https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-3(23)-92

МРНТИ: 61.49.31

А.Б. Маханбетов[1], Т.Э. Гаипов[1], Д.Х. Юлдашбек[*], А.М. Кенжегалиев[2], Г.Д. Исенова[2]
[1]Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Республика Казахстан, 161200, г. Туркестан, проспект Бекзата Саттарханова, 29
[2]Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений им. Ж. Жиембаева, Республика Казахстан, 050070, г. Алматы, ул. Култобе, д. 1
*e-mail: davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИСУЛЬФИДНОЙ КОМПОЗИЦИИ ИЗ ПРОМЫШЛЕННОГО ОТХОДА И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ В ФИТОСАНИТАРНОЙ ЗАЩИТЕ РАСТЕНИЙ

Аннотация: *В условиях усиления экологических требований и роста устойчивости вредных организмов актуальной задачей является разработка экологически безопасных средств защиты растений на основе промышленных отходов. Особый интерес представляют серосодержащие кеки сернокислотного производства как потенциальное сырьё для получения биологически активных соединений, обладающих широким спектром действия. Разработана технология щелочной экстракции серного кека с использованием гидроксида кальция при температуре 90-95 °С и соотношении компонентов 2,5 : 1 : 10. Полученные полисульфиды кальция исследованы на антибактериальную, фунгицидную и инсектицидную активность с применением лабораторных и полевых методов (лунковый и диско-диффузионный методы, фитосанитарный мониторинг яблоневых насаждений). Установлено, что полученный состав обладает выраженным дозозависимым антибактериальным действием против Erwinia amylovora, при этом фунгицидная активность против Fusarium sp. и Alternaria sp. не выявлена. В полевых условиях отмечена высокая инсектицидная и акарицидная эффективность (до 90 %) против основных вредителей яблоневых культур, включая наиболее распространённые фитофаги. Показана перспективность переработки серосодержащих промышленных отходов для получения экологически безопасных фитосанитарных препаратов многофункционального действия, сочетающих утилизацию отходов, снижение экологической нагрузки и повышение эффективности защиты сельскохозяйственных культур.*

Ключевые слова: *промышленные отходы, полисульфиды, фитосанитарная защита, инсектицидная активность, антибактериальное действие, сельское хозяйство.*

Введение

В современных условиях развития сельского хозяйства особую актуальность приобретает разработка эффективных и экологически безопасных средств защиты растений, способных обеспечить высокий уровень фитосанитарной устойчивости агроценозов при минимальной нагрузке на окружающую среду. Усиление антропогенного воздействия, накопление устойчивых к пестицидам популяций вредных организмов, а также усиление требований к качеству сельскохозяйственной продукции стимулируют поиск альтернативных решений, основанных на принципах устойчивого и ресурсосберегающего земледелия [1-3].

Одним из перспективных направлений является создание биологически активных препаратов на основе побочных продуктов промышленных производств, что соответствует концепции циркулярной экономики и рационального природопользования [4, 5]. Особый интерес в этом отношении представляют серосодержащие отходы, в том числе серные кеки, образующиеся в процессах сернокислотного производства. Их переработка позволяет не только снизить экологическую нагрузку, связанную с накоплением техногенных отходов, но и получить ценные соединения с выраженными биоцидными свойствами [6].

Сера и её соединения широко применяются в агрохимической практике благодаря инсектицидным, акарицидным и фунгицидным свойствам [7]. Современные исследования показывают, что полисульфиды кальция способны трансформироваться с образованием высокодисперсной элементарной серы, обладающей высокой реакционной способностью и выраженным антимикробным действием [8]. Механизм действия серосодержащих препаратов связан с нарушением дыхательных процессов клеток патогенов, ингибированием ферментных систем и взаимодействием с тиоловыми группами белков [9].

©А.Б. Маханбетов, Т.Э. Гаипов, Д.Х. Юлдашбек, А.М. Кенжегалиев, Г.Д. Исенова, 2026

Анализ современных научных публикаций свидетельствует о том, что различные группы средств защиты растений существенно различаются по механизму действия, спектру контролируемых вредных организмов, продолжительности защитного эффекта и экологическим характеристикам [10-13]. В частности, синтетические инсектициды характеризуются высокой эффективностью и пролонгированным действием, однако их применение может сопровождаться накоплением остаточных количеств и негативным воздействием на полезную энтомофауну. Биологические препараты обладают более благоприятным экологическим профилем, но зачастую уступают по стабильности действия.

Серосодержащие композиции, включая известково-серные отвары, сочетают достаточно широкий спектр биологической активности с относительно низким экологическим риском. Они проявляют контактное действие и могут эффективно использоваться в интегрированных системах защиты растений (IPM), особенно в условиях экологически ориентированного земледелия [14, 15].

