

УДК 635.21:631.8

ЭФФЕКТИВНОЕ БИОАКТИВНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ*

© И.Р. Аскаров¹, С.Б. Мухаммедов¹, С.С. Ортикова², М.И. Карабаева^{2,3**}

¹ Андижанский государственный университет, ул. Университетская, 129, Андижан, 170100, Узбекистан

² Ферганский государственный технический университет, ул. Ферганская, 86, Фергана, 150107, Узбекистан, muslimaxon1990@mail.ru

³ Международный институт пищевых технологий и инжиниринга, ул. Аль Ферганий, 204, Фергана, 150100, Узбекистан

В данной статье изучена биологическая активность и проведены физико-химические анализы комплексного соединения фурфуролиден-карбамида с ацетатом цинка, полученного на основе отходов сельского хозяйства и местного сырья. Изучен стимулирующий эффект препарата на рост, развитие и всхожесть различных сельскохозяйственных культур, таких как пшеница и хлопчатник. Приведены конкретные данные по улучшению показателей всхожести семян, биомассы растений, урожайности. Проведен детальный анализ антимикробных и фунгицидных свойств в отношении основных патогенов растений, вызывающих заболевания. Указаны виды и штаммы грибов, бактерий, на которые выявлено ингибирующее действие, а также минимальные подавляющие концентрации. Исследован механизм биологической активности, например, стимуляция защитных реакций растений, прямое токсическое воздействие на возбудителей болезней, регуляция процессов роста и развития. Представлены лабораторные результаты положительного влияния комплексного соединения фурфуролиден-карбамида с ацетатом цинка на развитие растений и антагонистических свойств в отношении патогенных грибов, вызывающих на сегодняшний день различные заболевания растений и наносящие им серьезный вред. Приводятся сведения, полученные в результате изучения эколого-токсикологических свойств этого биологически активного соединения. Установлено, что данное биологически активное соединение по острой токсичности относится к веществам IV класса опасности – малоопасным соединениям. Соединение, обладая слабым функционально-кумулятивным действием, оказывает слабое раздражающее действие на слизистую оболочку глаз, а на кожу не оказывает негативного воздействия.

Ключевые слова: фурфурол, карбамид, биологическая активность, биогенный металл, гриб, всхожесть, ИК-спектр, степень токсичности.

Для цитирования: Аскаров И.Р., Мухаммедов С.Б., Ортикова С.С., Карабаева М.И. Эффективное биоактивное соединение для сельского хозяйства на основе местного сырья // Химия растительного сырья. 2025. №3. С. 384–395. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250315181>.

Введение

Наличие и достаточность производственных ресурсов имеет большое значение в нахождении своего места стран мира в мировой экономике и дальнейшего улучшения социально-экономического положения населения. По сути, основная проблема экономики – удовлетворение безграничных потребностей при ограниченных ресурсах. При этом основной упор делается на энергетические ресурсы, почву, воду и продовольствие. Развитие трех последних в этом списке неразрывно связано с сельским хозяйством. Именно поэтому сельское хозяйство находится на одном уровне с энергетикой в списке приоритетных направлений стран, претендующих на статус мировой экономической державы [1].

Как показала история развития мирового сельского хозяйства, одним из важнейших факторов здорового развития растений и получения высокого урожая является обеспечение их минеральными питательными веществами и эффективная борьба с основными патогенными грибами, вызывающими

* Данная статья имеет электронный дополнительный материал (приложение), который доступен читателям на сайте журнала. DOI: 10.14258/jcprm.20250315181s

** Автор, с которым следует вести переписку.

заболевания. Согласно статистическим данным, в текущих сельскохозяйственных условиях обитает около 30000 сорняков, 10000 видов вредных насекомых и других артроподов, 3000 видов нематодов, 120000 грибов, около 100 фитопатогенных бактерий и около 600 болезнетворных вирусов. Несмотря на совершенствование мероприятий по защите растений и предотвращение постоянного роста затрат на их защиту, затраты на борьбу с вредителями в сельском хозяйстве на протяжении нескольких десятилетий остаются на одном уровне [2, 3].

Биологически активные вещества могут быть природными или синтетическими, применение которых возможно начиная с химической обработки перед посадкой семян и при всех периодах вегетации растений, а также снижающие потребность в удобрениях сельского хозяйства и ускоряющие рост растений, повышая устойчивость к водным и абиотическим стрессам [4].

В малых концентрациях эти вещества являются эффективными и способствуют нормальной работе жизненно важных процессов растений, позволяя получать высокий урожай и качественную продукцию. При правильном использовании в посевах они напрямую влияют на физиологические процессы растений, повышают рост, развитие и сопротивляемость к различным заболеваниям [5, 6].

В условиях нашей страны очень важно иметь высокую всхожесть семян и высокий процент всхожести для получения высокого урожая посевов хлопка и пшеницы. Сегодня в аграрном секторе республики семена хлопчатника и пшеницы перед посадкой обрабатывают различными биологически активными веществами с целью повышения их плодородия и борьбы с такими широко распространенными заболеваниями, как вилт, гоммоз, корневые гнили и др. Большая часть используемых лекарств и стимуляторов импортируется в нашу страну из зарубежья. Большинство из этих используемых препаратов считаются высокотоксичными.

Таким образом, разработка технологий по получению малотоксичных, высокоэффективных и дешевых биологически активных веществ на основе местного сырья, способных замещать импортируемые, является важным направлением.

Обзор литературы и методов

Одним из методов получения фурфурола является кислотный метод, предусматривающий применение различных минеральных кислот, в качестве катализатора процессов, согласно которому сырье подвергают кислотному гидролизу, в результате которого образовавшиеся пентозы под действием кислоты подвергаются дегидратации, ведущей к образованию фурфурола. Фурфурол проявляет сильные фунгицидные и лечебные свойства [7]. Синтез фурфурола можно осуществлять, используя сельскохозяйственные отходы, такие как корзинки подсолнечника, пшеничную солому, стебли кукурузы и хлопчатника [8]. Карбамид, являясь типичным представителем азотных удобрений, имеет ряд преимуществ по сравнению с ними, такими как высокая концентрация азота в его составе, низкая стоимость, удобство транспортировки и использования. Макроэлемент азота активно стимулирует рост и развитие растения с момента его прорастания и до его урожайности [9]. В результате взаимодействия фурфурола с мочевиной в различных мольных соотношениях образуется ряд биологически активных соединений. Одним из них является фурфуролиден-карбамид [10]. Это соединение, обладая комплексным действием, единовременно борется с патогенными грибами, вызывающими различные заболевания, а также стимулирует рост и развитие растений. С целью дальнейшего повышения биологической активности полученного фурфуролиден-карбамида можно образовать комплексное соединение с необходимым для растений микроэлементом цинком. Микроэлемент цинк повышает устойчивость растения к холodu и жаре, улучшает усвоение растением макроэлементов, предотвращает снижение количества крахмала и сахарозы в организме растения. Если растению не хватает цинка, деление растительных клеток замедляется, листья становятся бледно-зелеными, а плоды сморщиваются [11].

