авторы выражают благодарность коллективу отдела защиты растений СФНЦА РАН за личный вклад в профессиональную работу – руководителю Н. Г. Власенко и сотрудникам М. Т. Егорычевой, Н. И. Семеновой, П. И. Кудашкину, О. В. Кулагину, Т. В. Бердниковой, И. А. Ивановой, О. И. Тепляковой.

**Для цитирования:** Бурлакова С. В., Егорычева М. Т., Фоменко В. В., Салахутдинов Н. Ф., Щербань А. Б. Биологическое обоснование применения Новохизоля с природными фунгицидами при возделывании мягкой пшеницы // Химия в интересах устойчивого развития. 2025. Т. 33, № 3. С. 303–314. DOI: 10.15372/KhUR2025654. EDN: TIYMFU.

Original article

## Biological rationale for the use of Novochizol with natural fungicides in the cultivation of spring soft wheat

S. V. BURLAKOVA<sup>1</sup> ✉, M. T. EGORYCHEVA<sup>1</sup>, V. V. FOMENKO<sup>2</sup>, N. F. SALAKHUTDINOV<sup>2</sup>, A. B. SHCHERBAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies, Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia

<sup>2</sup>N. N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

<sup>3</sup>Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

E-mail: burlackovasweta@yandex.ru✉, ms.egory2@mail.ru, chemistnsk@yandex.ru, anvar@nioch.nsc.ru, atos@bionet.nsk.ru

### Abstract

New efficient broad-spectrum preparations have been developed on the basis of the aqueous solution of Novochizol with the addition of Siberian pine bark extract (SPE) and usnic acid (UA), the substance isolated from the *Usnea* lichen genus. Optimisation of the procedures for fungicide extraction from plant raw materials has been carried out to reduce costs and obtain pure extracts in quantities sufficient to make complex preparations. During field experiments conducted in 2022–2023 in the Novosibirsk Region, we studied the effect of seed treatment with Novochizol forms with the addition of SPE and UA on the development of root rot and leaf diseases, growth processes and yield of spring wheat Novosibirskaya 31. The use of Novochizol + UA complex as the growth regulator contributed to the reduction of root rot in the phases of tillering and milky-wax ripeness by 53.3 and 41.6 %, and Novochizol + SPE complex by 25.0 and 37.0 %, respectively. When using the seed protectant Dividend Extreme, the corresponding indicators were 70.0 and 28.6 %, respectively. The above-mentioned Novochizol + UA, Novochizol + SPE complexes and the Dividend Extreme preparation showed effectiveness against septoria, which was 65.0, 66.7 and 67.7 %, respectively. Seed treatment had a positive growth-stimulating effect on such parameters as sprout formation, tillering, biomass accumulation, plant density, height and area of the flag leaf, and significantly improved ear structure indicators. The effect of the form of Novochizol with the addition of UA was more pronounced. Seed treatment provided an additional yield relative to the control (2.7 t/ha) at the level of 0.3 t/ha when using Novochizol + UA and 0.2 t/ha when using Novochizol + SPE or the fungicide Dividend Extreme.

**Keywords:** soft spring wheat, biopreparations, seed dressing, root rot, leaf area, biomass, ear structure, crop yield

### ВВЕДЕНИЕ

Одна из причин снижения продуктивности яровой пшеницы и качества зерновой продукции заключается в зараженности семенного материала и посевов пшеницы, вызванной грибами-возбудителями, которые распространены в том числе и в Западной Сибири: *Fusarium* spp.,

*Helminthosporium* spp., *Parastagonospora* spp., плесневыми грибами *Alternaria* spp. и др. Это приносит значительный экономический ущерб в виде потерь 15–60 % урожая. Обязательными приемами защиты служат протравливание семян и обработка посевов пестицидами. Однако периодическое появление более агрессивных рас патогенов обуславливает необходимость со-

здания новых, устойчивых к ним сортов растений и разработки эффективных средств защиты [1]. В настоящее время рациональное земледелие предусматривает снижение экологической нагрузки химическими пестицидами за счет внедрения нового класса средств защиты растений – биопестицидов, обладающих регуляторной активностью сигнального типа (элиситорным действием) и имеющих повышенную токсикологическую и экологическую безопасность [2]. В частности, стало перспективным применение препаратов на основе производного хитина (хитозана), повышающих устойчивость растений к грибным, бактериальным и вирусным болезням [3, 4].

Для усиления биологической эффективности хитозан сочетают с различными биологически активными веществами (БАВ) природного происхождения, такими как: сухой экстракт корневых солодки, экстракт коры сосны, усниновая, салициловая кислоты и др. Данные вещества имеют широкий спектр активности и высокую эффективность против различных патогенов [5]. Комплексные препараты хитозана с БАВ успешно применяются для обработки семян и посевов против заболеваний различной этиологии. Основные достоинства таких препаратов: экологичность, безопасность для человека и окружающей среды, ростостимулирующее воздействие, использование на любой стадии развития растений [6–11]. Также они обладают высоким антистрессовым эффектом как против биотических, так и абиотических факторов. При грамотном использовании (системные обработки, своевременное применение и др.) эти средства обеспечивают высокие урожаи и качество зерна [12]. Спектр препаратов на основе хитозана достаточно обширен и включает такие средства, как Хитозар (разработка Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений против мучнистой росы и фузариоза колоса пшеницы), Агрехит, Хитофос, Цитохит, Фитохит-Т (против ржавчины), Амулет [13, 14]. Недостатком является их разная эффективность, которая сильно зависит от фитосанитарной обстановки и почвенно-климатических условий [15, 16]. Различия в эффективности могут обуславливаться химическими свойствами хитозана как носителя БАВ, в частности его пониженной растворимостью в почве или водном растворе, ограниченной способностью образовывать устойчивые комплексы с БАВ [14].