Сравнительная характеристика основных групп средств защиты растений представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные свойства ИСО, биопрепаратов и синтетических инсектицидов

Показатель	Известково-серный отвар	Биопрепараты (*Bacillus thuringiensis*, авермектины)	Синтетические инсектициды (неоникотиноиды, пиретроиды)
Основной механизм действия	Контактное действие; фунгицидный и акарицидный эффект	Кишечное или контактно-кишечное действие	Системное, контактное или контактно-кишечное действие
Спектр контролируемых объектов	Клещи, тли, некоторые сосущие вредители, возбудители грибных заболеваний	Листовёртки, совки, гусеницы, тли, клещи, трипсы (в зависимости от препарата)	Тли, белокрылки, жуки, трипсы, клещи и другие вредители
Проникающая способность	Ограниченная, преимущественно поверхностное действие	Обычно ограниченная	От умеренной до высокой, в зависимости от действующего вещества
Продолжительность защитного эффекта	Умеренная, зависит от погодных условий и кратности обработок	От кратковременной до умеренной	Обычно более продолжительная по сравнению с контактными препаратами
Вероятность остаточных количеств в продукции	Низкая при соблюдении регламентов применения	Низкая	Может требовать строгого соблюдения сроков ожидания
Воздействие на полезную энтомофауну и пчёл	Относительно низкое при соблюдении регламентов применения	Обычно низкое или умеренное	От умеренного до высокого для отдельных групп действующих веществ
Температурная зависимость эффективности	Умеренная	Может возрастать при оптимальных температурах	Обычно менее выраженная
Экологические особенности	Перспективен для интегрированных систем защиты растений при регламентированном применении	Соответствует биологизированным системам земледелия	Высокая эффективность, но для ряда препаратов требуется оценка экологических рисков

В отличие от ряда синтетических препаратов, серосодержащие препараты представляют значительный интерес для интегрированных систем защиты растений

благодаря сочетанию эффективности, доступности и экологической приемлемости. Дополнительным преимуществом является возможность их получения из техногенных отходов, что способствует повышению ресурсной эффективности производства и снижению экологических рисков.

Таким образом, разработка технологий переработки серосодержащих отходов с получением эффективных инсектицидных и акарицидных препаратов является актуальной научно-практической задачей, направленной на обеспечение устойчивого развития аграрного сектора.

Материалы и методы исследования

Для разработки эффективного способа получения биологически активного серосодержащего препарата для фитосанитарной защиты была отработана принципиальная технологическая схема щелочной экстракции активных соединений из отходов сернокислотного производства с последующей очисткой и стабилизацией получаемой полисульфидной композиции (рис. 1). В основу процесса было положено взаимодействие измельчённого серосодержащего кека с водной суспензией гидроксида кальция при повышенной температуре и интенсивном перемешивании, что обеспечивало достаточный контакт твёрдой и жидкой фаз.

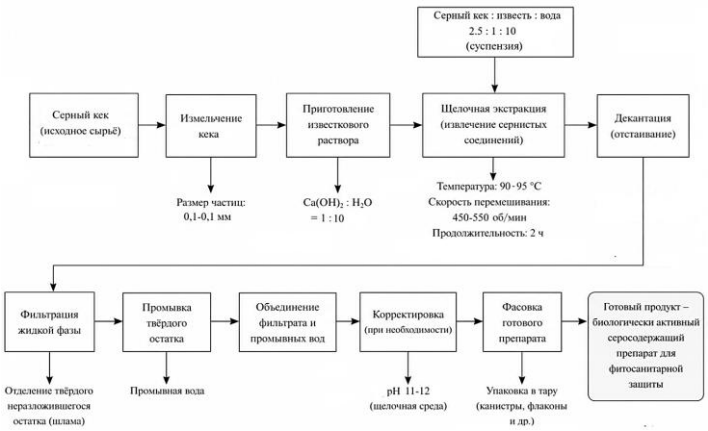


Рисунок 1 – Принципиальная схема технологии получения биологически активного состава из серного кека

Предварительно подготовленное сырьё с размером частиц 0,1-1,0 мм вводили в реакционную среду, содержащую воду и известковое молоко. Соотношение компонентов подбирали с учётом содержания серы в исходном материале и необходимой щёлочности среды. Основным направлением процесса являлось взаимодействие элементарной серы с гидроксидом кальция с образованием растворимых полисульфидных соединений кальция, которое в упрощённом виде может быть представлено следующим уравнением:

$$Ca(OH)2 + xS \rightarrow CaSx + H2O \quad (1)$$

Экстракцию проводили при температуре 90-95 °C в течение около 2 часов при скорости перемешивания 450-550 об/мин (рис. 2). Соотношение компонентов процесса составляло кек : известь : вода = 2,5 : 1 : 10, при котором обеспечивались необходимая щёлочность среды и эффективное взаимодействие твёрдой и жидкой фаз. При повышенной вязкости пульпы и затруднённых условиях перемешивания количество воды можно увеличить до 18 массовых частей. В указанных условиях достигался интенсивный переход активных серосодержащих компонентов в жидкую фазу. Отдельные параметры процесса могли корректироваться в зависимости от характеристик исходного сырья и требуемой активности получаемого состава.