Разработка мер борьбы с патогенными грибами, вызывающими заболевания растений, связана с подбором высокоактивных микроорганизмов-антагонистов и специфических для них антибиотиков [12].

Для изучения влияния фунгицидов, применяемых в сельском хозяйстве, на патогенные грибы важна разработка расходных норм фунгицидов, рекомендуемых при различных заболеваниях [13]. При проведении исследований по борьбе с патогенными грибами, изучении морфологических особенностей видов грибов [14], выделении видов грибов из тканей больных растений [15], получении чистой культуры видов грибов [16] применяют методы, принятые в микробиологии, микологии и фитопатологии.

Лекарственные препараты, используемые в сельском хозяйстве, могут попадать в организм человека через продукты растительного и животного происхождения [17, 18]. Эколого-токсикологические свойства химических препаратов, применяемых в сельском хозяйстве, учитываются изменчивостью их распространения в окружающей среде. Уровень негативного воздействия препаратов на человека и конкретные условия их применения определяются наличием их остатков в почве и влиянием на качество урожая [19].

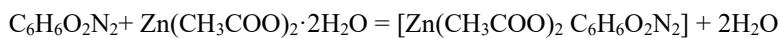
Экспериментальная часть

500 г опилок смешивают с поваренной солью, помещают в круглодонную колбу емкостью 4 л и заливают в нее 2 л 10% серной кислоты. Трубку круглодонной колбы соединяют резиновым шлангом с круглодонной колбой, наполненной 1000 мл воды. Колба соединяется через более толстую трубку с холодильником Либиха, который, в свою очередь, соединен с колбой Вюрца емкостью 100 мл, взятой в качестве сборника. В сборную колбу предварительно наливают 50 мл хлороформа и небольшое количество 10% серной кислоты. Реакционную колбу обрабатывают асбестом и нагревают на песчаной бане до тех пор, пока смесь в колбе хорошо не закипит.

Полученный фурфурол отгоняют вместе с водяным паром и растворяют в хлороформе в сборнике. Сконденсированный водяной пар через резиновый шланг обратно возвращается в реакционную колбу. Реакцию продолжают до тех пор, пока конденсат, стекающий из холодильника, не изменит цвет на фильтровальной бумаге, смоченной раствором ацетата анилина. Раствор хлороформа отделяют от водной части с помощью разделительной воронки, промывают сначала содой, затем водой и сушат сульфатом натрия. Хлороформ откачивают в колбу Кляйзена, остаток (температура бани не должна превышать 130 °C) откачивают под вакуумом и получают фракцию, кипящую при постоянной температуре.

Синтез соединения фурфуролиденкарбамида (ФК). 50 мл вновь синтезированного фурфурола, 50 г карбамида и 15 мл дистиллированной воды заливают в колбу емкостью 250 мл, установленную на магнитной мешалке, и нагревают до 60 °C. Температуру контролируют с помощью термометра, установленного в реакционной колбе. После того как температура достигнет достаточной величины, добавляют 1–1.5 мл 20%-ного раствора NaOH. Через 20 мин смесь охлаждают. Полученный осадок отделяют фильтрованием. Выделенный осадок промывают и затем перекристаллизовывают. Кристаллы сушат при температуре 40–50 °C.

Синтез комплексного соединения фурфуролиденкарбамида (ФК) с металлическим цинком (ФК+Zn). К водному раствору фурфуролиденкарбамида добавляют водный раствор ацетата цинка Zn(CH₃COO)₂·2H₂O и перемешивают в течение 15–20 мин на магнитной мешалке при температуре 70 °C. Полученную смесь разливают в кристаллизаторы. Через один день образовавшийся осадок фильтруют. Выделенный осадок промывают и перекристаллизовывают.



Для подтверждения синтезированного соединения использован современный масс-спектрометрический анализ. Данный эксперимент проводился методом ионизации молекулярными ионами азота в масс-спектрометре марки AxION 2 TF фирмы Perkin Elmer. Масс-спектры твердых веществ, полученные методом ионизации ионами в плазменном состоянии, часто не соответствуют фрагментам, содержащимся в веществе [20].

Для структурного анализа полученных соединений использовали ИК-спектроскопический анализ. При проведении данного эксперимента использовался ИК-Фурье спектрометр IRTtracer-100 (SHIMADZU CORP., Япония, 2017 г.) с системой полного внутреннего отражения (СПВО) связи MIRACLE-10 алмаз/призма ZnSe (спектральные колебания по шкале волновых чисел – 4000–400 см⁻¹; разрешение – 4 см⁻¹, чувствительность отношения сигнал/шум – 60000 : 1, скорость сканирования – 20 спектров в секунду). В результате анализа ИК-спектров можно получить дополнительную информацию о структурном состоянии путем определения характерных точек поглощения функциональных групп, входящих в состав вещества [21, 22].

Для морфологического изучения внешнего вида кристаллов полученного образца и определения массовых процентов составных элементов при исследования образцов с помощью сканирующего электронного микроскопа использовали сканирующий электронный микроскоп SEM-EVO MA 10 (Zeiss, Германия). При проведении экспериментов на сканирующем электронном микроскопе изначально готовили образец. При подготовке пробы ее помещают в круглые емкости из металлического сплава диаметром 1 см

и толщиной 1–3 мм, после чего под давлением изготавливают гранулы и покрывают двусторонней склеивающей углеродной пленкой. При измерении использовалось ускоряющее напряжение 20.00 кВ (EHT – Extra High Tension), рабочее расстояние (WD-рабочее расстояние) составляло 8.5 мм. Измерения проводились в режиме регистрации вторичных электронов (SE 1-детектор вторичных электронов). Внешний вид образца был сфотографирован с помощью SmartSEM в масштабе 100 микрон. Также определялся состав элементов методом рентгеновской спектроскопии (ЭДС) на сканирующем электронном микроскопе SEM-EVO MA 10 (Zeiss, Германия), в котором использовался энергодисперсионный элементный анализатор – Aztec Energy Advanced X-act. SDD [23].

