

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

SOIL FERTILITY AND PLANT PROTECTION

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-3-1194

EDN: HDOVXE

УДК 632.952:633.11



Научная статья

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ
БИНАРНЫХ ТРИАЗОЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ
НА ПРОРОСТКАХ МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ**

**Н.Г. Власенко, С.С. Халиков, О.И. Теплякова,
М.С. Халиков, Н.Д. Чкаников**

Аннотация

Обоснование. Комплексная защита растений от болезней, вредителей и сорняков – важнейший элемент агротехнологии. Использование фунгицидов важно не только для повышения урожайности растений, но и для получения урожая высокого качества. Большинство химических средств защиты растений (ХСЗР) включают в себя в качестве действующих веществ (ДВ) молекулы органических соединений, которые плохо растворяются в воде, что предполагает разработку для них препаративных форм, позволяющих равномерно наносить ДВ на растения и эффективно их защищать от болезней и вредителей.

Материалы и методы. Для решения проблем резистентности предложена разработка многокомпонентных и полифункциональных протравителей зерновых культур методами механохимии. Получаемые по этой технологии композиции в виде твердых дисперсий обладали повышенной растворимостью и широким спектром биологической активности. В качестве объектов исследования были изучены производные триазола – тебуконазол и пропиконазол, полисахарид арабиногалактан и регуляторы роста растений.

Результаты. Полученные в работе экспериментальные композиции обладали сильным ретардантным действием на проростках мягкой яровой пшеницы сорта Новосибирская 31. Добавление известного стимулятора роста флороксана и биостимулятора в виде кремнезема не помогло снять этот ре-

тардантный эффект, хотя ранее было показано смягчающее действие флороксана при использовании композиций на основе тебуконазола.

Заключение. Использование методов механохимической модификации ряда производных триазола позволило получить композиции, которые заметно тормозили корнеобразование и укорачивали ростки, вызывали ненормальное прорастание зерновок, что в конечном итоге сказалось на всхожести, а также на накоплении биомассы ростков и проростков. Полученные результаты подтверждают перспективы разработок многокомпонентных препаратов методами механохимии для решения проблем резистентности, растворимости и расширения биологической активности.

Ключевые слова: тебуконазол; пропиконазол; механохимия; протравители; яровая пшеница; ретардантный эффект; биологическая эффективность

Для цитирования. Власенко, Н.Г., Халиков, С.С., Теплякова, О.И., Халиков, М.С. & Чкаников, Н.Д. (2025). Биологическая активность бинарных триазольных препаратов на проростках мягкой яровой пшеницы. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(3), 233-252. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-3-1194>

Original article

BIOLOGICAL ACTIVITY OF BINARY TRIAZOLE PREPARATIONS ON SOFT SPRING WHEAT

*N.G. Vlasenko, S.S. Khalikov, O.I. Teplyakova,
M.S. Khalikov, N.D. Chkanikov*

Abstract

Background. Integrated plant protection against diseases, pests and weeds is the most important element of agricultural technology. The use of fungicides is important not only to increase plant yields, but also to obtain high-quality crops. Most chemical plant protection products (CPPP) include molecules of organic compounds as active ingredients (AI), which are poorly soluble in water, which requires the development of formulations for them that allow for the uniform application of AI to plants and effectively protect them from diseases and pests.

Materials and methods. To solve the problems of resistance, it is proposed to develop multi-component and polyfunctional seed dressings for grain crops using mechanochemical methods. The compositions obtained using this technology in the form of solid dispersions had increased solubility and a wide range of biological

activity. The objects of study were triazole derivatives - tebuconazole and propiconazole, polysaccharide arabinogalactan and plant growth regulators.

Results. The experimental compositions obtained in the work had a strong retardant effect on sprouts of soft spring wheat of the Novosibirskaya 31 variety. The addition of the known growth stimulator floroxan and a biostimulant in the form of silica did not help to remove this retardant effect, although the softening effect of floroxan was previously shown when using compositions based on tebuconazole.

Conclusion. The use of mechanochemical modification methods for a number of triazole derivatives made it possible to obtain compositions that significantly inhibited root formation and shortened sprouts, caused abnormal germination of grains, which ultimately affected germination, as well as the accumulation of biomass in sprouts and seedlings. The obtained results confirm the prospects for the development of multicomponent drugs using mechanochemical methods to solve the problems of resistance, solubility and expansion of biological activity.

Keywords: tebuconazole; propiconazole; mechanochemistry; protectants; spring wheat; retardant effect; biological efficiency

For citation. Vlasenko, N.G., Khalikov, S.S., Teplyakova, O.I., Khalikov, M.S. & Chkanikov, N.D. (2025). Biological activity of binary triazole preparations on soft spring wheat. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(3), 233-252. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-3-1194>

Введение

К важным факторам, влияющим на уровень урожайности и качества зерна пшеницы, относятся технологии возделывания культуры и разработка эффективной системы защиты растений от болезней и вредителей [2]. Контроль фитосанитарной ситуации осуществляется путем применения фунгицидной защиты, что позволяет стабилизировать получение зерна пшеницы хорошего качества [8]. Для борьбы с почвенно-семенными инфекциями изучают возможности использования пестицидов с лучшим проникновением действующего вещества (ДВ) в растительные ткани, пониженных норм расхода, новых модификаций препаративных форм и комплексов с биологическими и химическими индукторами [10; 14; 18].

Как известно, однокомпонентные фунгициды эффективны против одного спектра болезней и в определённые фазы развития. Для решения вопросов комплексной защиты растений от различных болезней издревле применяют баковые смеси [6]. Однако использование баковых смесей предполагает необходимость проверки совместимости продуктов от разных производителей, а также выбора оптимального соотношения компонентов смеси, что вызывает

массу неудобств при работе в полевых условиях. Поэтому актуальным является использования бинарных составов, представляющих собой упаковку с различным количеством канистр и инструкцией для работы с ними.