После завершения процесса реакционную массу направляли на декантацию и фильтрацию для отделения нерастворимого минерального остатка. С целью снижения потерь действующих веществ твёрдую фазу дополнительно промывали водой, а полученные промывные растворы объединяли с основным фильтратом. Далее раствор при необходимости корректировали по содержанию активных компонентов и величине pH, после чего подвергали финишной фильтрации и фасовке.

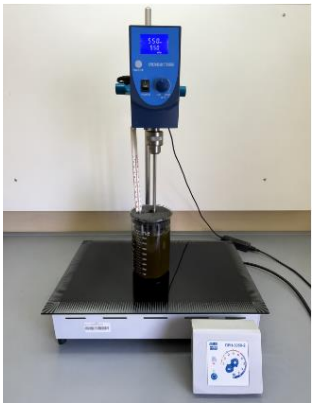


Рисунок 2 – Процесс получения серосодержащего экстракта из серного кека сернокислотного производства

Химическая характеристика полученной полисульфидной композиции. Получаемый после экстракции и фильтрации продукт представляет собой водную полисульфидную композицию, основными активными серосодержащими компонентами которой являются растворимые полисульфиды кальция общей формулы CaSx (x=2-5). Формирование полисульфидов обусловлено взаимодействием элементарной серы исходного кека с гидроксидом кальция при повышенной температуре. После отделения нерастворимого остатка продукт дополнительно фильтровали, при необходимости корректировали по содержанию активных компонентов и pH и фасовали. При оптимальных условиях получения композиции содержание серы в полученном растворе составляло 13,512 мас.%, плотность раствора – 1,130 г/см3 (17 град (0) Боме). Расчётное суммарное содержание активных серосодержащих веществ, представленных смесью полисульфидов и тиосульфата кальция, составляло около 20 мас.%.

Для определения биологической активности разработанной полисульфидной композиции, полученного из серных кеков на основе полисульфидов кальция, были выбраны следующие методы: оценка бактерицидных свойств методом лунок и фунгицидной активности диско-диффузионным методом по Егоровой. В качестве тест-объектов использовали основных возбудителей заболеваний сельскохозяйственных культур: Erwinia amylovora, Fusarium sp. и Alternaria sp.

Проведены исследования в лабораторных и полевых условиях для установления эффективности полученных на основе продуктов утилизации серосодержащих отходов инновационных инсектицидных средств и возможности их применения для борьбы с вредителями, а также для выявления оптимального компонентного состава, расхода и кратности применения разработанных инсектицидных составов.

Проведен мониторинг распространения болезней на яблоне в крестьянском хозяйстве «Олжас», расположенном в Алматинской области Карасайского района. При визуальном осмотре было установлено поражение разных частей яблони. На листьях отмечали краевой некроз и некротические пятна, хлороз, усыхание ветвей, побурение, а также механические повреждения.

Отобраны образцы заражённых листьев и плодов яблони для изоляции возбудителей болезней в чистую культуру. Образцы с симптомами болезней с соблюдением всех требований антисептики с каждого больного дерева отбирали в 3-4 местах. При отборе проб вырезали поражённые части растений с захватом здоровой ткани. Один образец состоял из различных частей растений, собранных с одного дерева. Отобранные образцы помещали в пакеты из фильтровальной бумаги и хранили в холодильнике.

Анализ отобранных образцов проводили по общепринятым в фитопатологии и бактериологии методикам [16, 17]. Проводили стерилизацию инструментов, стеклопосуды и других материалов в сушильном шкафу при температуре 150-200 ºС. Питательные среды стерилизовали в автоклаве при 1 атм в течение 45 минут. Выделение бактерий проводили на питательной среде Nutrient Agar, селективной среде Левана и Miller Schroth, выделение грибов – на среде картофельно-декстрозный агар (КДА) (рис. 3).