Антагонистические свойства вещества, полученного на основе местного сырья, изучены по отношению к сопротивляемости многих фитопатогенных микромицет из тестовых культур нашей республики с использованием грибов *V. dahliae*, *F. oxysporum*, *F. culmorum*, *F. poae*, *F. graminearum*, *Th. Basicola*, губительно влияющих не только на урожайность, но и на качество растений [24].

Проверка соединений проводилась в процессе наблюдения роста и активности образовавшихся испытательных микроорганизмов в растворах различных концентраций посредством сравнения диаметра зон инкубации путем распространения в твердых питательных средах агар-агара [25].

В лабораторных условиях изучено влияние полученных 0.1, 0.01 и 0.001%-ных водных растворов FK+Zn на всхожесть семян хлопчатника и пшеницы. Для этой цели использовали семена пшеницы «Крошка» и хлопка сорта «Андижан-35». Лабораторные эксперименты проводились согласно литературе [26].

Семена хлопчатника замачивали в растворе испытуемых веществ на 24 ч. Масса раствора составляла 60% от массы семян. Для каждого раствора эксперимент проводился на параллельных пробах по 100 семян. Семена хлопчатника прорачивали в термостате Memmert в темноте при температуре 20±10 °C и в условиях контролируемой влажности. Подсчет проросших семян проводили дважды: первый – в первые 5 дней для определения предварительной всхожести, второй – в течение 10 дней для определения общей всхожести. За показатель энергии прорастания и всхожести семян принимали среднее арифметическое значение общего количества проросших семян всех образцов. Таким же образом прорачивали по 100 зерен пшеницы, помещенных в емкостях, используя разные растворы испытуемого вещества. Семена пшеницы прорачивали в термостате в темноте при температуре 20±10 °C и в условиях контролируемой влажности. В первые 3 суток была определена сила прорастания семян пшеницы, а в последующие 5 суток – всхожесть семян.

Изучены параметры токсичности биологически активного соединения ФК+Zn, полученного на основе фурфурола из рекомендованного местного сырья, мочевины и ацетата цинка.

Соединение, образованное фурфуролиден-дикарбамидом с ацетатом цинка, представляет собой нелетучее вещество желтоватого оттенка, при растворении в воде образующее гомогенный раствор. Для определения уровня токсичности комплексного соединения изучены его токсические свойства у теплокровных животных при однократном поступлении через желудочно-кишечный тракт животных. Основными критериями оценки токсического действия препарата в остром эксперименте были: поведение и общее состояние животных, время начала отравления и гибели. Кроме того, были проведены эксперименты по определению влияния соединения на слизистую оболочку глаз и кожи, кумулятивных свойств, хронической токсичности, влияния препарата на органолептические свойства воды, а также допустимых норм в воздухе.

Результаты и их обсуждение

При ИК-спектроскопическом анализе комплексного соединения FK+Zn, основанном на определении соответствующих частот поглощения функциональных групп, формирующих образец, с точки зрения структуры молекулы были достигнуты необходимые результаты. Результаты исследования сравнивали с ИК-спектрами соединения фурфуролиденкарбамида и ацетата цинка, образующих комплексное соединение. На нижеприведенных рисунках 1 и 2 показан ИК-спектр ФК и Zn(CH₃COO)₂·2H₂O, а на рисунке 3 показан ИК-спектр комплекса ФК+Zn.

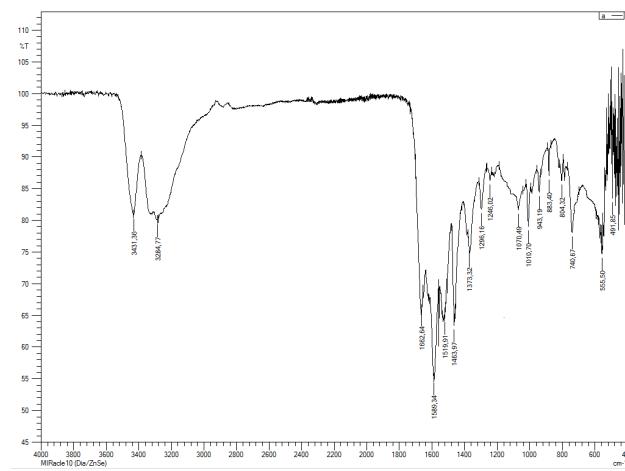


Рис. 1. ИК-спектр ФК

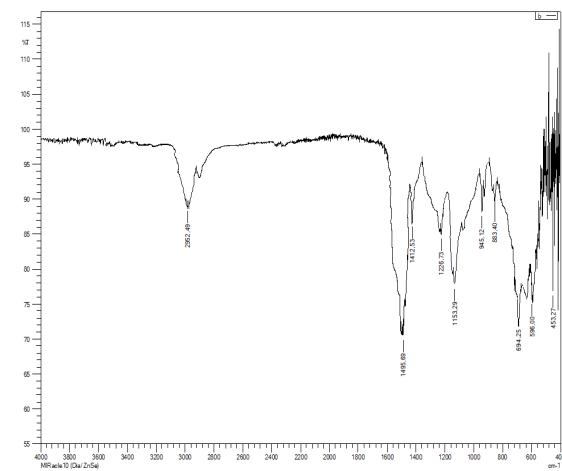
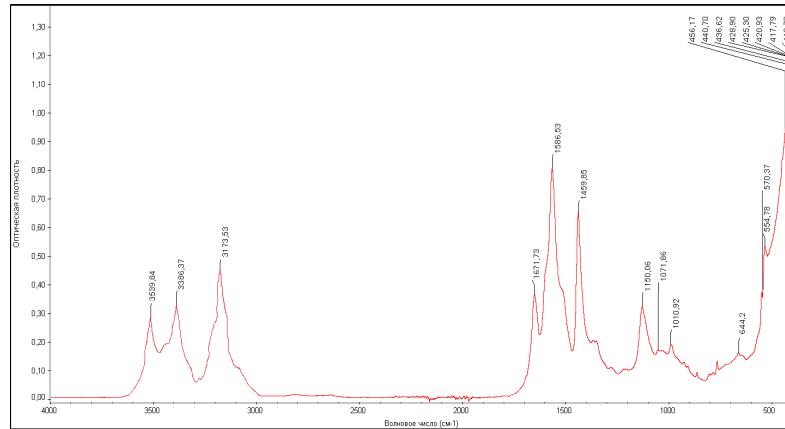
Рис. 2. ИК-спектр $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ 

Рис. 3. ИК-спектр ФК+Zn

В таблице 1 приведены частоты поглощения основных функциональных групп, выявленных в результате анализа.