Листостебельные болезни озимой пшеницы могут снижать урожайность на 50–70%, при этом их возбудители характеризуются высокой агрессивностью и способны в сжатые сроки вызывать массовое поражение этой ценной культуры. Борьбу с комплексом таких болезней сложно вести без использования многокомпонентных фунгицидных протравителей [7], т.к. они обладают следующими преимуществами:

- простота применения и технологичность – вместо того, чтобы комбинировать компоненты баковых смесей и бинарных составов самостоятельно, аграриям гораздо удобнее использовать готовый многокомпонентный препарат с гарантированной совместимостью действующих веществ (ДВ).

- расширяется спектр действия фунгицидов, позволяющий контролировать сразу несколько видов, порой кардинально различающихся между собой возбудителей болезней. Это особенно наглядно можно наблюдать у фунгицидных протравителей, компоненты контактного действия которых работают против возбудителей болезней на поверхности семян, а системные - проникают вглубь семени, успешно справляясь с внутренним инфицированием.

- за счет комбинирования ДВ с различным механизмом действия снижается до минимума риск развития резистентности патогенных микроорганизмов к конкретному однокомпонентному препарату или даже целому классу фунгицидов.

- наблюдается эффект синергизма – когда активность двух или более фунгицидов превышает активности фунгицидов в случае их использования по отдельности.

Как известно, резистентность является наиболее трудно преодолимым последствием неправильного применения фунгицидов [20]. Резистентность приводит к тому, что использование фунгицидов становится малоэффективным и экономически неоправданным [22]. Попытки борьбы с резистентностью к фунгицидным препаратам посредством увеличения дозировок фунгицидов и кратности обработок бесперспективны, так как вызывают распространение все более и более устойчивых популяций этих патогенов [16]. Одним из перспективных подходов в решении проблем резистентности следует рассматривать сочетание фунгицидов из различных классов соединений с отличием механизма их действия [15]. Таким образом, для решения проблемы резистентности фунгицидов рекомендуется [12; 17]:

- обеспечить химическое разнообразие при использовании препаратов, что подавит рост и размножение устойчивых биотипов;

- ограничить количество обработок в сезон и обрабатывать только тогда, когда в этом есть необходимость:

- чередовать фунгициды и сокращать использование препарата, подверженного риску развития резистентности к нему;

- постоянный контроль (мониторинг) за степенью чувствительности патогенов к фунгицидам с момента появления их на рынке.

Авторами [21] изучено влияние двух триазольных фунгицидов – триконазола и триадименола – на рост и развитие пшеницы и было установлено уменьшение длины coleoptilya, первого листа и междоузлий, а также негативное влияние на развитие корневой системы. Такой эффект вполне ожидаем ввиду известных ретардантных свойств триазолов.

Принимая во внимание проблемы резистентности, в работе [8] были проведены сравнительные исследования препаратов на основе одно-, двух- и трех-компонентных фунгицидов из различных классов соединений. Ввиду различия механизмов их действия, полученные композиции наиболее эффективно снижали пораженность септориозом из-за содержания пропиконазола (ПТК). Сравнение по биологической эффективности против септориоза и бурой ржавчины одно- (ТБК), двух- (ТБК+ПТК) и трехкомпонентных (ТБК+ПТК+спироксамин) фунгицидов показало, что многокомпонентные препараты более эффективны, чем однокомпонентные, однако существенных различий между двух- и трехкомпонентными препаратами не установлено. Полученные результаты по биологической эффективности подтверждаются данными по урожайности и экономической эффективности. Таким образом, было показано, что применение многокомпонентных препаратов актуально и востребовано.

Продолжая исследования в этом направлении, нами, с использованием механохимической технологии, были приготовлены твердые дисперсии (ТД) на основе тебуконазола и пропиконазола (ППК) с добавлением полисахарида – арабиногалактана, синтетического стимулятора роста – флороксан и силикагеля [9]. Добавление силикагеля имело две цели:

1. Сорбирование низкоплавкого компонента – ППК – для создания возможности проведения процесса твердофазной механохимической модификации триазольных компонентов арабиногалактаном;
2. Изучение возможности снижения ретардантного эффекта триазолов за счет биостимулирующих свойств кремневой кислоты, образующейся из силикагеля почвенными микроорганизмами [11].

При этом биологическая эффективность экспериментальных препаратов, использованных для протравливания семян яровой пшеницы Омская

36, против фузариозно-гельминтоспориозной корневой гнили составила 85–87%, что было на уровне эффективности коммерческого препарата Бункер, взятого за эталон. Такой эффект можно было объяснить ростостимулирующими свойствами использованных стимуляторов роста. Кроме того, уменьшалось число больных растений в вариантах с мерами защиты и были получены прибавки урожайности яровой пшеницы 9–14% [9]. Научная новизна наших исследований по разработке многокомпонентных протравителей заключается в том, что, используя технологию твердофазной механохимической модификации фунгицидных субстанций с помощью водорастворимых полимеров, удается получить композиции в виде твердых дисперсий с повышенной растворимостью фунгицидного компонента и увеличенной мембранной проницаемостью [23].

Эта технология нами была успешно применена при разработке рецептур многокомпонентных фунгицидных протравителей [1; 4; 5; 13; 24]. Механохимическая технология позволила включать в составы протравителей субстанции фунгицидов, которые не имели областей совместной растворимости и могли разлагаться при нагревании, а также реагировать между собой при растворении [19]. Это позволило минимизировать протекание нежелательных химических превращений используемых фунгицидных субстанций. Такие исследования носят инновационный характер и обладают научной новизной и практической значимостью. При этом решаются вопросы не только улучшения растворимости, биодоступности и биологической активности фунгицидных компонентов, но их химической совместимости, а также химической стабильности при получении и хранении полученных препаратов. Такие составы, обладая высокой биологической активностью, представляли интерес для практического внедрения и поэтому такие исследования являются не только инновационными, но и актуальными для решения проблем резистентности.