Недавно было получено новейшее производное хитозана – Новохизол, имеющее целый

ряд преимуществ: повышенную химическую стабильность, растворимость и адгезию, низкую степень биodeградации ([www.novochizol.ch](http://www.novochizol.ch)). Новохизол в составе своих молекул-глобул может эффективно удерживать различные активные вещества и медленно высвобождать их, что обеспечивает значительное уменьшение концентраций последних и, соответственно, снижение их негативного влияния на экосистемы и человека. Ранее было показано ростостимулирующее действие Новохизоля *per se* на проростки мягкой пшеницы [17]. Однако действие Новохизоля на возбудителей различных болезней растений практически не изучено. Также, несмотря на потенциальную возможность создания комплексных композиций Новохизоля с БАВ, такие препараты пока не использовались в целях защиты культурных растений и повышения их продуктивности. По этой причине главная задача данной работы заключалась в создании эффективных комплексов Новохизоля с БАВ для их последующего тестирования на мягкой яровой пшенице (*Triticum aestivum* L.) в полевых условиях Новосибирской области. Для этого в первую очередь было необходимо провести выбор потенциально эффективных БАВ, способных образовывать комплексы с Новохизолом. Учитывая возможное практическое применение, мы сосредоточились на тех метаболитах, которые, с одной стороны, содержатся в существенном количестве в доступном в Западной и Восточной Сибири растительном сырье, а с другой – могут сравнительно легко из него экстрагироваться с небольшими финансовыми затратами. Ранее было показано, что усниновая кислота из лишайника уснея бородатая (*Usnea barbata*) и сумма стильбенов и их глюкозидов из сосны сибирской (*Pinus sibirica* R. Maур., кедровая сосна, сибирский кедр) имеют высокую биологическую активность против различных патогенов, включая бактерии, вирусы и грибы [18, 19].

В ходе исследования были разработаны и протестированы комплексные композиции Новохизоля с природными веществами фунгицидного действия: экстрактом коры сосны сибирской (ЭКСС) и усниновой кислотой (УК). В полевых условиях изучалось их биологическое воздействие в системе защиты яровой пшеницы от грибных болезней в условиях лесостепи Приобья, а также оценка их влияния на урожайность и качество зерна.

Цель работы – изучение возможности фитосанитарного оздоровления семенного материала и посевов яровой пшеницы в лесостепи Запад-

ной Сибири в отношении основных болезней с использованием новых препаратов растительного происхождения.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### Материалы

В работе использованы растворители: хлороформ (квалификация “х. ч.”), этанол (95 %, для медицинского применения), метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ, квалификация “ч.”), диоксан (квалификация “ч.”). Все растворители перегонялись перед применением. Хитозановые наносферы Новохизоля были предоставлены компанией NOVOCHIZOL SA (Monthey, Switzerland, www.novochizol.ch). Степень деацетилирования составляла не менее 90 %, молекулярная масса – 500 кДа.

### Методы исследования

Водные растворы Новохизоля получали следующим образом: 1000 мг янтарной кислоты (квалификация “ч.”) растворяли в 100 мл стерильной воды, в раствор постепенно добавляли 2000 мг Новохизоля под ультразвуковым воздействием на смесь в течение 1 ч, используя ультразвуковой аппарат модели УЗТА-0.4/22-ОМ (U-sonic, Россия) на максимальной мощности. Для компенсации испарения, вызванного длительным ультразвуковым воздействием на смесь, добавляли стерильную воду. Раствор стерилизовали в горячем виде фильтрованием с использованием апиrogenных ацетатцеллюлозных фильтров Minisart® 0.45 мкм (Sartorius Stedim Biotech, Германия), затем хранили при 4 °С.

Перед проведением экстракции кору сосны сибирской и растительные ткани лишайника высушивали и размалывали на электрической ножевой кофемолке VEVOR 350 г (материал, соприкасающийся с измельчаемым материалом, – нержавеющая сталь AISI 304, скорость вращения 25 000 об/мин, мощность 1800 Вт). Измельчение проводили до размера частиц не более 0.5 мм. Исследования методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) проводили с помощью микроколоночного жидкостного хроматографа “Милихром А-02” (Эко-Нова, Россия) с УФ-детектором и хроматографической колонкой 2 × 75 мм (Prontosil 120-5, C18, 5 мкм). В качестве элюента А использовался 0.01 % раствор трифторуксусной кислоты, в качестве элюента Б – ацетонитрил. Осуществляли градиентное элюирование (Б: 5–100 %),

скорость подачи элюента – 100 мкл/мин, объем анализируемой пробы – 2 мкл.

### Методика создания

#### комплексных препаратов Новохизоля с природными фунгицидами

Классическими методами выделения БАВ из растительного сырья являются экстракционные методы с применением органических растворителей (бензол, ацетон, гексан, этанол, петролейный эфир, хлороформ или их смеси) для увеличения выхода целевого продукта. В данной работе нами были модифицированы существующие методы экстракции для снижения затрат и получения достаточного выхода БАВ с высокой степенью чистоты, что является необходимым условием для создания эффективных комплексных препаратов на основе Новохизоля.

**Получение стильбенового экстракта из коры сосны сибирской (ЭКСС).** Сумму стильбенов и их производных (схема 1) получали экстракцией ткани растений этиловым спиртом с последующей отмывкой от липидов с помощью МТБЭ. 1000 г воздушно-сухой измельченной коры *P. sibirica* экстрагировали 95%-м этанолом в аппарате Сокслета в течение 15 ч. Спиртовой экстракт отфильтровывали и упаривали. Получили около 263 г смолоподобного экстракта, затвердевающего при охлаждении в холодильнике. Экстракт дробили на частицы 1–10 мм и перемешивали с 1 л МТБЭ при комнатной температуре в течение 5 ч на магнитной мешалке. Экстракт сливали и отбрасывали, а с твердым остатком процедуру повторяли еще дважды. После высушивания от следов МТБЭ остаток массой 68 г представляет из себя порошок кремового цвета, содержащий (по данным ВЭЖХ) резвератрол **2** (7 %), резвератролозид **4** (27 %), пиностильбен **3** (10 %), пиностильбенозид **5** (34 %) (см. схему 1) и многочисленные минорные примеси (в сумме 22 %). Из полученного порошка готовили насыщенный раствор в этаноле, который использовали для приготовления комплексов и далее испытывали на пшенице.