Результаты анализа свидетельствуют о том, что образование функциональных групп $\nu_{as}NH_2$ и ν_sNH_2 происходит в точке поглощения 3431.36 см^{-1} и 3284.77 см^{-1} соответственно при частоте 1662.24 см^{-1} – $\nu C=O$, деформационные колебания $\delta C-N$ и δNH_2 при поглощении 1589.34 см^{-1} и 1519.91 см^{-1} ; при 1463.97 см^{-1} – $\nu_s(COO)$; 1010.70 см^{-1} – фурановое кольцо; при частоте 943.19 см^{-1} – $\nu C-C$; при 740.67 см^{-1} – $\nu C-C$ в ацетате и при деформационном колебании 644.22 см^{-1} наблюдается образование координационного соединения $M-N$ посредством присоединения атомов азота к ионам металла.

В результате анализа исследуемого комплексного соединения на сканирующем электронном микроскопе был зафиксирован его поверхностный вид. Полученное изображение четко отражает морфологическую структуру вещества. Вместе с этим при помощи графического спектра исследуемого вещества были определены массовые доли образующих его элементов. При этом рассчитывались массовые доли элементов в веществе. В таблице 2 и на рисунках 1 и 2 электронного приложения показаны результаты, полученные с помощью данного устройства.

Таблица 1. Результаты ИК-спектроскопического анализа

Соединения	$\nu_{as}NH_2$	ν_sNH_2	$\delta C=N$	$\nu C=O$	$\nu C-N$	$\nu_{as}C-H$	$\nu C-C$	δCH_3	$\delta M-N$
ФК	3431.3	3284.7	1589.3	1662.2	1463.9	–	740.6	–	–
$Zn(CH_3COO)_2$	–	–	–	1625.5	–	2974.2	824.3	1158.6	–
ФК+Zn	3439.8	3386.3	1586.5	1671.7	1459.8	3173.5	735.5	1150	644.2

Таблица 2. Результаты анализа при сканирующем электронном микроскопе

Массовая доля элементов в комплексном соединении ФК+Zn, %	Теоретический	Экспериментальный
C	33.6	34.2
O	30.2	30.7
Zn	19.8	20.7
N	14.2	14.4

Примечание: атом водорода в соединении не был включен в экспериментальный расчет. Таким образом, массовая доля элементов экспериментально несколько отличалась от представленных результатов.

В результате данного анализа мы видим, что исследуемое комплексное соединение содержит элементы углерода – 34.2%, кислорода – 32.2%, цинка – 20.7% и азота – 14.4%. Эти массовые доли оказались очень близкими к теоретическим расчетам. Определение в результате эксперимента элемента цинка в составе соединения означает, что образовался комплекс фурфуролиден-дикарбамида с ацетатом цинка.

В результате зафиксированных при термическом анализе эндотермических и экзотермических пиков были определены некоторые физические свойства комплекса, образуемого фурфуролиден-дикарбамидом с ацетатом цинка. Эти результаты представлены на рисунках 4 и 5.

Данный рисунок позволил сравнить значения ТГ, ДСК и ДТА с воздухом анализируемого комплекса в атмосфере N₂. На кривой линии -ТГ можно видеть устойчивость комплекса фурфуролиден-дикарбамида с ацетатом меди с воздействием до температуры 190 °C. Поскольку ниже этой температуры, то есть в диапазоне температур от 50 до 180 °C, мы видим, что за счет влажности образца потеря массы происходит всего на 4–5%. Первый эндотермический пик, зарегистрированный на ДСК, совпал с температурой плавления комплекса с потерей массы 35% при 90 °C. Второй эндотермический пик наблюдался при 175 °C с потерей массы 10%. Эндотермические эффекты также определялись по ДТА в присутствии воздуха. Это условие указывает на то, что они соответствуют процессу деградации без окисления. По данным ДТА, при температуре 720 °C наблюдался высокий экзотермический эффект при горении остатков пробы, т.е. окислении.

В результате проведенных исследований и на основании теоретических данных установлено, что комплексное соединение, образуемое фурфуролиденкарбамидом с ацетатом цинка, имеет следующее строение (рис. 6).

В таблице 3 представлены результаты анализа антагонистических противогрибковых свойств соединения, полученного на основе местного сырья.

Как следует из таблицы 3, установлено, что данный препарат, полученный на основе местного сырья, оказывает существенное воздействие на патогенные грибы *V. dahliae*, *F. oxysporum*, *F. culmorum*, *F. roae*, *F. graminearum*, *Th. basicola*. Было отмечено, что выбранные тест-организмы обладают меньшими антагонистическими свойствами только по отношению к грибу *F. solani*. Противогрибковый эффект препарата ФК+Zn значительно возрастал с увеличением концентрации.

В таблице 4 представлены результаты исследования влияния образцов с различной концентрацией исследуемого соединения на всхожесть семян хлопчатника.