Поскольку погодные условия в условиях Сибири не стабильны по годам и разнятся в пределах региона, то актуальность изучения возможных побочных эффектов протравителей семян яровой мягкой пшеницы, содержащих тебуконазол, не вызывает сомнения. Что и стало основной целью данной работы, а именно – определить диапазон воздействия ретардантных эффектов двух компонентного протравителя на основе тебуконазола (ТБК) и пропиконазола (ППК), содержащих в своем составе ПАВ и регулятор роста. При этом была изучена биологическую активность ТД на основе ТБК и ППК на новой культуре, а именно, путем протравливания семян мягкой озимой пшеницы сорта Новосибирская 11.

Материалы и методы исследования

Тebuконазол (ТБК) – [(RS)-1p-хлорфенил-4,4-диметил-3-(1H-1,2,4-триазол-1-ил-метил) пентан-3-ил] – системный фунгицид, используемый для обработки семян зерновых культур. Относится к триазолам 3-го поколения, проявляет системное действие, эффективен в борьбе с фитопатогенами, передающимися с семенами.

Пропроназол (ППК) – [(+/-)-1-[2-(2,4-дихлорфенил)-4-пропил-1,3-диоксолан-2-илметил]-1H-1,2,4-триазол] – защитный и лечащий системный фунгицид из класса триазолов. Обладает широким спектром внутрирастительного действия. Применяется в сельском хозяйстве для борьбы с болезнями зерновых культур.

Флороксан (ФЛ) – гидрохлорид N-метил-4-(1 гидроксикарбометокситрифторметил) анилина. Регулятор роста ряда растений [3].

Составы изученных в работе композиций приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Составы одно- и двухкомпонентных протравителей

№ обр.	Наименование образца, состав (содержание ДВ)	Содержание ТБК и ППК в 10 мг препарата
1	Препарат №1- ТД с добавлением эмульгатора (10% ТБК: 10% ППК)	ТБК (1,0 мг) ППК (1,0 мг)
2	Препарат №2- ТД с добавлением РРР -флороксана (10% ТБК: 10% ППК)	ТБК (1,0 мг) ППК (1,0 мг)
3	Препарат №3- ТД без добавок (10% ТБК: 10% ППК)	ТБК (1,0 мг) ППК (1,0 мг)
4	Препарат №4- порошок ТБК, 98%	ТБК (9,7 мг)
5	Препарат №5- паста ППК, 95%	ППК (9,5 мг)

Испытание препаратов проводили в лабораторных условиях, заложено 3 эксперимента. В опытах использовали яровую мягкую пшеницу, сорт Новосибирская 31. Все эксперименты включали 5 вариантов (см. табл. 2).

Таблица 2.

Варианты протравителей и их нормы расхода

Шифр варианта	Содержание варианта	Норма расхода на тонну семян
1	Контроль - без обработки семян фунгицидами	–
2	Препарат № 1	500 г
3	Препарат № 2	500 г
4	Препарат № 3	500 г
5	Препарат № 4	500 г

Результаты исследований и их обсуждение

Нашими исследованиями [4; 5] для решения проблем резистентности были изучены процессы приготовления трех-компонентных (металаксил, имазалил и тебуконазол) протравителей и анализа их биологической активности. Эти исследования были продолжены с включением в составы протравителей других фунгицидов (прохлораз, протиоконазол) [1; 24], отличающихся механизмами действия. Такие составы, обладая высокой биологической активностью, представляли интерес для практического внедрения и поэтому такие исследования были не только инновационными, но и актуальными для решения проблем резистентности.

В настоящей работе были приготовлены и изучены ТД на основе ТБК и ППК, полученные методом их твердофазной модификации с помощью полисахарида АГ. Для изучения воздействия экспериментальных препаратов на фитосанитарное состояние семян, рост и развитие проростков яровой мягкой пшеницы, формирующихся из обработанных ими зерновок, зерновки обрабатывались за 6 суток до закладки на субстрат (в рулоны фильтровальной бумаги), проращивание проводилось в течении 14 суток (7 – термостат, $t = +26^{\circ}\text{C}$; 7 – комнатные условия, естественное освещение, $t = 24^{\circ}\text{C}$). В конце эксперимента определено:

- зараженность семян;
- число проростков с пораженными корнями и прикорневой зоны;
- биомасса нормально сформировавшихся проростков (табл.3).

Таблица 3.

Эффективность фунгицид-содержащих препаратов, примененных в качестве протравителей семян яровой мягкой пшеницы, метод изучения: проращивание в рулонах фильтровальной бумаги (7 суток, $t = +26^{\circ}\text{C}$, термостат; 7 суток – комнатные условия, естественное освещение, $t = 24^{\circ}\text{C}$), 2021 г.

Обработка семян		Фитосанитарные показатели							
		зараженность семян, %						у нормально сформировавшихся проростков поражены, %	
		<i>B. sorokiniana</i>	<i>Fusarium</i> spp.	<i>Alternaria</i> spp.	<i>Penicillium</i> spp.	Бактериоз	всего	прикорневая часть проростков	корни
1	Без обработки	21,00	1,50	67,75	2,75	2,50	95,50	42,4	16,6
2	Препарат №1	0,00	8,75	0,00	0,25	9,00	18,00	2,0	1,7

3	Препарат № 2	0,00	0,25	18,00	0,00	0,75	19,00	0,0	0,0
4	Препарат № 3	3,00	0,00	37,25	0,00	1,75	42,00	12,0	16,6
5	Препарат № 4	0,00	0,00	33,25	0,00	0,00	33,30	3,5	0,0
n = 100 × 4 повторности									
Показатели роста									
		Проросших, %		Непроросших, %	Воздушно-сухая биомасса (мг) нормально сформировавшихся проростков				
		нормально	ненормально		1 ростка	Корней 1 проростка	1 проростка	доля корней в биомассе проростка, %	
1	Без обработки	82,75	1,25	16,00	12,01	8,19	20,19	40,5	
2	Препарат №1	88,75	5,50	5,75	9,40	11,77	21,17	55,6	
3	Препарат № 2	85,50	0,00	14,50	8,76	11,23	19,98	56,2	
4	Препарат № 3	81,75	5,25	13,00	9,42	10,59	20,01	52,9	
5	Препарат № 4	81,50	0,00	18,50	9,48	9,26	18,74	49,4	