**Выделение (+)-усниновой кислоты (УК).** Усниную кислоту **1** (см. схему 1) в практически чистом виде (более 95 % чистоты) выделяли при двукратной экстракции растительной ткани хлороформом при кипячении с последующим удалением хлороформа и промывкой остатка минимальным количеством этанола [20]. Навеску 100 г воздушно-сухого измельченного лишайника *U. barbata* в течение 3 ч кипятили с 2 л хлороформа. Экстракт упаривали, процедуру пов-

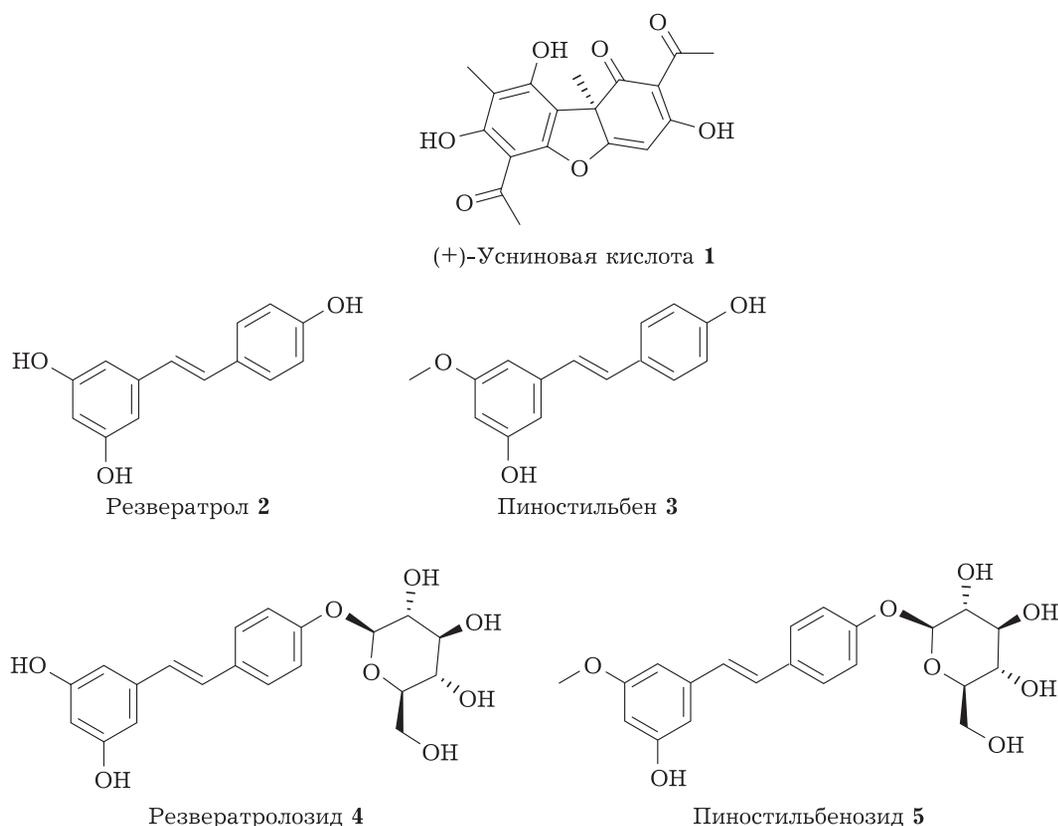


Схема 1. Структуры биологически активных веществ, экстрагируемых из тканей лишайников (*Usnea barbata*) и сосны сибирской (*Pinus sibirica*).

торяли. Объединенный хлороформный экстракт упаривали до помутнения и в этот момент приливали 3 объема этанола. Смесь оставляли на ночь в холодильнике для формирования осадка, осадок отфильтровывали и сушили в вакууме. Получили 2,7 г желтоватого порошка с содержанием (+)-усниновой кислоты 91 % (по данным ВЭЖХ). Из полученного порошка готовили горячий насыщенный раствор в диоксане (на кипящей водяной бане), который использовали для приготовления композиции. Полученный препарат далее испытывали на пшенице.

**Препараты Новохизоля с ЭКСС и с УК** готовили согласно методике, описанной ранее [17].

#### Исследования воздействия биологических средств защиты растений

Исследования эффекта воздействия биологических средств защиты растений проводили в 2022–2023 гг. в экспериментах на опытном поле отдела защиты растений Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН, расположенном в центрально-лесостепном Приобском агроландшафтном районе Новосибирской области, на посевах яровой пше-

ницы районированного сорта Новосибирская 31 (среднеранний, вегетационный период 72–95 дней, родословная: {Тюменская 80 × [(Целинная 20 × АНК-102) × АНК-102]} × Sport, создан в 2010 г. в ИЦиГ СО РАН, включен в Госреестр для возделывания по Западно-Сибирскому и Восточно-Сибирскому регионам, № 9253361). Новые композиции – 2 % Новохизол (20 мг/мл) + ЭКСС (6,67 мг/мл) и 2 % Новохизол + УК (6,67 мг/мл) – использовали для протравливания семян перед посевом (20 мая 2022 г. и 23 мая 2023 г.). Для приготовления рабочей жидкости композицию разводили водой в соотношении 2 : 1000 (2 мл композиции/1 л воды). Ранее была показана эффективность рабочего раствора этой концентрации для композиции Новохизол + УК [21]. В качестве химического эталона был выбран протравитель Дивиденд Экстрим, концентрат суспензии (дифеноконазол (92 г/л) + мефеноксам (23 г/л) с нормой расхода препарата 0,5 л/т семян). При протравливании семян норма расхода рабочей жидкости составила 10 л/т. Посев осуществляли сеялкой СЗС-2.1 (ВИСХОМ, Россия) с анкерными сошниками. Норма высева – 6 млн всхожих зерен на 1 га, аммиачную селитру вносили из расчета 60 кг/га. Фоновое опрыски-

вание против злаковых и двудольных сорняков проводили в фазе кущения пшеницы баковой смесью гербицидов Аксиал, концентрат эмульсии (1 л/га) + Примадонна, суспензия (0.4 л/га) + Гекстар, водно-диспергируемые гранулы (10 г/га). Норма расхода рабочей жидкости – 270 л/га. В опыт также включали обработку фунгицидом Титул Дуо, концентрат коллоидного раствора (пропиконазол, 200 г/л + тебуконазол, 200 г/л) в количестве 0.32 л/га в фазе колошения культуры для снижения вредности листостеблевых инфекций с нормой расхода рабочей жидкости 200 л/га. Размещение вариантов систематическое; площадь делянок составила 14.7 и 16.8 м<sup>2</sup> соответственно годам исследований, расположение последовательное в один ярус, повторность трехкратная. Пшеницу размещали по паровому предшественнику согласно принятой технологии. Почва в опыте – чернозем выщелоченный, среднемощный, среднегумусный, среднесуглинистый. Содержание гумуса (по Тюрину) в пахотном слое опытного участка составляло 5.2 %, нитратного азота – 8.3 мг/кг, подвижного фосфора (по Карпинскому–Замятиной) – 0.79 мг/кг, подвижного калия (по Чирикову) – 180 мг/кг почвы.