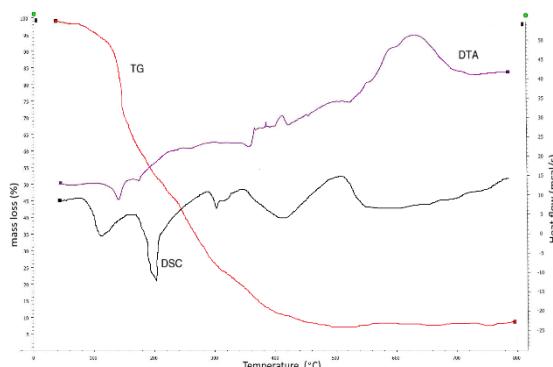


Рис. 4. Дериватограмма ФК

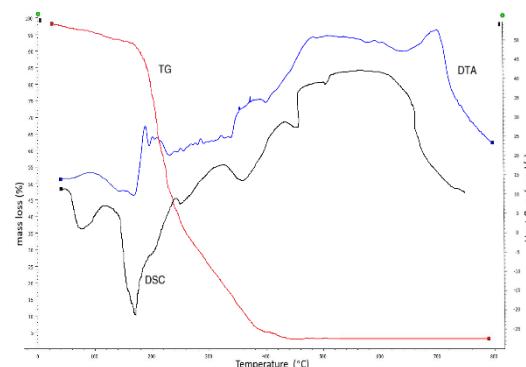


Рис. 5. Дериватограмма ФК+Zn

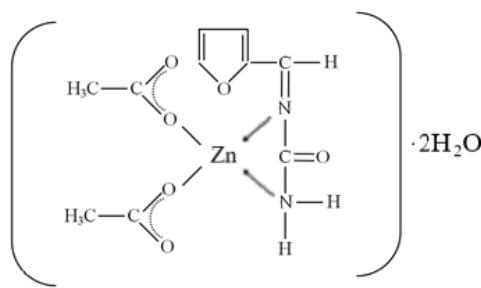


Рис. 6. Структурное строение комплексного соединения ФК+Zn

Таблица 3. Влияние комплексного соединения ФК+Zn против патогенных грибов

Образец	Патогенные грибы (тест-организмы)	Концентрация, мг/мл		
		10	15	40
		фунгицидная и фунгистатическая зона, мм		
ФК	<i>Verticillium dahliae</i>	8.2	10.3	19.4
	<i>Fusarium oxysporum</i>	3.8	4.3	9.5
	<i>Fusarium cultorum</i>	6.2	13.2	15.2
	<i>Fusarium poae</i>	7.8	11.5	24.7
	<i>Fusarium graminearum</i>	14.4	18.5	21.8
	<i>Fusarium solani</i>	—	—	—
	<i>Thielaviosis basicola</i>	9.2	15.1	28.2
ФК+Zn	<i>Verticillium dahliae</i>	9.2	12.2	28.3
	<i>Fusarium oxysporum</i>	4.9	5.9	11.2
	<i>Fusarium cultorum</i>	6.5	13.7	27.2
	<i>Fusarium poae</i>	8.3	12.1	21.5
	<i>Fusarium graminearum</i>	15.4	19.8	22.6
	<i>Fusarium solani</i>	—	—	3.2
	<i>Thielaviosis basicola</i>	9.2	15.1	25.6

Таблица 4. Влияние комплексного соединения ФК+Zn на энергию прорастания и всхожесть семян хлопчатника

Образцы	Контроль (вода)	Энергия прорастания семян					
		ФК*	ФК**	ФК***	ФК+Zn*	ФК+Zn**	ФК+Zn***
1 день	—	—	—	—	—	—	—
2 день	—	—	—	—	—	—	—
3 день	—	—	—	—	31	8	—
4 день	5	17	12	3	63	45	11
5 день	17	59	45	29	86	61	43
Итого	17	59	45	29	86	61	43
Всхожесть семян, %							
6 день	25	75	50	35	92	61	70
7 день	52	88	68	43	94	73	84
8 день	65	89	86	86	98	85	93
9 день	81	94	90		100	98	97
10 день							
Итого	81	94	90	86	100	98	97

Примечание: Сорт хлопка-сырца: Андижан-35, Сортовая чистота: 99.0%; Категория семян: элитные (семена элиты); Лабораторное оборудование: Термостат, Температура: 20 °C; * – 0.1%; ** – 0.01%; *** – 0.001%.

Как следует из результатов, представленных в таблице 4, энергия прорастания семян хлопчатника, пророщенных в контроле (воде), составила 17%, а всхожесть семян – 81%.

Наиболее высокие показатели энергии прорастания в 0.1% растворе ФК+ Zn составила 86%, а всхожесть – 100%. В 0.01% растворе соединения всхожесть составила 98%, что, как мы видим, выше, по сравнению с водой, выбранной в качестве контроля.

В результате испытаний энергия прорастания семян пшеницы, пророщенных в 0.1% растворе ФК+Zn, составила 82%, всхожесть – 100%. При обработке 0.1, 0.01, 0.001% растворами биостимулятора ФК+Zn установлено, что с уменьшением концентрации растворов снижается и всхожесть семян (табл. 5).

С целью определения средних смертельных доз этого биологически активного соединения были проведены эксперименты на опытных животных – белых крысах и мышах. Для получения разных доз мыши и крысы были разделены на 6 групп. В таблице 6 приведены результаты проведенных исследования по изучению степени острой токсичности препарата.

При пероральном введении крысам препарата ФК+Zn в дозах 2000 и 2500 мг/кг через 5–10 мин наблюдалась трепетание, сужение зрачков, учащенное дыхание, а через 2–3 ч состояние животных нормализовалось. При дозе 2000 мг/кг гибели животных не наблюдалось (0/6), при дозе 2500 мг/кг через 1 день наблюдалась смертность (1/6). При введении препарата в дозах 3000, 4000 и 5000 мг/кг наблюдалась возбуждение, тахикардия, учащенное дыхание и сужение зрачков. Через 4–5 ч движение животных нормализовалось. Через 1–3 дня гибель животных фиксировалась у 3/6 при дозе 3000 мг/кг, у 4/6 при дозе 4000 мг/кг и у 6/6 при дозе 5000 мг/кг.

Мышам перорально вводили 1500, 1800, 2000, 2500 и 3000 мг/кг. После трех дней эксперимента зафиксированная смертность животных составила 1/6 при дозе 1500 мг/кг, 2/6 при дозе 1800 мг/кг, 3/6 при дозе 2000 мг/кг, 5/6 в дозе 2500 мг/кг и 6/6 в дозе 3000 мг/кг.

На основе зафиксированных результатов средняя летальная доза препарата для мышей составляет (LD₅₀) 2040 мг/кг (LD₁₆ 1425 мг/кг, LD₈₄ 2610 мг/кг), для белых крыс – (LD₅₀) 3275 мг/кг (LD₁₆ 2700 мг/кг, LD₈₄ 3875 мг/кг).

Таким образом, установлено, что по степени токсичности препарат относится к веществам IV класса опасности – малоопасные соединения.

Таблица 5. Влияние комплексного соединения ФК+Zn на энергию прорастания и всхожесть семян пшеницы

Энергия прорастания семян							
Образцы	Контроль (вода)	ФК*	ФК**	ФК***	ФК+Zn*	ФК+Zn**	ФК+Zn***
1 день	–	17	7	6	21	12	2
2 день	–	41	37	32	45	25	12
3 день	15	75	61	55	68	46	45
Итого	15	85	61	55	82	46	45
Всхожесть семян, %							
4 день	21	89	70	76	86	73	73
5 день	45	94	82	93	97	84	84
6 день	68	98	95	95	100	98	90
7 день	83		96				93
8 день							95
Итого	83	98	96	95	100	98	95

Примечание: Сорт пшеницы: Крошка, Сортовая чистота: 99.7%; Категория семян: элитные (семена элиты); Лабораторное оборудование: Термостат, Температура: 20 °C ;* – 0.1%; ** – 0.01%; *** – 0.001%

Таблица 6. Степень острой токсичности комплекса, образованного фурфуролиденкарбамидом с ацетатом цинка

Опытное животное	Пол	Доза, мг/кг	Смертность животных	LD ₁₆ -m+m	LD ₅₀ -m+m	LD ₈₄ -m+m
Крыса	мужской	2000	0/6	2700	3275	3875
		2500	1/6			
		3000	3/6			
		4000	4/6			
		5000	6/6			
Мышь	мужской	1500	1/6	1425	2040	2610
		1800	2/6			
		2000	3/6			
		2500	5/6			
		3000	6/6			

При изучении действия испытуемого препарата на слизистую оболочку глаз белых крыс подопытным служил правый глаз животных, а контролем (эталоном) – левый глаз. Через 5 мин после введения препарата наблюдалось сужение и закрытие глазной щели. Через час после начала опыта наблюдаемые признаки

уменьшились, а через четыре часа после начала опыта исчезли полностью. Препарат оказывает легкое раздражающее действие на слизистую оболочку глаза.