В ходе фитозащиты выявлена высокая (21%, ЭПВ = 5%) инфицированность семян основным возбудителем обыкновенной корневой гнили *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (syn. *Helminthosporium sativum* Pat., King et Bakke, *H. sorokiniana* Sacc.). На фоне такой значительной инфицированности установлена высокая эффективность (100%) протравливания (варианты 1,2,4) комплексами как с добавлением эмульгатора (10% ТБК: 10% ППК), так и PPP флороксана (10% ТБК : 10% ППК). Полученный фитосанитарный результат соответствует таковому (100%) от обработки семян чистым тебуконазолом (ТБК, порошок, 98%). Комплекс (10% ТБК: 10% ППК) без добавок контролировал *B. sorokiniana* на 85,7%. Возбудители обыкновенной корневой гнили – грибы *Fusarium* spp. – в использованном семенном материале встречались реже, их зараженность в контроле составила 1,5%. При использовании состава с добавлением эмульгатора (10% ТБК: 10% ППК) из обработанных зерновок выделено 8,5% фузариев, что выше чем в контрольном варианте в 5,7 раза. По-видимому, эмульгатор выступал как дополнительное питание для роста фу-

зариев на голодном субстрате – увлажненной фильтровальной бумаге. Если использовали состав (10% ТБК : 10% ППК) с флороксаном, то грибы *Fusarium* spp. подавлялись на 98,8%, практически равнозначно эффектам от чистого тебуконазола и препарату без добавок (100%). Аналогичный 100%-ный контроль альтернариоза обеспечивал только состав с добавлением эмульгатора (10% ТБК: 10% ППК). Комплекс с флороксаном подавлял рост грибов *Alternaria* spp. на 73,4%, что выше эффективности от применения препарата без добавок и чистого ТБК в 1,5 раза. Зараженность семян плесеньями хранения (грибы *Penicillium* spp.) оказалась не высокой – 2,75%. Препараты с добавлением эмульгатора (10% ТБК: 10% ППК), флораксана и чистый ТБК высокоэффективно (биологическая эффективность (БЭ) = 100 – 89,8%; контроль = 16,6%) защищали корневую систему. Прикорневая часть проростка не поражалась при обработке семян препаратом № 2, слабо – препаратами №№ 1 и 4 (БЭ = 100, 95,3 и 91,7%).

Количество нормально сформировавшихся проростков повышалось (на 6 и 2,75%; контроль = 82,75%) в вариантах 2 и 3 (препараты 1 и 2). При проращивании в рулонах фильтровальной бумаги в опытных вариантах отмечено угнетение прорастания зерновок. Довольно высокий процент (18,5, контроль = 16,0%) не проросших семян давало протравливание чистым ТБК, незначительно ниже (14,5 и 13,0% невсхожих зерновок) – препаратами без добавок и имеющим в составе флороксан. Ретардантный эффект проявлялся в укорачивании ростков. Их биомасса (контроль = 12,01 мг) снижалась (на 21,0-21,7%) от обработки семян препарат с эмульгатором и без добавок; на 27,0% – с флораксаном. Рост корней не угнетался: их доля в общей массе проростка была выше на 15,1 и 15,7% (состав 10% ТБК: 10% ППК как с добавлением эмульгатора, так и флораксана) и несколько меньше – на 12,4 и 8,9%, если использовали препарат без добавок и порошок ТБК (контроль = 40,5%).

Для выявления рост-стимулирующих свойств препаратов на первых этапах органогенеза пшеницы применили метод влажной камеры. Обработанные семена через 6 суток закладывались на влажное ложе (фильтровальная бумага, 4 слоя, ФБ-субстрат) в пластиковые чашки (n=30), естественное освещение, t = +20...22°C. Определялась динамика энергии прорастания (через 1, 2, 3 суток), всхожесть (через 7 суток). Показатели роста на первых этапах органогенеза фиксировали через 3 и 7 суток. В данном эксперименте выявлено несколько сниженная (на 3,4%; без обработки = 96,7%) энергия прорастания зерновок, обработанных препаратами № 1, 2 и 4 (табл. 4).

Таблица 4.

Влияние препаратов №№ 1-4 на формирование проростков на первых этапах органогенеза пшеницы, субстрат выращивания – увлажненная фильтровальная бумага, 4 слоя, естественное освещение, $t = +20...22^{\circ}\text{C}$, через 3 суток, 2021 г.

Варианты опыта		Энергия про-растания, %	Суммарная длина корней 1 проростка, см	Число корней, шт./проросток	Средняя длина 1 корня, см	Высота ростка, см
1	Без обработки	96,7	24,66±0,89	4,52	5,46	8,64±0,34
2	Препарат № 1	93,3	17,17±0,72	4,18	4,11	3,55±0,21
3	Препарат № 2	93,3	19,08±0,65	4,30	4,48	4,94±0,17
4	Препарат № 3	96,7	20,30±0,90	4,18	4,93	5,27±0,24
5	Препарат № 4	93,3	22,85±1,19	4,64	4,92	6,33±0,35

Препараты с добавками эмульгатора, флораксана и без таковых (№ 1, 2, 3) заметно тормозили корнеобразование. Число корней снижалось на 5-8%, их суммарная длина в 1,7, 1,3, 1,2 и 1,07 раза (контроль 4,52 шт./проросток и 24,66 см). Все препараты вызывали укорачивание ростков, особенно имеющий в составе эмульгатор (№ 1 в 2,4 раза). Ретардантный эффект снижался если эмульгатор заменяли на флороксан или использовали протравитель без добавок (№№ 2,3,4 = 1,6, 1,6 и 1,4 раза). У 7 сутокных проростков, выращенных из протравленных зерновок, суммарная длина корней превышала контрольный показатель (27,04 см) в 1,3, 1,4, 1,4 и 1,7 раза, соответственно, препаратам под № 1,2,3,4. Но развитие ростков по-прежнему отставало от контрольных растений (см. табл. 5).

Таблица 5.