Изучали влияние указанных препаратов Новоизоля: на оздоровление семенного материала в лабораторных условиях рулонным методом [22]; на развитие корневой гнили в фазе кущения и молочно-восковой спелости, дифференцированно по органам ( $n = 100$  – количества растений в выборке) [23]; на развитие септориоза – в фазе молочно-восковой спелости зерна по диагонали делянок на флаговых листьях ( $n = 100$ ) [24]; на длину ростков в фазе двух листьев [25]; на густоту стояния в фазе трех листьев, выживаемость растений и кустистость перед уборкой методом пробной площадки (1 м<sup>2</sup>), на прирост биомассы в динамике, высоту растений в каждом варианте ( $n = 100$ ) и площадь флаговых листьев в фазе цветения путем промера их длины и ширины с пересчетом на коэффициент для зерновых культур – 0.75 ( $n = 100$ ) [25, 26]; на структуру колоса (длина колоса, количество колосков, число и масса зерен в колосе) ( $n = 25$ ) после уборки урожая [25].

Биологическую эффективность (БЭ, %) мероприятий рассчитывали по формуле:

$$БЭ = \frac{|РК - РО|}{РК} \cdot 100$$

где РК – показатель развития болезни на контроле, %; РО – показатель развития болезни в опыте, % [27, 28].

Урожайность пшеницы учитывали методом прямого комбайнирования комбайном Sampo (Sampo Rosenlew, Финляндия), выход зерна приводили к 100%-й чистоте и 14%-й влажности. Статистическую обработку данных осуществляли с использованием прикладных программ Snedecor и Excel [29].

Метеоусловия в годы исследований существенно различались. В целом 2022 г. характеризовался недостаточной влагообеспеченностью и повышенной теплообеспеченностью. Всего за вегетационный период выпало 114 мм осадков, что меньше нормы в 2 раза, в мае приход атмосферной влаги составил 2.5 мм, в июне – 59, в июле – 29, в августе – 23 мм (среднегодовые значения – 36, 58, 72, 66 мм соответственно). Среднесуточная температура воздуха в мае составляла 15.4 °С, в июне – 17.2 °С, в июле – 18.9 °С, в августе – 16.5 °С (среднегодовые значения – 10.3, 16.7, 19.0, 15.8 °С соответственно). Вегетационный период 2023 г. характеризовался повышенной теплообеспеченностью и недостаточной увлажненностью. Сумма осадков за вегетационный период с мая по август составила 204 мм, что ниже нормы на 28 мм, их распределение по месяцам было крайне неравномерным, в мае выпало 6, в июне – 26, в июле – 60, в августе – 112 мм при температуре воздуха 11.9, 19.0, 21.6 и 17.7 °С соответственно. Отмеченное превышение нормы выпадения осадков в 1.7 раза во второй половине вегетации оказало благоприятное влияние на развитие листостеблевых болезней.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Оптимизация методик получения природных фунгицидов

Исходная методика получения стильбенового экстракта включала следующие стадии: 1000 г воздушно сухой измельченной коры *P. sibirica* обезжиривали дважды кипячением с 4 л гексана; полученный гексановый экстракт отбрасывали. Обезжиренную кору высушивали и трижды экстрагировали кипячением с 4 л 95 % этанола; объединенные экстракты упаривали до сиропобразного состояния и по каплям при интенсивном перемешивании верхней мешалкой вливали в 2 л охлажденного во льду МТБЭ. При этом образовавшийся липкий осадок снова растворяли в минимальном количестве этанола и процедуру повторяли дважды, в результате

чего получили 49 г порошка кремового цвета, имеющего состав, аналогичный вышеописанному (см. методику в Экспериментальной части).

Первоначальная методика получения экстракта (+)-усниновой кислоты была следующей: 100 г воздушно-сухого измельченного лишайника *U. barbata* экстрагировали в аппарате Сокслета в течение 12 ч (2-литровый аппарат Сокслета, куб объемом 5 л, 3.5 л хлороформа). Полученный экстракт фильтровали, упаривали досуха и растирали с этанолом до получения порошка светло-желтого цвета и практически бесцветного спиртового надосадочного экстракта. Получали 1.4 г препарата, содержащего 90 % (+)-усниновой кислоты (по данным ВЭЖХ).

В 2023 г. нами была проведена оптимизация методики выделения, которая позволяет использовать меньшее количество растворителей, проще в экспериментальном исполнении (требует меньшего контроля исполнителя и ручного труда) и имеет больший выход (см. методику в Экспериментальной части). В результате оптимизации мы разработали улучшенную методику. Поскольку лишайник имеет очень малую плотность (удельную массу, кг/м<sup>3</sup>) и это требует больших объемов труднодоступных аппаратов Сокслета, то мы заменили процедуру экстракции в таком аппарате на кипячение в круглодонной колбе (см. методику в Экспериментальной части). Данный метод характеризуется большим выходом целевого продукта, при этом процедура осаждения из раствора гораздо удобнее ручного затирания остатка с этанолом.

#### Влияние препаратов на основе Новохизоля на оздоровление семенного материала

Использование новых препаратов на основе Новохизоля с добавлением ЭКСС и УК оказывало оздоравливающее воздействие на семенной материал пшеницы. В результате проведения фитоэкспертизы семян в контрольном варианте зараженность семян составила 30.1 % (табл. 1), энергия роста – 91 %, всхожесть – 93.5 %. В контрольной пробе семян патогенный комплекс возбудителей болезней определяли по морфологическим признакам согласно методам определения зараженности болезнями (ГОСТ 12044-93). Возбудители были представлены грибами *Bipolaris sorokiniana*, *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Penicillium* spp.; зараженность составила 7.0, 2.7, 13.7 и 6.7 % соответственно (для патогенной инфекции – в сумме не более 5 %, плесневой – не более 10 %, бактериальной – не более 20 % поражения ростков) [28]. Обработки семян пре-

ТАБЛИЦА 1

Результаты фитоэкспертизы семян (лабораторные испытания, 2022–2023 гг.)