Влияние препарата на кожу изучали на 10 белых крысах, нанося препарат в виде аппликации на кожу живота подопытных животных. После 4-часового воздействия препарат смывали проточной водой и осматривали экспериментальные участки кожи. После снятия аппликаций в динамике через 1, 3, 5 сут на опытных участках признаков царапин не наблюдалось. Препарат не оказывает негативного воздействия на кожу.

Исследование кумулятивных свойств препарата проводилось на двух группах экспериментальных животных. Для эксперимента были взяты белые крысы каждого пола массой 160–190 г. Первая группа животных получала препарат в дозе 1/10 ЛД₅₀, вторая группа служила в качестве контроля. В динамике в каждом 2-недельных экспериментах для изучения биохимических показателей проводился анализ образцов крови. В первой группе произошли статистически значимые изменения интегральных биохимических показателей. Поскольку среди животных не наблюдалось смертности, не было необходимости расчета коэффициента кумуляции. Установлено, что препарат оказывает медленное функциональное кумулятивное действие.

Хроническая токсичность. В качестве пороговых и максимально пороговых пределов были выбраны дозы препарата 14.0 и 2.8 мг/кг соответственно. Была научно обоснована и рассчитана ДСД (допустимая суточная доза) 3.36 мг/день для человека.

При нормировании препарата в объектах окружающей среды определяли коэффициент предельно допустимых концентраций препарата в воде и воздухе (ПДК). Поскольку препарат придает воде незначительный запах, были проведены эксперименты по определению предельной концентрации препарата. Определение порога запаха проводили при различных исходных концентрациях препарата в воде (0.3–3.5 мг/л). По результатам большинства одораторов порог запаха обычно составляет 1.5 мг/л. Результаты статистической обработки позволяют считать порогом ощущения запаха концентрацию 1.6 мг/л. Графический метод определения ПДК позволил установить ПДК на уровне 1.5 мг/л, а практический предел установлен на уровне 3.2 мг/л. В изученных концентрациях препарат не оказал влияния на санитарный режим водоемов. Анализируя полученные данные по изучению влияния препарата на органолептические свойства воды и санитарный режим водоемов, установлено, что лимитирующим признаком вредного воздействия является органолептический (запах) предел на уровне 1.5 мг/л. С учетом результатов санитарно-токсикологического эксперимента ДК (допустимый коэффициент) в водоемах рекомендуется на уровне 1.5 мг/л.

Для нормирования вредных веществ в воздухе, которые широко используются на практике, а также с учетом параметров токсикометрии и физико-химических свойств препарата, согласно расчетам и научным обоснованиям рекомендуется следующее: в атмосферном воздухе ДК – 0.05 мг/м³, в рабочем воздушном пространстве ПДК – 2.5 мг/м³.

По предельно допустимому количеству для пищевых продуктов, примерной допустимой концентрации в почве – по утвержденным для пищевых продуктов стандартам этот препарат «не допускается» в хлопковом масле. Рекомендуемая норма в почве составляет 1.15 мг/кг.

В таблице 7 представлены обобщенные результаты по правилам и гигиеническим нормам применения этого препарата в сельском хозяйстве.

Таблица 7. Гигиенические нормы и правила применения препарата ФК+Zn в сельском хозяйстве

№	Показатели	Значение
1	ПДК в водоемах, мг/л	0.3
2	ПДК в воздухе рабочих зон, мг/м ³	5
3	ПДК в атмосферном воздухе, мг/м ³	0.05
4	Допустимое значение в почве, мг/кг	1.15
5	Максимально допустимое количество в пищевых продуктах, мг/кг	«не допускается»
6	Зона санитарной защиты (ЗСЗ), м	100
7	Срок возврата к работе, сутки	7

Выводы

В результате проведенных физико-химических анализов, таких как ИК-спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия и термический анализ, было доказано, что полученное соединение представляет

собой комплекс, образуемый фурфуролиден-дикарбамидом с ацетатом цинка и определены такие свойства этого соединения, как термостабильность, потеря массы, плавление и т.д.

При изучении активности против патогенных грибов соединение фурфуролиден-карбамид, полученного на основе местного сырья и ацетата цинка, показало высокие фунгицидные свойства. Доказано, что это соединение повышает всхожесть семян хлопка и пшеницы.

На основании полученных данных установлено, что данное биологически активное соединение по острой токсичности относится к веществам IV класса опасности – малоопасным соединениям. Соединение, обладая слабым функционально-кумулятивным действием, оказывает слабое раздражающее действие на слизистую оболочку глаз, а на кожу не оказывает негативного воздействия.

Мы полагаем, что использование недорогого, малозатратного, малотоксичного и высокоэффективного биологически активного соединения, полученного нами на основе местного сырья, взамен зарубежным препаратам, используемым сейчас в сельском хозяйстве Республики Узбекистан, даст хорошие результаты.

Дополнительная информация

В электронном приложении к статье (*DOI: <http://www.doi.org/10.14258/jcprm.20250315181s>*) приведен дополнительный экспериментальный материал, раскрывающий основные положения, изложенные в статье.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Андижанского государственного университета, Ферганского государственного технического университета и Международного института пищевых технологий и инжениринга. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