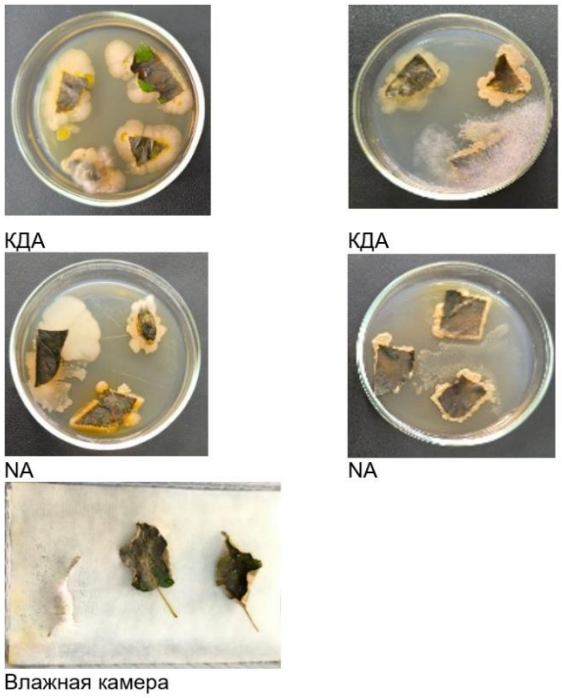


Рисунок 3 – Грибная и бактериальная микрофлора пораженных образцов яблони

Для изучения биологической активности серосодержащего состава, полученного из серных кеков на основе полисульфидов кальция, была подготовлена схема лабораторных опытов (табл. 2).

Таблица 2 – Схема лабораторных опытов по изучению биологической активности серосодержащего состава, полученного из серных кеков на основе полисульфидов кальция против возбудителей болезней Erwinia amylovora, Fusarium sp., Alternaria sp.

п/п	Вариант	Концентрация	Объём технического раствора	Возбудитель болезней	Кратность обработки
1	Водный раствор полисульфида кальция	1%	30 мл	Erwinia amylovora	однократная
2		2%	30 мл	Erwinia amylovora	однократная
3		3%	30 мл	Erwinia amylovora	однократная
4		4%	30 мл	Erwinia amylovora	однократная
5		5%	30 мл	Erwinia amylovora	однократная
6		6%	30 мл	Erwinia amylovora	однократная

Исследование биологической активности полисульфида кальция в различных концентрациях против бактерий Erwinia amylovora проводили методом лунок [18, 19]. В стерильные чашки Петри по 30 мл разливали питательную среду Nutrient Agar, затем засевали 1 мл тест-объекта – чистой культуры фитопатогенной бактерии Erwinia amylovora. Концентрация инокулюма составляла 109 кл/мл по стандарту мутности. В центр чашек Петри с засеянной бактериальной культурой на питательной среде формировали лунки диаметром 10 мм, в которые вносили исследуемые вещества и эталонный образец необходимой концентрации. В контроле использовали стерильную дистиллированную воду. Чашки Петри 1 час выдерживали при комнатной температуре, затем помещали в термостат при 25-27 °С, через двое суток определяли диаметр зоны задержки роста бактерий вокруг лунок.

В лабораторных условиях также исследовали фунгицидные свойства водного раствора полисульфида кальция различных концентраций против грибов Fusarium sp. и Alternaria sp. с использованием диско-диффузионного метода согласно методическим указаниям [20]. В стерильные чашки Петри разливали по 20 мл питательной среды – картофельно-декстрозный агар (КДА), затем в каждую чашку Петри засевали 1000 мкл инокулюма – чистой культуры фитопатогенного гриба Fusarium sp. и Alternaria sp. с концентрацией 109 кл/мл согласно

стандарту мутности. На поверхность засеянной грибами питательной среды помещали стерильные фильтровальные бумажные диски диаметром 10 мм, пропитанные испытываемыми веществами и эталоном соответствующей концентрации. В качестве контроля использовали стерильную дистиллированную воду. Чашки Петри 1 час выдерживали при комнатной температуре, затем помещали в термостат при 25-27 °С, через двое суток определяли диаметр зоны задержки роста гриба вокруг каждого диска.

Статистическую обработку результатов лабораторных исследований проводили на основании четырех параллельных определений для каждой исследованной концентрации. Для количественной характеристики экспериментальных данных рассчитывали среднее арифметическое значение (M) и стандартное отклонение (SD). Результаты представлены в виде M ± SD (n = 4).

Полевые испытания проводили в яблоневом саду крестьянского хозяйства «Олжас» (Карасайский район Алматинской области) на яблоне сорта Апорт.