Вариант опыта	Микозы, %				Биологическая эффективность против микозов, %	Биологическая эффективность против бактериозов, %
	<i>Bipolaris sorokiniana</i>	<i>Fusarium</i> spp.	<i>Alternaria</i> spp.	<i>Penicillium</i> spp.		
Контроль	7.0	2.7	13.7	6.7	30.1	22.8
Новохизол (20 мг/мл) + ЭКСС (7 мг/мл)	2.7	0.3*	9.9	4.4	17.3*	23.3
Новохизол (20 мг/мл) + УК (6.67 мг/мл)	2.4	1.7*	15.6	5.7	25.4	14.0
Дивиденд Экстрим (50 мг/л)	1.0*	1.7*	2.7	0.0*	5.4*	29.3
Наименьшая существенная разность для 5%-го уровня значимости	5.3	2.1	11.9	4.5	10.9	10.0

Примечание. Здесь и в табл. 2–7: ЭКСС – экстракт коры сосны сибирской; УК – усниновая кислота.

\* Различия достоверны при  $P < 0.05$ .

ТАБЛИЦА 2

Влияние обработки семян различными формами Новохинола на развитие и распространенность корневой гнили (опытное поле СФНЦА РАН, Новосибирская область, 2022–2023 гг.)

Вариант опыта	Развитие болезни, %			Распространенность болезни, %	Биологическая эффективность, %
	2022 г.	2023 г.	Среднее		
<b>Кущение</b>					
Контроль	6.5	5.5	6.0	100	–
Новохинол (20 мг/мл) +ЭКСС (7 мг/мл)	6.0	3.0*	4.5	97	25.0
Новохинол (20 мг/мл) +УК (6.67 мг/мл)	4.0*	1.7*	2.8	96	53.3
Дивиденд Экстрим (50 мл/л)	2.0*	1.7*	1.8	86	70.0
<b>Молочно-восковая спелость</b>					
Контроль	13.6	17.2	15.4	100	–
Новохинол (20 мг/мл) +ЭКСС (7 мг/мл)	7.3*	12.2*	9.7	100	37.0
Новохинол (20 мг/мл) + УК (6.67 мг/мл)	7.0*	11.1*	9.0	100	41.6
Дивиденд Экстрим (50 мл/л)	8.5*	13.6*	11.0	100	28.6

Примечание. Обозн. см. табл. 1.

\* Варианты достоверно отличаются от контроля на уровне  $P_{05}$  по U-критерию Манна–Уитни.

ТАБЛИЦА 3

Влияние предпосевной обработки семян препаратами на пораженность флаговых листьев яровой пшеницы септориозом в фазе молочно-восковой спелости (опытное поле СФНЦА РАН, Новосибирская область, 2022–2023 гг.)

Вариант опыта	Развитие болезни, %			Биологическая эффективность, %
	2022 г.	2023 г.	Среднее	
Контроль	14.4	22.8	18.6	–
Новохинол (20 мг/мл) +ЭКСС (7 мг/мл)	2.0*	10.3*	6.2	66.7
Новохинол (20 мг/мл) + УК (6.67 мг/мл)	4.0	9.0*	6.5	65.0
Дивиденд Экстрим (50 мл/л)	1.9*	10.2*	6.0	67.7

Примечание. Обозн. см. табл. 1.

\* Варианты достоверно отличаются от контроля на уровне  $P_{05}$  по U-критерию Манна–Уитни.

препаратами с добавлением ЭКСС и УК снижали зараженность семян грибами на 42.5 и 15.6 % соответственно. Композиция Новохинол + ЭКСС была особенно эффективной против гелиминтоспориозной и фузариозной инфекций, снизив их в 2.6 и 9.0 раз в сравнении с контролем, а альтернариоз – в 1.4 раза. Кроме этого, применение композиции подавляло в 1.5 раза распространенность плесневого гриба *Penicillium*. Композиция Новохинол + УК снижала гелиминтоспориозную, фузариозную, пенициллезную инфекцию соответственно в 2.9, 1.6, 1.2 раза относительно контроля, при этом не сдерживала альтернариоз семян, который возрастал относительно контрольного показателя в 1.1 раза. Наибольшую эффективность против грибных инфекций продемонстрировал препарат Дивиденд Экстрим, его эффективность составила 82.1 %. Разработанная нами композиция, содержащая УК, подавляла бактериозы на 38.6 % от-

носительно контроля. В опыте все сравниваемые препараты существенно снижали зараженность семян фузариозом, стандартная ошибка опыта составила 0.7 % при варьировании показателя распространенности 21 % (см. табл. 1).

В результате проведенных исследований установлено, что предпосевная обработка семян изучаемыми препаратами положительно влияла на фитосанитарную ситуацию в посевах. Учет развития корневой гнили, вызываемой возбудителем *B. sorokiniana*; проводили в фазе кущения и молочно-восковой спелости по методике Чулкиной. Условия вегетационных периодов способствовали умеренному развитию обыкновенной корневой гнили в контроле в фазе кущения – 6.0 % в среднем, к фазе молочно-восковой спелости степень пораженности растений значительно возросла – 15.4 % (табл. 2).

В первую фазу учета, в кущение, эффективность обработок семян препаратами, содержа-

ТАБЛИЦА 4

Влияние предпосевной обработки семян препаратами на густоту стояния, выживаемость и кустистость пшеницы (опытное поле СФНЦА РАН, Новосибирская область, 2022–2023 гг.)

Вариант опыта	Густота стояния, шт/м <sup>2</sup>		Выживаемость, %	Количество стеблей, шт/м <sup>2</sup>	
	Фаза 3-го листа	Молочно-восковая спелость		Всего	Продуктивных
Контроль	419	337	80.4	450	425
Новохизоль (20 мг/мл) + ЭКСС (7 мг/мл)	500*	420*	84.0	529	504*
Новохизоль (20 мг/мл) + УК (6.67 мг/мл)	488*	456*	93.4	529	502*
Дивиденд Экстрим (50 мл/л)	518*	456*	88.0	536*	522*
Наименьшая существенная разность для 5%-го уровня значимости	78	77	–	81	77

Примечание. Обозн. см. табл. 1.