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

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. World fertilizer trends and outlook to 2018. Rome, 2015. 66 p.
2. Łozowicka B., Hrynkó I., Kaczyński P. Occurrence of pesticide residues in fruit from Podlasie (Poland) in 2012 // J. Plant Protection Res. 2015. Pp. 142–150. <https://doi.org/10.1515/jppr-2015-0018>.
3. Matyjaszczyk E. Active substances used in plant protection in Poland after the European Union accession // J. Plant Protection Res. 2011. Vol. 51(3). Pp. 217–224. <https://doi.org/10.2478/v10045-011-0037-5>.
4. Буга С.Ф. Роль протравителей семян // Защита и карантин растений. 2001. №3. С. 18–25.
5. Ганиев М.М. Химические средства защиты растений. М., 2006. С. 64–66.
6. Буга С.Ф., Жуковский А.Г., Ильюк А.Г., Радына А.А., Жердецкая Т.Н., Жук Е.И. Научные основы эффективного использования протравителей семян для защиты зерновых культур от болезней. Минск, 2011. С. 52.
7. Морозов Е.Ф. Производство фурфурола. М., 1988. 200 с.
8. Askarov R.I., Isakov Kh., Mukhammedov B.S. Receiving furfural from agricultural waste // «Инновационные идеи, разработки на практике: проблемы, исследования и решения»: Международная онлайн-научно-практическая конференция. Андижан, 2021. С. 115–116.
9. Гафуров К., Шамшиддинов И. Минерал ўғитлар ва тузлар технологияси. Ташкент, 2007. 352 с.
10. Askarov R.I., Isakov Kh., Mukhammedov B.S. Getting biologically active substances as a result of adding urea to furfural from local plant waste // Международная научно-техническая конференция «Роль современной химии и инноваций в развитии национальной экономики». Фергана, 2021. С. 146–147.
11. Парибок Т.А. О роли цинка в метаболизме // Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине. М., 1974. С. 306–319.
12. Гольшин Н.М. Механизм действия фунгицидов // Защита растений. 1990. С. 13–15.
13. Russel A.D., Turr J.R. Biocides: mechanisms of antifungal action and fungal resistance // Science Progress. 1996. Vol. 79 (1). Pp. 27–48.
14. Коваль Э.З., Горбек Л.Т. Микроскопическое изучение грибов // Методы экспериментальной микологии. Киев, 1982. С. 76–105.
15. Евсеев В.В. Действие протравителей семян на микрофлору почвы и растений // Защита и карантин растений. 2004. №5. С. 49.
16. Хохряков М.К. Методические указания по экспериментальному изучению фитопатогенных грибов. Л., 1969. 68 с.
17. Sofina L.I., Svetlichnaya M.A., Filatov A.A., Grinina N.S. On the content of pesticides in environmental objects in food. Pesticides and health. Krasnodar, 2000. Pp. 23–26.

18. Patika V.P., Makarenko H.A., Moklyachukta L.I. Agroecological assessment of mineral fertilizers and pesticides: Monograph. Kyiv, 2005, 300 p.
19. Зинченко В.А. Химическая защита растений: средства, технология и экологическая безопасность. М., 2006. 158 с.
20. Arslan H., Külcü N., Flörke U. Synthesis and characterization of copper (II), nickel (II) and cobalt (II) complexes with novel thiourea derivatives // Transition Metal Chemistry. 2003. Vol. 28(7). Pp. 816–819.
21. Казакбаева Д.А., Исабаева З., Закиров Б.С. Рентгенофазовый и ИК-спектроскопический анализы соединений $\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}\cdot\text{NiSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и $2\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}\cdot\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ // Доклады АН РУз. 2005. №6. С. 45–48.
22. Оразбаева А.А., Нарходжаев А.Х., Кучаров Б.Х., Закиров Б.С. Взаимодействие диэтаноламина с моногидратом ацетата меди // Доклады АН РУз. 2010. №3. С. 64–67.
23. Кришталь М.М., Ясников И.С., Полунин В.И., Филатов А.М., Ульяненков А.Г. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ в примерах практического применения. (Серия «Мир физики и техники» II-15). М., 2009. С. 205–208.
24. Vaghisia Y., Nair R., Soni M., Baluja S., Chanda S. Synthesis, structural determination and antibacterial activity of compounds derived from vanillin and 4-aminoantipyrine // J. Serb. Chem. Soc. 2004. Vol. 69. Pp. 991–998.
25. Цугленок Н.В. Система защиты зерновых и зернобобовых культур от системных инфекций. Красноярск, 2003. С. 34–50.
26. Методика проведения полевых и лабораторных экспериментов. Ташкент, 2007. 147 с.

Поступила в редакцию 10 мая 2024 г.

После переработки 19 мая 2025 г.

Принята к публикации 27 августа 2025 г.

Askarov I.R.¹, Mukhamedov S.B.¹, Ortikova S.S.², Karabayeva M.I.^{2,3*} EFFECTIVE BIOACTIVE COMPOUND FOR AGRICULTURE BASED ON LOCAL RAW MATERIALS

¹ Andijan State University, st. Universitetskaya, 129, Andijan, 170100, Uzbekistan

² Fergana State Technical University, st. Ferganskaya, 86, Fergana, 150107, Uzbekistan, muslimaxon1990@mail.ru

³ International Institute of Food Technology and Engineering, st. Al Fergana, 204, Fergana, 150100, Uzbekistan

This article examines the biological activity and physicochemical analysis of the compound of zinc acetate with furfuralidene urea, obtained from agricultural waste and local raw materials. Laboratory results of its positive effect on plant development and antagonistic properties against pathogenic fungi that currently cause various plant diseases and cause serious harm to them are presented. The information obtained as a result of studying the ecological and toxicological properties of this biologically active compound is presented. The species and strains of fungi and bacteria on which an inhibitory effect was detected, as well as the minimum inhibitory concentrations, are indicated. The mechanism of biological activity has been studied, for example, stimulation of plant defense reactions, direct toxic effects on pathogens, regulation of growth and development processes. Laboratory results are presented on the positive effect of the complex compound of furfuralidene-urea with zinc acetate on plant development and antagonistic properties against pathogenic fungi that today cause various plant diseases and cause serious harm to them. The information obtained as a result of studying the ecological and toxicological properties of this biologically active compound is presented. It has been established that this biologically active compound, in terms of acute toxicity, belongs to substances of hazard class IV – low-hazard compounds. The compound, having a weak functional-cumulative effect, has a slight irritating effect on the mucous membrane of the eyes, and has no negative effect on the skin.

Keywords: furfural, urea, biological activity, biogenic metal, fungus, germination, IR spectrum, degree of toxicity.

For citing: Askarov I.R., Mukhamedov S.B., Ortikova S.S., Karabayeva M.I. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 3, pp. 384–395. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250315181>.