Объектами фитосанитарного мониторинга являлись яблонная плодожорка (Cydia pomonella), мучнистые червецы (сем. Pseudococcidae), красный плодовый клещ (Panonychus ulmi) и бурый плодовый клещ (Bryobia rubrioculus). При обследовании оценивали повреждённость плодов, осматривали ловчие пояса, стволы деревьев и листовой аппарат, включая нижнюю сторону листьев и межжилковые участки. Для полевых испытаний использовали рабочие растворы полисульфидной композиции концентрацией 1, 2 и 3 %. Обработку яблоневых насаждений проводили однократно с использованием ручного ранцевого опрыскивателя «Solo 451». В качестве контроля использовали вариант без обработки. Биологическую активность препарата оценивали на 5-е, 10-е и 15-е сутки после обработки путём последовательного мониторинга состояния растений и степени повреждённости плодов и листьев вредителями. Биологическую эффективность определяли по снижению повреждённости плодов и листьев в опытных вариантах по сравнению с необработанным контролем.

Результаты и обсуждение

Проведённые исследования показали, что предложенная технологическая схема позволяет рационально перерабатывать серосодержащие отходы с получением полисульфидной композиции, содержащей активные соединения серы, пригодного для дальнейшего использования в составе средств фитосанитарной защиты. В процессе щелочной экстракции элементарная сера взаимодействует с гидроксидом кальция с образованием растворимых полисульфидов кальция общей формулы CaSx, где x может изменяться в пределах от 2 до 5. Наиболее устойчивыми в растворе считаются соединения x=4-5, обеспечивающие основные функциональные свойства получаемого состава.

На рисунке 4 представлены основные стадии превращения серного кека в биологически активный серосодержащий состав: исходный серный кек (а), полученный экстракт активных серосодержащих соединений (б) и тонкодисперсная сера, образующаяся после нанесения препарата на растения и последующего окисления.



Рисунок 4 – Основные стадии превращения серного кека в активный серосодержащий состав и образование тонкодисперсной серы после нанесения на растения: (а) серный кек; (б) экстракт активных серосодержащих соединений; (с) тонкодисперсная биоцидная сера

С химической точки зрения полученный продукт представляет собой водную полисульфидную композицию на основе кальция, содержащую растворимые полисульфидные формы CaSx (x = 2-5) и тиосульфат кальция. При оптимальных условиях содержание серы в растворе составляло 13,512 мас.%, плотность – 1,130 г/см3 (17° Боме), а

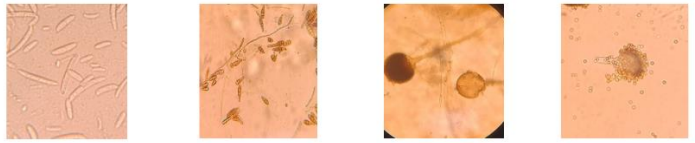
расчётное суммарное содержание активных серосодержащих веществ – около 20 мас.%. Нерастворимые минеральные компоненты исходного кека удаляются на стадиях декантации и фильтрации, в результате чего формируется очищенная жидкая полисульфидная композиция.

В водной среде полисульфиды кальция являются химически активными соединениями и при контакте с кислородом воздуха постепенно подвергаются окислительным превращениям с образованием промежуточных серосодержащих форм и свободной элементарной серы. Более интенсивно данный процесс протекает под действием влаги и диоксида углерода воздуха:

$$CaS5 + CO2 + H2O = CaCO3 + H2S + 4S \quad (2)$$

В результате указанных превращений происходит постепенное высвобождение высокодисперсной элементарной серы. Такая форма серы характеризуется развитой поверхностью и может проявлять выраженные биоцидные свойства. Известно, что препараты серы выделяют пары элементарной серы, проникающие в споры и мицелий грибов, где сера взаимодействует с клеточными компонентами с образованием сероводорода. Последний ингибирует ферментные системы дыхания и нарушает метаболические процессы патогенов. Дополнительно сера способна связывать ионы металлов, входящих в состав ферментов, что также снижает жизнеспособность микроорганизмов.

В результате микробиологического анализа из поражённых образцов яблони были выделены грибные культуры. Проверка их патогенных свойств на тест-объектах (листья комнатной герани и клубни картофеля) не выявила выраженной патогенности выделенных изолятов (рис. 5).