Влияние препаратов №№ 1-4 на формирование проростков на первых этапах органогенеза пшеницы, субстрат выращивания – увлажненная фильтровальная бумага, 4 слоя, естественное освещение, $t = +20...22^{\circ}\text{C}$, через 7 суток, 2021 г.

Варианты опыта		Всхо-жесть, %	Суммарная длина корней 1 проростка, см	Число корней, шт./проросток	Средняя длина 1 корня, см	Высота ростка, см
1	Без обработки	96,6	27,04±0,84	4,62	5,85	16,12±0,36
2	Препарат № 1	96,6	33,86±1,48	4,76	7,11	8,39±0,41
3	Препарат № 2	88,9	37,40±1,46	4,56	8,20	11,07±0,36
4	Препарат № 3	96,6	37,30±1,54	4,45	8,38	11,36±0,46
5	Препарат № 4	88,9	47,00±2,20	4,70	10,00	11,60±0,57

Наиболее сильное (практически в 2 раза) ретардантное воздействие оказывал состав (10% ТБК: 10% ППК с добавлением эмульгатора, препарат № 1) (табл.6).

Таблица 6.

Влияние препаратов №№ 1-4 на накопление биомассы проростков пшеницы, субстрат выращивания – увлажненная фильтровальная бумага, 4 слоя, естественное освещение, t = +20...22°C, через 7 суток, 2021 г.

		Проросших, %		Воздушно-сухая биомасса (мг) нормально сформировавшихся проростков			
		нормально	ненормально	1 ростка	корней 1 проростка	1 проростка	доля ростков в биомассе проростка, %
1	Без обработки препаратами	96,6	3,4	11,70±0,30	8,30±0,30	20,00	58,5
2	Препарат №1	96,6	3,4	7,93±0,07	9,30±0,35	14,81	53,5
3	Препарат № 2	88,9	11,1	9,67±0,33	9,33±0,67	19,00	50,9
4	Препарат № 3	96,6	3,4	10,67±0,33	9,30±0,35	19,96	53,4
5	Препарат № 4	88,9	11,1	9,19±0,42	9,19±0,92	18,38	50,0

Остальные препараты снижали высоту ростка в 1,5 - 1,4 раза. Препараты № 2 и № 4 вызывали не нормальное прораствание зерновок, что в конечном итоге сказалось на всхожести, снизившейся до 88,9 против 96,6% в контроле.

Сильное ретардантное воздействие препаратов № 1-4 на рост и развитие ростков яровой мягкой пшеницы подтверждено в опыте № 3, где в качестве субстрата выращивания использован чернозем выщелоченный. Условия его проведения: зерновки обрабатывались за 6 суток до закладки на субстрат (почва – чернозем выщелоченный, 500 г / 30 шт. зерновок / пластиковую чашку), естественное освещение, t = +20...22°C, контролируемая влажность почвы.

Показатели роста фиксировали через 7 суток. Определялась всхожесть, высота ростка, биомасса проростков. В этом эксперименте препарат с добавлением эмульгатора обеспечивал 100%-ю всхожесть, что выше (на 10%) таковой при протравливании препаратом без добавок (90%); контроль = 96,7%. Интенсивность развития ростков в опытных вариантах уступала (на 33,2- 52,4%) контрольной (16,77 см) (табл. 7).

Таблица 7.

Влияние препаратов №№ 1-4 на развитие ростков пшеницы, субстрат выращивания – чернозем выщелоченный, естественное освещение, $t = +20...22^{\circ}\text{C}$, через 7 суток, 2021 г.

Вариант	про-рос-ших ненормально, %	не-про-рос-ших, %	Всхо-жесть, %	Высота ростка		Воздушно-сухая биомасса нормально сформировавшего проростка, мг		
				см	сни-же-ние, %	ростка	корней 1 проростка	
1	Без обработки препаратами	0,00	3,33	96,7	16,77±0,48	-	12,08±0,51	6,08±0,10
2	Препарат №1	0,00	0,00	100,0	7,99±0,27	52,4	7,33±0,33	7,00±1,15
3	Препарат № 2	3,33	3,33	93,3	9,94±0,40	40,7	8,98±0,08	7,17±0,17
4	Препарат № 3	6,67	3,33	90,0	9,89±0,40	41,0	8,86±0,14	7,71±0,65
5	Препарат № 4	0,00	3,33	96,7	11,20±0,43	33,2	8,96±0,58	8,63±0,32

Биомасса 7-суточных контрольных ростков составила 12,08±0,51 мг. В опытных вариантах наблюдали отставание в ее накоплении, которое интенсивнее проявилось при проращивании семян, обработанных препаратом с добавкой эмульгатора (препарат № 1 - в 1,6 раза) и несколько слабее (в 1,3-1,4 раза) в вариантах №№ 2,3,4. Испытуемые препараты на формирующуюся корневую систему угнетающе, так же, как и опыте №2, не воздействовали, на что указывает более высокий (в 1,15 и 1,17 раза – составы 10% ТБК : 10% ППК с эмульгатором и флораксаном; в 1,26 и 1,42 раза – без их добавки и чистый ТБК; контроль = 6,08 мг) показатель накопленной биомассы корней 1 проростка.

Заключение

Разработка протравителей, содержащих два и более действующих веществ фунгицидов является актуальной задачей, позволяющей получать препараты с широким спектром действия, снижающим риск появления резистентности и другим положительным свойствам. Приготовленные экспериментальные протравители на основе тебуконазола и пропиконазола обладали сильным ретардантным действием, которое не снижалось даже при применении РРР флораксан. Изучено влияние протравителей на фитосанитарное состояние семян, рост и развитие проростков яровой мягкой пшеницы, формирующихся из обработанных ими зерновок. Фитоэкспер-

тизой установлено значительное снижение колоний грибов, в частности, в варианте с препаратами ТБК и ППК, имеющими в составе эмульгатор и флороксан, достигнут 100%-ный эффект по подавлению гельминтоспориозно-фузариозной инфекции. Экспериментальные препараты заметно тормозили корнеобразование и укорачивали ростки, вызывали не нормальное прорастание зерновок, что в конечном итоге сказалось на всхожести, а также на накоплении биомассы ростков и проростков. Полученные результаты подтверждают перспективность использования методов механической химии для получения многокомпонентных протравителей для решения проблем резистентности.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Часть работ по приготовлению препаратов выполнена в рамках Государственного задания № 075-00277-24-00 при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Список литературы