References

1. *World fertilizer trends and outlook to 2018*. Rome, 2015, 66 p.
2. Łozowicka B., Hrynkó I., Kaczyński P. J. *Plant Protection Res.*, 2015, pp. 142–150. <https://doi.org/10.1515/jppr-2015-0018>.
3. Matyjaszczyk E. J. *Plant Protection Res.*, 2011, vol. 51(3), pp. 217–224. <https://doi.org/10.2478/v10045-011-0037-5>.
4. Buga S.F. *Zashchita i karantin rasteniy*, 2001, no. 3, pp. 18–25. (in Russ.).
5. Ganiyev M.M. *Khimicheskiye sredstva zashchity rasteniy*. [Chemical plant protection products]. Moscow, 2006, pp. 64–66. (in Russ.).
6. Buga S.F., Zhukovskiy A.G., Il'yuk A.G., Radyna A.A., Zherdetskaya T.N., Zhuk Ye.I. *Nauchnyye osnovy effektivnogo ispol'zovaniya protraviteley semyan dlya zashchity zernovykh kul'tur ot bolezney*. [Scientific basis for the effective use of seed dressings to protect grain crops from diseases]. Minsk, 2011, p. 52. (in Russ.).

* Corresponding author.

7. Morozov Ye.F. *Proizvodstvo furfurala*. [Production of furfural]. Moscow, 1988, 200 p. (in Russ.).
8. Askarov R.I., Isakov Kh., Mukhammedov B.S. «Innovatsionnye idei, razrabotki na praktike: problemy, issledovaniya i resheniya»: Mezdunarodnaya onlays-nauchno-prakticheskaya konferentsiya. ["Innovative Ideas, Developments in Practice: Problems, Research, and Solutions": International Online Scientific and Practical Conference]. Andijan, 2021, pp. 115–116.
9. Gafurov K., Shamshiddinov I. Mineral üýtalar va tuzlar tehnologıasi. [Technology of mineral fertilizers and salts]. Tashkent, 2007, 352 p. (in Uzb.).
10. Askarov R.I., Isakov Kh., Mukhammedov B.S. *Mezdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya «Rol' sovremennoy khimii i innovatsiy v razvitiu natsional'noy ekonomikii»*. [International Scientific and Technical Conference "The Role of Modern Chemistry and Innovation in the Development of the National Economy"]. Fergana, 2021, pp. 146–147.
11. Paribok T.A. *Biologicheskaya rol' mikroelementov i ikh primeneniye v sel'skom khozyaystve i meditsine*. [Biological role of microelements and their application in agriculture and medicine]. Moscow, 1974, pp. 306–319. (in Russ.).
12. Gol'shin N.M. *Zashchita rasteniy*, 1990, pp. 13–15. (in Russ.).
13. Russel A.D., Turr J.R. *Science Progress*, 1996, vol. 79 (1), pp. 27–48.
14. Koval' E.Z., Gorbek L.T. *Metody eksperimental'noy mikologii*. [Methods of experimental mycology]. Kyiv, 1982, pp. 76–105. (in Russ.).
15. Yevseyev V.V. *Zashchita i karantin rasteniy*, 2004, no. 5, p. 49. (in Russ.).
16. Khokhryakov M.K. *Metodicheskiye ukazaniya po eksperimental'nomu izucheniyu fitopatogenykh gribov*. [Methodological guidelines for the experimental study of phytopathogenic fungi]. Leningrad, 1969, 68 p. (in Russ.).
17. Sofina L.I., Svetlichnaya M.A., Filatov A.A., Grinina N.S. *On the content of pesticides in environmental objects in food. Pesticides and health*. Krasnodar, 2000, pp. 23–26.
18. Patika V.P., Makarenko H.A., Moklyachukta L.I. *Agroecological assessment of mineral fertilizers and pesticides: Monograph*. Kyiv, 2005, 300 p.
19. Zinchenko V.A. *Khimicheskaya zashchita rasteniy: sredstva, tekhnologiya i ekologicheskaya bezopasnost'*. [Chemical plant protection: means, technology and environmental safety]. Moscow, 2006, 158 p. (in Russ.).
20. Arslan H., Külcü N., Flörke U. *Transition Metal Chemistry*, 2003, vol. 28(7), pp. 816–819.
21. Kazakbayeva D.A., Isabayeva Z., Zakirov B.S. *Doklady AN Ruz*, 2005, no. 6, pp. 45–48. (in Russ.).
22. Orazbayeva A.A., Narkhodzhayev A.Kh., Kucharov B.Kh., Zakirov B.S. *Doklady AN Ruz*, 2010, no. 3, pp. 64–67. (in Russ.).
23. Krishnal M.M., Yasnikov I.S., Polunin V.I., Filatov A.M., Ul'yanenkov A.G. *Skaniruyushchaya elektronnaya mikroskopiya i rentgenospektral'nyy mikroanaliz v primerakh prakticheskogo primeneniya. (Seriya «Mir fiziki i tekhniki» II-15)*. [Scanning electron microscopy and X-ray spectral microanalysis in examples of practical application. (Series "World of Physics and Technology" II-15)]. Moscow, 2009, pp. 205–208. (in Russ.).
24. Vaghasia Y., Nair R., Soni M., Baluja S., Chanda S. *J. Serb. Chem. Soc.*, 2004, vol. 69, pp. 991–998.
25. Tsuglenok N.V. *Sistema zashchity zernovykh i zernobobovykh kul'tur ot sistemnykh infektsiy*. [System of protection of grain and leguminous crops from systemic infections]. Krasnoyarsk, 2003, pp. 34–50. (in Russ.).
26. *Metodika provedeniya polevykh i laboratornykh eksperimentov*. [Methodology for conducting field and laboratory experiments]. Tashkent, 2007, 147 p. (in Russ.).

Received May 10, 2024

Revised May 19, 2025

Accepted August 27, 2025

Сведения об авторах

Аскаров Иброхим Рахмонович – доктор химических наук, профессор кафедры химии, muslimaxon1990@mail.ru

Мухаммедов Сайдмурод Боходиржон угли – базовый докторант, saidmurod2378@gmail.com

Ортикова Сафие Сайдмамбетевна – доктор технических наук (PhD), доцент кафедры химии и химической технологии, muslimaxon1990@mail.ru

Карабаева Муслима Ифтихоровна – доктор технических наук (PhD), старший преподаватель кафедры химии и химической технологии, muslimaxon1990@mail.ru

Information about authors

Askarov Ibrohim Rakhmonovich – Doctor of Chemical Sciences, Professor in the Department of Chemistry, muslimaxon1990@mail.ru

Mukhammedov Saidmurod Bokhodirzhan Ugli – Postdoctoral Research Fellow, saidmurod2378@gmail.com

Ortikova Safie Saidmambetevna – Doctor of Technical Sciences (PhD), Associate Professor in the Department of Chemistry and Chemical Engineering, muslimaxon1990@mail.ru

Karabaeva Muslima Iftikhorovna – Doctor of Technical Sciences (PhD), Senior Lecturer in the Department of Chemistry and Chemical Engineering, muslimaxon1990@mail.ru