макро- и микроконидии гриба рода Fusarium | макро- и микроконидии гриба рода Alternaria | спорангий со спорами гриба рода Mucor | споры гриба рода Aspergillus

Рисунок 5 – Грибная микрофлора изолированная из образцов яблони (микроскопирование)

Исследование антибактериальной активности показало, что полисульфидная композиция проявляет умеренное ингибирующее действие в отношении Erwinia amylovora. Количественные результаты антибактериального действия представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Зона подавления бактерии Erwinia amylovora при различных концентрациях изучаемых веществ

Варианты	Концентрация	Повторности, мм				Средняя зона, мм
		I	II	III	IV	
Водный раствор полисульфида кальция	1 %	0,6	0,6	0,4	0,5	0,525
	2 %	0,7	0,8	0,6	0,8	0,725
	3 %	1,0	0,8	0,8	0,9	0,875

Статистическая обработка результатов четырех параллельных определений показала, что средняя зона подавления роста Erwinia amylovora составляла 0,525 ± 0,096 мм при концентрации 1 %, 0,725 ± 0,096 мм при 2% и 0,875 ± 0,096 мм при 3% (M ± SD; n = 4). С увеличением концентрации полисульфида кальция от 1 до 3% наблюдалось последовательное увеличение средней зоны ингибирования, при этом максимальное среднее значение было установлено при концентрации 3 %.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии у полисульфидного состава антибактериального потенциала, что представляет практический интерес для ограничения распространения бактериальных заболеваний плодовых культур.

Лабораторные испытания фунгицидных свойств показали, что применение полисульфида кальция в концентрациях от 1 до 6 % не сопровождалось образованием

выраженных зон ингибирования роста Fusarium sp. и Alternaria sp. В исследованных условиях фунгицидный эффект не проявился, что подтверждается данными, представленными на рисунках 6 и 7.

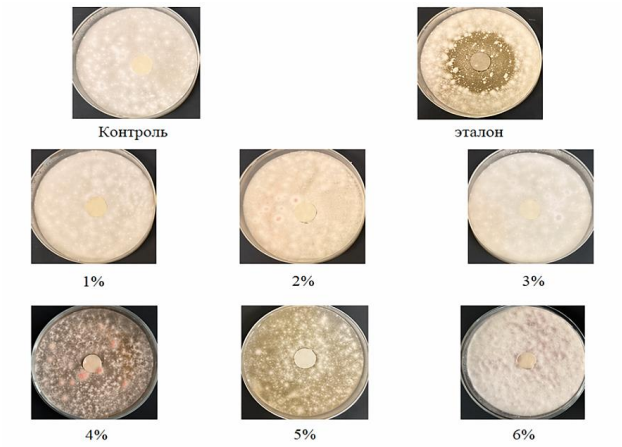


Рисунок 6 – Зона подавления гриба Fusarium sp. при различных концентрациях полисульфида кальция

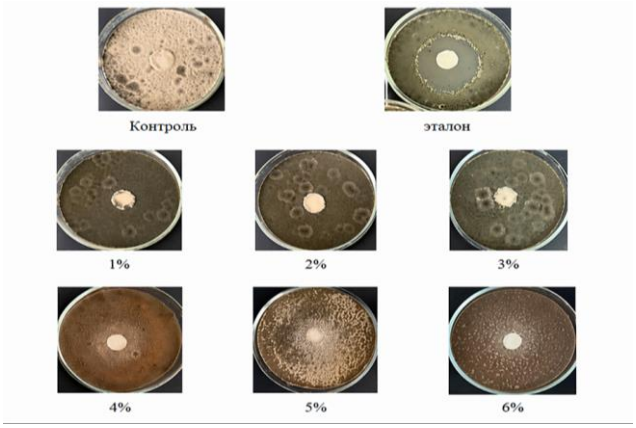


Рисунок 7 – Зона подавления гриба Alternaria sp. при различных концентрациях полисульфида кальция на питательной среде

В то же время эталонный препарат показал слабую активность: средний диаметр зон подавления составил 2,53 мм для Fusarium sp. и 1,85 мм для Alternaria sp., тогда как контрольный вариант ожидаемо не оказывал действия.

Отсутствие выраженного фунгицидного эффекта может быть связано с недостаточной концентрацией действующих компонентов, ограниченной диффузией активных веществ в агаризованной среде либо высокой устойчивостью исследованных штаммов. Это указывает на необходимость дальнейшей оптимизации концентрации рабочего раствора, экспозиции и методики лабораторной оценки.

Ранее проведённые полевые испытания подтвердили, что разработанная полисульфидная композиция на основе полисульфидов кальция обладает выраженной инсектицидной и акарицидной активностью в отношении основных вредителей плодовых культур (рис. 8).

Полевые испытания подтвердили выраженную инсектицидную и акарицидную активность разработанной полисульфидной композиции. В контрольном варианте без обработки повреждённость плодов яблонной плодожоркой составляла 35%, а поражённость листьев красным и бурым плодовыми клещами – 31%. При применении 1%-ного рабочего раствора биологическая эффективность составляла 74,2% против яблонной плодожорки и 74,1% против плодовых клещей. Повышение концентрации до 2% увеличивало эффективность соответственно до 80,0 и 83,8%. Максимальный эффект был достигнут при концентрации 3%: биологическая эффективность составляла 88,5% против яблонной плодожорки и 90,3% против красного и бурого плодовых клещей.