1. Бурлакова, С.В., Власенко, Н.Г., Чкаников, Н.Д., & Халиков, С.С. (2020). Влияние многокомпонентных протравителей на зараженность фитопатогенами посевного материала и фитосенос яровой пшеницы. *Агрехимия*, (5), 72-79. <https://doi.org/10.31857/S000218812005004X> EDN: <https://elibrary.ru/fnuavg>
2. Власенко, Н.Г. (2008). К вопросу об агротехнологиях вообще и фитосанитарных технологиях в частности. *Вестник защиты растений*, (2), 3-10. EDN: <https://elibrary.ru/juzdzt>
3. Власенко, Н.Г., Бурлакова, С.В., Халиков, С.С., Федоровский, О.Ю., & Чкаников, Н.Д. (2017). Флороксан - потенциальный компонент комплексных протравителей зерновых культур. *Агрехимия*, (7), 49-54. <https://doi.org/10.7868/S0002188117070079> EDN: <https://elibrary.ru/ytglof>
4. Власенко, Н.Г., Бурлакова, С.В., Федоровский, О.Ю., Чкаников, Н.Д., & Халиков, С.С. (2018). Комплексный фунгицид на основе фениламинов и азолов для защиты семенного материала яровой пшеницы. *Агрехимия*, (10), 40-45. <https://doi.org/10.1134/S0002188118100149> EDN: <https://elibrary.ru/ymfrit>
5. Власенко, Н.Г., Бурлакова, С.В., Чкаников, Н.Д., & Халиков, С.С. (2019). Фунгицидный протравитель на основе азолов для обработки семян зерновых культур. *Агрехимия*, (6), 44-49. <https://doi.org/10.1134/S0002188119020145> EDN: <https://elibrary.ru/kltomc>

6. Ганиев, М.М., & Недорезков, В.Д. (2006). *Химические средства защиты растений*. Москва: КолосС, 248 с.
7. Голубцов, Д.Н., Жижина, Е.Ю., & Мелькумова, Е.А. (2022). Эффективность применения многокомпонентных фунгицидов против вредоносных микозов озимой пшеницы. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*, 15(3), 79-86. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_3_79 EDN: <https://elibrary.ru/sshetc>
8. Кекало, А.Ю., Немченко, В.В., Заргарян, Н.Ю., & Филиппов, А.С.
9. Фитосанитарные проблемы пшеничного поля и эффективность средств защиты от болезней. *Агрoхимия*, (10), 45-50. <https://doi.org/10.31857/S0002188120100038> EDN: <https://elibrary.ru/vvnajo>
10. Кекало, А.Ю., Халиков, С.С., Ильин, М.М., Чкаников, Н.Д., & Заргарян, Н.Ю. (2023). Комбинированные триазольные протравители и их влияние на рост и развитие проростков яровой пшеницы. *Агрoхимия*, (10), 55-62. <https://doi.org/10.31857/S0002188123100071> EDN: <https://elibrary.ru/lfqarw>
11. Малюга, А.А., Чуликова, Н.С., & Халиков, С.С. (2020). Эффективность инновационных препаратов на основе тебуконазола, тирама и карбендазима против болезней картофеля. *Агрoхимия*, (7), 57-67. <https://doi.org/10.31857/S000218812007008X> EDN: <https://elibrary.ru/rwrcmh>
12. Матыченков, В.В., Бочарникова, Е.А., & Пироговская, Г.В., Ермолович, И.Е. (2022). Перспективы использования кремневых препаратов в сельском хозяйстве (обзор). *Почвоведение и агрохимия*, 1(68), 219-234. [https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-219-234](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-219-234) EDN: <https://elibrary.ru/rmuzpg>
13. Тютерев, С.Л. (2001). Проблемы устойчивости фитопатогенов к новым фунгицидам. *Вестник защиты растений*, (1), 38-53. EDN: <https://elibrary.ru/zisgcp>
14. Халиков, С.С., Теплякова, О.И., & Власенко, Н.Г. (2022). Влияние препаративных форм тебуконазола на фитосанитарное состояние обработанных семян, рост и развитие проростков яровой пшеницы. *Агрoхимия*, (2), 45-55. <https://doi.org/10.31857/S0002188122020065> EDN: <https://elibrary.ru/owibsl>
15. El-Sayed, S.A. & Abdel-Monaim, M.F. (2017). Integrated control management of root rot disease in lupine plants by using some bioagents, chemical inducers and fungicides. *Plant. Sci. Agr. Res.*, 1(1:2), 1-8.
16. Campbell, B.C., Chan, K.L. & Kim, J.H. (2012). Chemosensitization as a means to augment commercial antifungal agents. *Frontiers in Microbiology*, 3:79, 1-20. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00079> EDN: <https://elibrary.ru/rmslyr>
17. Dzhavakhiya, V., Shcherbakova, L., Semina, Y., Zhemchuzhina, N. & Campbell, B. (2012). Chemosensitization of plant pathogenic fungi to agricultur-