\* Различия достоверны при  $P < 0.05$ .

щими ЭКСС и УК, проявлялась слабее – 25.0 и 53.3 % соответственно по сравнению с химическим эталоном (Дивиденд Экстрим), который подавлял развитие заболевания на 70.0 %, распространенность – до 86 %. Но к концу вегетации, когда степень развития корневой гнили увеличилась в 2.6 раза, заболевание эффективнее сдерживали регуляторы роста – на 37.0 и 41.6 % соответственно, химический эталон – лишь на 28.6 %.

Также нами проанализировано влияние обработки семян на пораженность флаговых листьев яровой пшеницы септориозом (*Parastagonospora nodorum*) в фазе молочно-восковой спелости. При фоновой обработке посевов в фазе колошения пшеницы фунгицидом Титул Дуо развитие септориоза на флаговых листьях в контрольном варианте составило в среднем по опыту 18.6 % (табл. 3). Дополнительные (к фоновой) обработки семян указанными комплексами Новохизоля с ЭКСС и УК снизили индекс развития болезни в среднем до 6.2 и 6.5 % относительно контроля, а их эффективность составила 66.7 и 65.0 % соответственно. Химический протравитель Дивиденд Экстрим подавлял септориоз на 67.7 %.

Развитие мучнистой росы и бурой ржавчины в 2022–2023 гг. было очень слабым из-за недостаточной увлажненности, поэтому влияние изучаемых препаратов на данные грибные инфекции не было представлено.

Наряду с проявлением защитного воздействия препаратов по обработке семян, отмечали их ростостимулирующее влияние на растения пшеницы.

Предпосевная обработка семян оказывала положительное влияние на густоту стояния

растений; препараты Новохизоль + ЭКСС, Новохизоль + УК и Дивиденд Экстрим повышали ее относительно контроля в фазе трех листьев на 19.3, 16.5 и 23.6 %, а в фазе молочно-восковой спелости – на 24.6, 35.3 и 35.3 % соответственно (табл. 4). Количество сохранившихся растений к молочно-восковой спелости в этих вариантах было больше контрольного значения (80.4 %) на 3.6, 13.0 и 7.6 % соответственно.

В фазе восковой спелости зерна в вариантах, где применяли новые биопрепараты Новохизоль + ЭКСС и Новохизоль + УК, количество общих стеблей возросло на 17.6 % относительно контроля (450 шт/м<sup>2</sup>), продуктивных стеблей – на 18.6 и 18.1 % соответственно. При обработке семян препаратом Дивиденд Экстрим число общих и продуктивных стеблей увеличилось на 19.1 и 22.8 % соответственно.

В опыте наблюдали влияние обработок семян на формирование ростков пшеницы (табл. 5). Положительное воздействие на проростки оказывала форма Новохизоль + УК: рост длины листа составил 4.5 %, длины ростка – 3.9 %, длины корней – 6.3 % относительно контрольных показателей. Применение эталона Дивиденд Экстрим обеспечило рост данных показателей – на 16.1, 9.7 и 10.4 % соответственно.

В фазе цветения все препараты стимулировали рост растений в высоту соответственно на 9.7, 10.6 и 12.4 % относительно контроля (65.9 см), при этом площадь флаговых листьев увеличилась лишь при добавлении композиции Новохизоль + ЭКСС – на 4.2 % (см. табл. 5). При применении композиции Новохизоль + УК этот показатель снижался на 2.5 %, а при протравливании семян химическим эталоном он оставался на уровне контроля.

ТАБЛИЦА 5

Влияние обработки семян регуляторами роста на биометрические показатели растений (опытное поле СФНЦА РАН, Новосибирская область, 2022–2023 гг.)

Вариант опыта	Длина проростков в фазе двух листьев, см				Цветение	
	Лист	Стебель	Росток	Корни	Высота, см	Площадь листьев, см <sup>2</sup>
Контроль	11.2	4.4	15.5	4.8	65.9	12.0
Новохизоль (20 мг/мл) + ЭКСС (7 мг/мл)	11.2	4.4	15.5	4.9	72.3*	12.5
Новохизоль (20 мг/мл) + УК (6.67 мг/мл)	11.7*	4.4	16.1*	5.1	72.9*	11.7
Дивиденд Экстрим (50 мл/л)	13.0*	4.0	17.0*	5.3*	74.1*	12.0
Наименьшая существенная разность для 5%-го уровня значимости	0.4	0.5	0.5	0.4	4.2	1.2

Примечание. Обозн. см. табл. 1.

\* Различия достоверны при  $P < 0.05$ .

ТАБЛИЦА 6

Влияние предпосевной обработки семян препаратами на накопление биомассы (опытное поле СФНЦА РАН, Новосибирская область, 2022–2023 гг.)

Вариант опыта	Фаза двух листьев, г/100 раст.		Фаза кущения, г/100 раст.		Фаза цветения, г/100 раст.	
	Надземная	Корневая	Надземная	Корневая	Надземная	Корневая
Контроль	2.4	1.0	18.9	2.6	137.3	8.6
Новохизоль (20 мг/мл) + ЭКСС (7 мг/мл)	2.1	0.9	22.4*	2.8*	157.4	9.9
Новохизоль (20 мг/мл) + УК (6.67 мг/мл)	2.3	1.0	21.0*	2.6	152.5	9.3
Дивиденд Экстрим (50 мл/л)	3.0*	0.9	22.1*	3.1*	164.5	9.9
Наименьшая существенная разность для 5%-го уровня значимости	0.1	0.1	2.1	0.2	49.2	3.7

Примечание. Обозн. см. табл. 1.

\* Различия достоверны при  $P < 0.05$ .