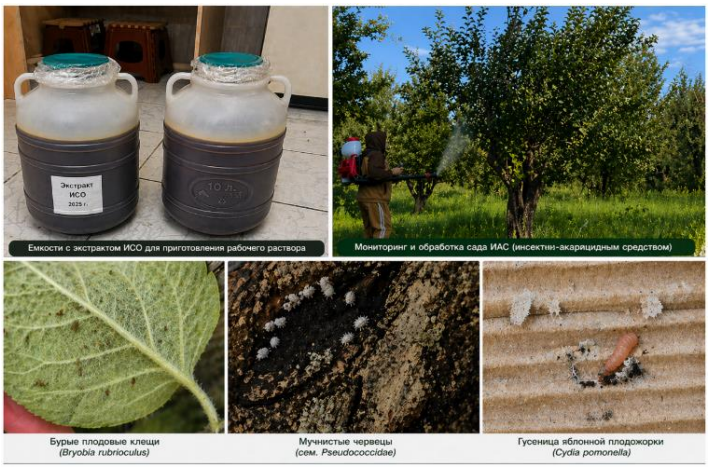


Рисунок 8 – Полевые испытания серосодержащего состава на основе полисульфидов кальция в яблоневом саду: приготовление рабочего раствора, обработка насаждений и основные объекты инсектицидного и акарицидного действия

Таким образом, в исследованном диапазоне концентраций наблюдалось последовательное повышение эффективности препарата с увеличением концентрации рабочего раствора. Наиболее выраженный акарицидный эффект установлен при 3 %-ной концентрации, при которой эффективность против комплекса плодовых клещей достигала 90,3 %. Полученные результаты подтверждают перспективность применения разработанной композиции для фитосанитарной защиты яблоневых насаждений.

Заключение

Разработана технологически и экологически обоснованная схема переработки серных кеков сернокислотного производства с получением биологически активного серосодержащего состава фитосанитарного назначения.

Установлено, что оптимальные условия экстракции достигаются при соотношении компонентов кек : известь : вода = 2,5 : 1 : 10, температуре 90-95 °C и продолжительности процесса около 2 часов. При указанных параметрах обеспечивается эффективный переход серы в жидкую фазу с образованием кальциевых полисульфидов.

Показано, что растворённые полисульфиды кальция в водной среде способны к постепенным окислительным превращениям с образованием тонкодисперсной элементарной серы, что может обусловливать дополнительное биоцидное действие состава после нанесения на поверхность растений.

Лабораторные исследования подтвердили наличие антибактериальной активности разработанной полисульфидной композиции в отношении фитопатогенной бактерии Erwinia amylovora. Установлен дозозависимый эффект, при котором увеличение концентрации раствора сопровождалось ростом зоны ингибирования тест-культуры.

Статистическая обработка результатов четырех параллельных определений показала увеличение средней зоны ингибирования Erwinia amylovora с 0,525 ± 0,096 мм при концентрации 1 % до 0,875 ± 0,096 мм при концентрации 3 % (M ± SD; n = 4).

В полевых условиях установлена высокая инсектицидная и акарицидная эффективность разработанной полисульфидной композиции: при концентрации рабочего раствора 3 % биологическая эффективность достигала 88,5 % против яблонной плодожорки и 90,3 % против красного и бурого плодовых клещей.

В отношении Fusarium sp. и Alternaria sp. выраженного фунгицидного действия в исследованном диапазоне концентраций не выявлено, что определяет необходимость дальнейшей оптимизации состава и режимов применения.

Практическая значимость работы заключается в том, что предложенная технология одновременно решает две важнейшие задачи: обеспечивает утилизацию токсичных серосодержащих промышленных отходов с получением экологически безопасного продукта и позволяет создать высокоэффективное средство защиты растений, пригодное для широкого применения в сельском хозяйстве Казахстана.