- al fungicides. *Frontiers in Microbiology*, 3:87, 1-9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00087> EDN: <https://elibrary.ru/rgbomt>
18. Dzhavakhiya, V.G., Voinova, T.M., Statsyuk, N.V. & Shcherbakova, L.A. (2019). Sensitization of plant pathogenic fungi to the tebuconazole-based commercial fungicide using some analogues of natural amino acids. *AIP Conference Proceedings*, 2063(1):030005, 1-6. <https://doi.org/10.1063/1.5087313> EDN: <https://elibrary.ru/yxkoap>
 19. Karakotov, S.D. & Saraev, P.V. (2019). Preparative forms of modern pesticides. *Adaptively-integrated plant protection*. Moscow: Printing city, 65-76.
 20. Khalikov, S.S. & Dushkin, A.V. (2020). Strategies for Solubility Enhancement of Anthelmintics (Review). *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 54(5), 504-508. <https://doi.org/10.1007/s11094-020-02229-4> EDN: <https://elibrary.ru/acavrf>
 21. Lucas, J.A., Hawkins, N.J. & Fraaije, B.A. (2015). The evolution of fungicide resistance. *Advances in Applied Microbiology*, 90, 29-92. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2014.09.001> EDN: <https://elibrary.ru/yeyuvv>
 22. Montfort, F., Klepper, B.L. & Smiley, R.W. (1996). Effects of two triazole seed treatments, triticonazole and triadimenol, on growth and development of wheat. *Pest Manag. Sci.*, 46, 299-306. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9063\(199604\)46:4<315::AID-PS369>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9063(199604)46:4<315::AID-PS369>3.0.CO;2-R)
 23. Oliver, R.P. (2014). A reassessment of the risk of rust fungi developing resistance to fungicides. *Pest. Manag. Sci.*, 70, 1641-1645. <https://doi.org/10.1002/ps.3767>
 24. Selyutina, O.Y., Khalikov, S.S. & Polyakov, N.E. (2020). Arabinogalactan and glycyrrhizin based nanopesticides as novel delivery systems for plant protection. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 5864-5872. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07397-9> EDN: <https://elibrary.ru/vziehf>
 25. Vlasenko, N.G., Khalikov, S.S. & Burlakova, S.V. (2020). Flexible Technology of Protectants for Grain Seeds. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 548 082003, 1-10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/8/082003> EDN: <https://elibrary.ru/udhhri>

References

1. Burlakova, S. V., Vlasenko, N. G., Chkanikov, N. D., & Khalikov, S. S. (2020). Effect of multicomponent seed dressings on infestation of spring wheat seed material with phytopathogens and phytocenosis. *Agrochemistry*, (5), 72-79. <https://doi.org/10.31857/S000218812005004X> EDN: <https://elibrary.ru/fnuavg>
2. Vlasenko, N. G. (2008). On the issue of agricultural technologies in general and phytosanitary technologies in particular. *Plant Protection News*, (2), 3-10. EDN: <https://elibrary.ru/juzdzz>

3. Vlasenko, N. G., Burlakova, S. V., Khalikov, S. S., Fedorovsky, O. Yu., & Chkanikov, N. D. (2017). Floroxan as a potential component of complex seed dressings for cereal crops. *Agrochemistry*, (7), 49-54. <https://doi.org/10.7868/S0002188117070079> EDN: <https://elibrary.ru/ytglf>
4. Vlasenko, N. G., Burlakova, S. V., Fedorovsky, O. Yu., Chkanikov, N. D., & Khalikov, S. S. (2018). Complex fungicide based on phenylamides and azoles for protection of spring wheat seed material. *Agrochemistry*, (10), 40-45. <https://doi.org/10.1134/S0002188118100149> EDN: <https://elibrary.ru/ymfrit>
5. Vlasenko, N. G., Burlakova, S. V., Chkanikov, N. D., & Khalikov, S. S. (2019). Fungicidal seed dressing based on azoles for treatment of cereal crop seeds. *Agrochemistry*, (6), 44-49. <https://doi.org/10.1134/S0002188119020145> EDN: <https://elibrary.ru/kltomc>
6. Ganiev, M. M., & Nedorezkov, V. D. (2006). *Plant protection chemicals*. Moscow: KolosS, 248 p.
7. Golubtsov, D. N., Zhizhina, E. Yu., & Melkumova, E. A. (2022). Efficiency of multicomponent fungicides against harmful mycoses of winter wheat. *Bulletin of Voronezh State Agrarian University*, 15(3), 79-86. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_3_79 EDN: <https://elibrary.ru/sshetc>
8. Kekalo, A. Yu., Nemchenko, V. V., Zargaryan, N. Yu., & Filippov, A. S. Phytosanitary problems of wheat field and effectiveness of plant disease control agents. *Agrochemistry*, (10), 45-50. <https://doi.org/10.31857/S0002188120100038> EDN: <https://elibrary.ru/vvnajo>
9. Kekalo, A. Yu., Khalikov, S. S., Ilyin, M. M., Chkanikov, N. D., & Zargaryan, N. Yu. (2023). Combined triazole seed dressings and their effect on growth and development of spring wheat seedlings. *Agrochemistry*, (10), 55-62. <https://doi.org/10.31857/S0002188123100071> EDN: <https://elibrary.ru/lfqapw>
10. Kekalo, A. Yu., Khalikov, S. S., Ilyin, M. M., Chkanikov, N. D., & Zargaryan, N. Yu. (2023). Combined triazole seed dressings and their effect on growth and development of spring wheat seedlings. *Agrochemistry*, (10), 55-62. <https://doi.org/10.31857/S0002188123100071> EDN: <https://elibrary.ru/lfqapw>
11. Malyuga, A. A., Chulikova, N. S., & Khalikov, S. S. (2020). Efficiency of innovative preparations based on tebuconazole, thiram, and carbendazim against potato diseases. *Agrochemistry*, (7), 57-67. <https://doi.org/10.31857/S000218812007008X> EDN: <https://elibrary.ru/rwrcmh>
12. Matychenkov, V. V., Bocharnikova, E. A., Pirogovskaya, G. V., & Ermolovich, I. E. (2022). Prospects for using silicon preparations in agriculture (review). *Soil Science and Agrochemistry*, 1(68), 219-234. [https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-219-234](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-219-234) EDN: <https://elibrary.ru/rmuzpg>