Наиболее активное накопление надземной и корневой воздушно-сухой биомассы растений приходилось на фазу кущения и цветения (табл. 6). В фазе кущения увеличение надземной и корневой биомассы под воздействием Новохизоль + ЭКСС составило соответственно 18.5 и 7.7 % относительно контрольных значений, при этом при использовании композиции Новохизоль + УК наблюдалось увеличение только надземной биомассы – 11.1 %. В фазе цветения увеличение этих показателей составило для препарата с ЭКСС 14.6 и 15.1 %, а для препарата с УК – 11.1 и 8.1 % соответственно. В варианте с Дивидендом Экстрим рост надземной и подземной биомассы в фазу кущения составил 16.9 и 19.2 %, а в фазу цветения – 19.8 и 15.1 % соответственно в сравнении с контролями.

Предпосевная обработка семян оказывала существенное влияние на структурные показатели продуктивности колоса. Длина колоса, количество колосков, количество зерен и их масса в колосе увеличивались при применении препарата Новохизоль + ЭКСС на 15.3, 9.9, 23.1 и

27.3 % относительно контролей, а при обработке семян композицией Новохизоль + УК – на 18.1, 14.9, 17.5 и 18.2 % соответственно (см. табл. 6). Химический эталон (Дивиденд Экстрим) здесь в основном уступал биопрепаратам; показатели увеличивались на 12.5, 8.3, 14.7 и 18.2 % соответственно.

В среднем по фактору предпосевная обработка семян препаратами с ЭКСС и УК обеспечила рост урожайности зерна на 0.2 и 0.3 т/га относительно контроля (2.7 т/га), при этом обработка семян химическим эталоном дала тот же эффект, что и комплекс Новохизоль + ЭКСС – на 0.2 т/га (табл. 7).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наибольшей эффективностью против грибных заболеваний семенного материала яровой пшеницы обладала композиция Новохизоль + ЭКСС (42.5 %), протравитель семян Дивиденд Экстрим подавлял эти заболевания на

ТАБЛИЦА 7

Влияние обработки семян регуляторами роста на структуру колоса и урожайность (опытное поле СФНЦА РАН, Новосибирская область, 2022–2023 гг.)

Вариант опыта	Колос				Масса 1000 зерен, г	Урожайность, т/га
	Длина, см	Количество колосков, шт.	Количество зерен, шт.	Масса зерна, г		
Контроль	7.2	12.1	28.6	1.1	35.4	2.7
Новохизоль (20 мг/мл) + ЭКСС (7 мг/мл)	8.3*	13.3	35.2*	1.4*	35.6	2.9
Новохизоль (20 мг/мл) + УК (6.67 мг/мл)	8.5*	13.9*	33.6*	1.3*	35.9	3.0
Дивиденд Экстрим (50 мл/л)	8.1*	13.1	32.8*	1.3*	37.1*	2.9
Наименьшая существенная разность для 5%-го уровня значимости	0.9	1.3	2.5	0.2	0.8	0.6

Примечание. Обозн. см. табл. 1.

\* Различия достоверны при  $P < 0.05$ .

82.1 %, бактериозы эффективнее сдерживала форма Новохизоль + УК (на 38.6 %). Обработка семян композициями Новохизолем с ЭКСС и с УК снижала развитие корневой гнили в фазе кущения на 25.0 и 53.3 %, в фазе молочно-восковой спелости – на 37.0 и 41.6 % соответственно, в то время как препарат Дивиденд Экстрим проявлял большую эффективность в первую фазу – 70.0 %, чем во вторую – 28.6 %. Композиции Новохизоль + ЭКСС и Новохизоль + УК сдерживали развитие септориоза на 66.7 и 65.0 % соответственно и немного уступали по воздействию протравителю Дивиденд Экстрим, который подавлял заболевание на 67.7 %.

Наряду с фунгицидным эффектом, обработка семян препаратами Новохизоль + ЭКСС и Новохизоль + УК оказывали ростостимулирующее влияние на показатели структуры ценоза. Увеличение густоты стояния растений в фазе кущения и перед уборкой для композиции с УК составило соответственно 16.5 и 35.3 % относительно контроля, а для композиции с ЭКСС – 19.3 и 24.6 % относительно контроля. Надземная биомасса увеличилась на 11.1 % при воздействии композицией Новохизоль + УК в обоих фазах, а в случае препарата Новохизоль + ЭКСС – на 18.5 и 14.6 % соответственно. Высота растений в фазу цветения увеличилась при использовании тех же препаратов соответственно на 10.6 и 9.7 %, кустистость – на 17.6 % относительно контроля для обоих препаратов. По влиянию на длину ростков препарат с УК воздействовал на рост как надземной, так и корневой части – на 3.9 и 6.3 % соответственно, в то время как препарат с ЭКСС стимулировал лишь рост корневой части – на 2.1 % относительно контроля. Количество зерен и их масса в варианте применения Новохизоля с добавлением ЭКСС увеличились на 23.1 и 27.3 %, с добавлением УК – на 17.5 и

18.2 %, а при протравливании Дивидендом Экстрим – на 14.7 и 18.2 % соответственно. При обработке композициями Новохизоль + ЭКСС и Новохизоль + УК масса 1000 зерен повышалась на 0.6 и 1.4 % соответственно относительно контроля, а урожай зерна – на 0.2–0.3 т/га, при этом наибольший эффект оказала форма Новохизоль + УК. Содержание клейковины в зерне составило в вариантах с применением биофунгицидов 31–32 %, индекс деформации глютена в муке (ИДК) – 66.2–70.0 % (в контроле – 33.0–68.9 %), зерно I класса, хорошее. Таким образом, обработка семян инновационными биофунгицидами на основе Новохизоля способны обеспечить снижение развития болезней при невысоком уровне заражения и улучшение фитосанитарного состояния посевов, стимуляцию роста и развития растений, увеличение сбора зерна в технологии возделывания мягкой пшеницы.