13. Tyuterev, S. L. (2001). Problems of phytopathogen resistance to new fungicides. *Plant Protection News*, (1), 38-53. EDN: <https://elibrary.ru/zisgcp>
14. Khalikov, S. S., Teplyakova, O. I., & Vlasenko, N. G. (2022). Effect of tebuconazole formulations on phytosanitary condition of treated seeds, growth, and development of spring wheat seedlings. *Agrochemistry*, (2), 45-55. <https://doi.org/10.31857/S0002188122020065> EDN: <https://elibrary.ru/owibsl>
15. El-Sayed, S.A. & Abdel-Monaim, M.F. (2017). Integrated control management of root rot disease in lupine plants by using some bioagents, chemical inducers and fungicides. *Plant. Sci. Agr. Res.*, 1(1:2), 1-8.
16. Campbell, B.C., Chan, K.L. & Kim, J.H. (2012). Chemosensitization as a means to augment commercial antifungal agents. *Frontiers in Microbiology*, 3:79, 1-20. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00079> EDN: <https://elibrary.ru/rmslyr>
17. Dzhavakhiya, V., Shcherbakova, L., Semina, Y., Zhemchuzhina, N. & Campbell, B. (2012). Chemosensitization of plant pathogenic fungi to agricultural fungicides. *Frontiers in Microbiology*, 3:87, 1-9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00087> EDN: <https://elibrary.ru/rgbomt>
18. Dzhavakhiya, V.G., Voinova, T.M., Statsyuk, N.V. & Shcherbakova, L.A. (2019). Sensitization of plant pathogenic fungi to the tebuconazole-based commercial fungicide using some analogues of natural amino acids. *AIP Conference Proceedings*, 2063(1):030005, 1-6. <https://doi.org/10.1063/1.5087313> EDN: <https://elibrary.ru/yxkoap>
19. Karakotov, S.D. & Saraev, P.V. (2019). Preparative forms of modern pesticides. *Adaptively-integrated plant protection*. Moscow: Printing city, 65-76.
20. Khalikov, S.S. & Dushkin, A.V. (2020). Strategies for Solubility Enhancement of Anthelmintics (Review). *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 54(5), 504-508. <https://doi.org/10.1007/s11094-020-02229-4> EDN: <https://elibrary.ru/acavrf>
21. Lucas, J.A., Hawkins, N.J. & Fraaije, B.A. (2015). The evolution of fungicide resistance. *Advances in Applied Microbiology*, 90, 29-92. <https://doi.org/10.1016/b.s.aambs.2014.09.001> EDN: <https://elibrary.ru/yeyuvv>
22. Montfort, F., Klepper, B.L. & Smiley, R.W. (1996). Effects of two triazole seed treatments, triticonazole and triadimenol, on growth and development of wheat. *Pest Manag. Sci.*, 46, 299-306. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9063\(199604\)46:4<315::AID-PS369>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9063(199604)46:4<315::AID-PS369>3.0.CO;2-R)
23. Oliver, R.P. (2014). A reassessment of the risk of rust fungi developing resistance to fungicides. *Pest. Manag. Sci.*, 70, 1641-1645. <https://doi.org/10.1002/ps.3767>
24. Selyutina, O.Y., Khalikov, S.S. & Polyakov, N.E. (2020). Arabinogalactan and glycyrrhizin based nanopesticides as novel delivery systems for plant protection. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 5864-5872. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07397-9> EDN: <https://elibrary.ru/vziehf>

25. Vlasenko, N.G., Khalikov, S.S. & Burlakova, S.V. (2020). Flexible Technology of Protectants for Grain Seeds. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 548 082003, 1-10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/8/082003>
EDN: <https://elibrary.ru/udhhri>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Власенко Наталия Григорьевна, доктор биологических наук, академик РАН, профессор
Сибирский научно-исследовательский институт земледелия и химизации сельского хозяйства СФНЦА РАН
р.п. Краснообск, Новосибирский р-н, Новосибирская обл., 630501, Российская Федерация

Халиков Салават Самадович, доктор технических наук, старший научный сотрудник
ФГБУН «Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН»
ул. Вавилова, 28, стр. 1, г. Москва, 119334, Российская Федерация
khalikov_ss@ineos.ac.ru

Теплякова Ольга Ивановна, кандидат биологических наук
Сибирский научно-исследовательский институт земледелия и химизации сельского хозяйства СФНЦА РАН
р.п. Краснообск, Новосибирский р-н, Новосибирская обл., 630501, Российская Федерация
rudol4757@mail.ru

Халиков Марат Салаватович, научный сотрудник лаборатории физиологически активных фторорганических соединений
ФГБУН «Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН»
ул. Вавилова, 28, стр. 1, г. Москва, 119334, Российская Федерация
marat1988@ineos.ac.ru

Чкаников Николай Дмитриевич, доктор химических наук
ФГБУН «Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН»
ул. Вавилова, 28, стр. 1, г. Москва, 119334, Российская Федерация
nchkan@ineos.ac.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Natalia G. Vlasenko, Doctor of Biological Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor

Siberian Research Institute of Agriculture and Chemicalization of Agriculture SFSCA RAS

Krasnoobsk, Novosibirsk district, Novosibirsk region, 630501, Russian Federation

Salavat S. Khalikov, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher

A. N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of Russian Academy of Sciences (INEOS RAS)

28, bld. 1, Vavilova Str., Moscow, 119334, Russian Federation

khalikov_ss@ineos.ac.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4736-5934>

Olga I. Teplyakova, Candidate of Biological Sciences

Siberian Research Institute of Agriculture and Chemicalization of Agriculture SFSCA RAS

Krasnoobsk, Novosibirsk district, Novosibirsk region, 630501, Russian Federation

rudol4757@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0002-7322-1157>

Marat S. Khalikov, Research Fellow at the Laboratory of Physiologically Active Organofluorine Compounds

A. N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of Russian Academy of Sciences (INEOS RAS)

28, bld. 1, Vavilova Str., Moscow, 119334, Russian Federation

marat1988@ineos.ac.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3014-7383>

Nikolay D. Chkanikov, Doctor of Chemical Sciences

A. N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of Russian Academy of Sciences (INEOS RAS)

28, bld. 1, Vavilova Str., Moscow, 119334, Russian Federation

nchkan@ineos.ac.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1660-9223>

Поступила 23.10.2024

После рецензирования 02.12.2024

Принята 07.12.2024

Received 23.10.2024

Revised 02.12.2024

Accepted 07.12.2024