На основе Новохизоля с добавлением ЭКСС и УК созданы новые эффективные препараты широкого спектра действия.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Singh R. P., Hodson D. P., Huerta-Espino J., Jin Y., Bhavani S., Njau P., Herrera-Foessel S., Singh P. K., Singh S., Govindan V. The emergence of Ug99 races of the stem rust fungus is a threat to world wheat production // *Annu. Rev. Phytopathol.* 2011. Vol. 49. P. 465–481.
2. Ali S., Ahmad N., Dar M. A., Manan S., Rani A., Alghannem S. M. S., Khan K. A., Sethupathy S., Elboughdiri N., Mostafa Y. S., Alamri S. A., Hashem M., Shahid M., Zhu D. Nano-agrochemicals as substitutes for pesticides: prospects and risks // *Plants.* 2024. Vol. 13, No. 1. Art. 109.
3. El Hadrani A., Adam L. R., El Hadrani I., Daayf F. Chitosan in plant protection // *Mar. Drugs.* 2010. Vol. 8, No. 4. P. 968–987.
4. Kumaraswamy R. V., Kumari S., Choudhary R. C., Pal A., Raliya R., Biswas P., Saharan V. Engineered chitosan based nanomaterials: bioactivities, mechanisms and perspectives in plant protection and growth // *Int. J. Biol. Macromol.* 2018. Vol. 113. P. 494–506.

5. Тютюрев С. Л. Природные и синтетические индукторы устойчивости растений к болезням. СПб.: ВИЗР, 2014. 212 с.
6. Шагдарова Б. Ц., Ильина А. В., Лопатин С. А., Карташов М. И., Арсланова Л. Р., Джавахия В. Г., Варламов В. П. Изучение защитного действия гидролизата хитозана против септориоза пшеницы и альтернариоза табака // Приклад. биохимия и микробиология. 2018. Т. 54, № 1. С. 68–73.
7. Тютюрев С. Л. Экологически безопасные индукторы устойчивости растений к болезням и физиологическим стрессам // Вестн. защиты растений. 2015. № 1 (83). С. 3–13.
8. Баданова Е. Г., Давлетбаев И. М., Сироткин А. С. Препараты на основе хитозана для сельского хозяйства // Вестн. технолог. ун-та. 2016. Т. 19, № 16. С. 89–95.
9. Борисова Е. А., Коваленко Н. М., Попова Э. В., Колесников Л. Е. Биологическая эффективность хитозана, модифицированного салициловой кислотой, в защите пшеницы от темно-бурой пятнистости // Роль молодых ученых в решении актуальных задач АПК: материалы Междунар. научно-практ. конф. молодых ученых (Пушкин, 1–2 марта 2018 г.). СПб., 2018. С. 8–10.
10. Попова Э. В., Домнина Н. С., Коваленко Н. М., Борисова Е. А., Колесников Л. Е., Тютюрев С. Л. Биологическая активность хитозана с разной молекулярной массой // Вестн. защиты растений. 2017. № 3 (93). С. 28–33.
11. Метелева Е. С., Евсеенко В. И., Теплякова О. И., Кулагин О. В., Селютин О. Ю., Поляков Н. Э., Душкин А. В., Власенко Н. Г. Инновационные средства защиты яровой пшеницы на основе хитозана, полученные методами механохимии // Химия в интересах устойчивого развития. 2020. Т. 28, № 1. С. 57–65.
12. Захаренко В. А. Биопестициды и средства защиты растений с небактериальной активностью в интегрированном управлении фитосанитарным состоянием зерновых агроэкосистем // Агрехимия. 2015. № 6. С. 64–76.
13. Пат. RU 2484629 С1, 2013.
14. Щербань А. Б. Хитозан и его производные как перспективные средства защиты растений // Вавиловский журн. генетики и селекции. 2023. Т. 27, № 8. С. 1010–1021.
15. Поварницына А. В., Шитикова А. В. Биопрепараты: значение в современной земледелии // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. ст. XIX Междунар. научно-практ. конф., Пенза, 5 мая 2021 г. Ч. 1. Пенза: Наука и просвещение, 2021. С. 174–178.
16. Ямалиева А. М., Апаева Н. Н. Применение биопрепаратов при возделывании яровой пшеницы // Вестн. Магнитогорского гос. ун-та. Сер.: С.-х. науки. Экон. науки. 2019. Т. 5, № 4 (20). С. 432–440.
17. Teplyakova O. I., Fomenko V. V., Salakhutdinov N. F., Vlasenko N. G. Novochizol™ seed treatment: effects on germination, growth and development in soft spring wheat // Natural Products Chemistry & Research. 2022. Vol. 10, No. 5. P. 1–4.
18. Лузина О. А., Седелникова Н. В., Салахутдинов Н. Ф. Усиновая кислота: нахождение в природе, биологическая активность и химические трансформации. Новосибирск: Академиздат, 2020. 195 с.
19. Tran T. M., Atanasova V., Tardif C., Richard-Forget F. Stilbenoids as promising natural product-based solutions in a race against mycotoxigenic fungi: a comprehensive review // J. Agric. Food. Chem. 2023. Vol. 71, No. 13. P. 5075–5092.
20. Лаврентьева М. П. Экстракция усниновой кислоты из смеси лишайников рода *Usnea* // Молодой ученый. 2022. № 22 (417). С. 5–10.
21. Половинка М. П., Егорычева М. Т., Власенко Н. Г., Салахутдинов Н. Ф. Новые комплексные препараты на основе экстрактов листовницы и лишайника – эффективное средство повышения урожайности яровой пшеницы // Химия в интересах устойчивого развития. 2012. Т. 20, № 6. С. 713–720.
22. ГОСТ 12044–93. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями. М.: Стандартинформ, 2011. 55 с.
23. Методические указания по учету обыкновенной корневой гнили хлебных злаков в Сибири дифференцировано по органам. Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1972. 23 с.
24. Практические рекомендации по диагностике, учету и защите пшеницы от бурой ржавчины, септориоза и мучнистой росы. М., 1988. 26 с.
25. Моисейченко В. Ф., Трифонова М. Ф., Заверюха А. Х., Ещенко В. Е. Основы научных исследований в агрономии: учебник. М.: Колос, 1996. 336 с.
26. Опытное дело в полеводстве / под общ. ред. Г. Ф. Никитенко. М.: Россельхозиздат, 1982. 190 с.
27. Ченкин А. Ф., Черкасов В. А., Захаренко В. А., Гончаров Н. Р. Справочник агронома по защите растений. М.: Агропромиздат, 1990. 367 с.
28. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: (с основами стат. обработки результатов исслед.). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
29. Сорокин О. Д. Прикладная статистика на компьютере. 2-е изд. Новосибирск, 2012. 282 с.

Поступила в редакцию 26.03.2024

Одобрена после рецензирования 14.06.2024

Принята к публикации 30.08.2024