Список литературы

1. Evaluation of remediation of Cr(VI)-contaminated soils by calcium polysulfide: Long-term stabilization and mechanism studies / S. Hu et al // Science of the Total Environment. – 2021. – № 790. – P. 148140. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148140.
2. Effect of adjuvants on physicochemical properties of lime sulfur on flower/paraffin and application on flower thinning / Y. Li et al // Frontiers in Plant Science. – 2023. – № 14. – P. 1257672. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1257672/
3. Design, synthesis, and insecticidal activities of the novel sulfur-containing meta-amide compounds as potential pesticides / Y. Zhang et al // Journal of Chemical Research. – 2024. – № 48(2). https://doi.org/10.1177/17475198241234629.
4. Preparation of phosphogypsum-based polysulfide and its application in solidified copper-contaminated soil / Y. Dai et al // Environmental Research. – 2025. – № 285. – P. 122403. https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.122403.
5. Technological Progress in Sulfur-Based Construction Materials: The Role of Modified Sulfur Cake in Concrete and Bitumen / M. Hashami et al // Applied Sciences. – 2025. – № 15(16). – P. 8790. https://doi.org/10.3390/app15168790.
6. Abdireiim G. Improving the properties of building materials from limestone-shell rock by impregnating sulfur-containing preparations based on local raw materials / G. Abdireiim, F. Urakaev // Complex Use of Mineral Resources. – 2021. – № 2(317). – P. 57-63. https://doi.org/10.31643/2021/6445.18.
7. A Review of Sooty Blotch and Flyspeck Disease in German Organic Apple Production / R. Weber et al // Erwerbs-Obstba. – 2016. – № 58. – P. 63-79. https://doi.org/10.1007/s10341-016-0266-x.
8. Kinetics of sulfur nanoparticle growth during their precipitation from aqueous solutions of calcium polysulfide / I. Massalimov et al // Russian Journal of Physical Chemistry. – 2024. – № 98(1). – P. 124-140. https://doi.org/10.31857/S0044453724010179.
9. Effectiveness of lime sulphur and other inorganic fungicides against pear scab as affected by rainfall and timing application / L. Jamar et al // Journal of Plant Diseases and Protection. – 2017. – № 124. – P. 383-391. https://doi.org/10.1007/s41348-017-0085-9.
10. Sparks T.C. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management / T.C. Sparks, R. Nauen // Pesticide Biochemistry and Physiology. – 2015. – № 121. – P. 122-128. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014.
11. Effects of neonicotinoids and fipronil on non-target invertebrates / L.W. Pisa et al // Environmental Science and Pollution Research. – 2015. – № 22. – P. 68-102. https://doi.org/10.1007/s11356-014-3471-x.
12. Damalas C.A. Current Status and Recent Developments in Biopesticide Use / C.A. Damalas, S.D. Koutroubas // Agriculture. – 2018. – № 8(1). – P. 13. https://doi.org/10.3390/agriculture8010013.
13. Holb I.J. Efficacy and phytotoxicity of lime sulphur in organic apple production / I.J. Holb, P.F. de Jong, B. Heijne // Annals of Applied Biology. – 2003. – № 142. – P. 225-233. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2003.tb00245.x.
14. Popp J. Pesticide Productivity and Food Security. A Review / J. Popp, K. Pető, J. Nagy // Agronomy for Sustainable Development. – 2013. – № 33. – P. 243-255. https://doi.org/10.1007/s13593-012-0105-x.
15. Johnson K.B. Evaluation of Strategies for Fire Blight Control in Organic Pome Fruit Without Antibiotics / K.B. Johnson, T.N. Temple // Plant Disease. – 2013. – № 97(3). – P. 402-409. https://doi.org/10.1094/PDIS-07-12-0638-RE.
16. Metodicheskoe ukazanie po bakterial'nomu ozhogu plodovykh kul'tur Erwinia amylovora (Burrill.) Winslow et al. – Moskva, 2009. – 21s. (in Russian).
17. Metodicheskie ukazaniya po diagnostike i meram bor'by s bakterial'nym nekrozom i ozhogom plodovykh kul'tur / R.I. Gvozdyak i dr. – Moskva, 1987. – 32 s. (in Russian).
18. Abylayeva U. Diagnostika bakterial'nogo ozhoga plodovykh kul'tur v usloviyakh Yugo-Vostoka Respubliki Kazakhstan / U. Abylayeva. – Ġylym žăne bìlìm. – 2024. – № 2(3 (76)). – S. 38-47. https://doi.org/10.52578/2305-9397-2024-3-2-38-47. (in Russian).
19. Izuchenie ehffektivnosti preparatov Fitolavin, Farmaiod, Strekar protiv vozbuditelya bakterial'nogo ozhoga plodovykh kul'tur / N.V. Drenova i dr. // Karantin rastenii. Nauka i praktika. – 2017. – № 4 (22). – S. 40-46. (in Russian).

20. Astapchuk I. Efficacy of fungicides against pathogens of apple core rot from the genera Fusarium Link, Alternaria Nees and Botrytis (Fr.) under laboratory conditions / I. Astapchuk, G. Yakuba, A. Nasonov // E3S Web of Conferences. – 2021. – № 285. – P. 03015. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128503015.

А.Б. Маханбетов[1], Т.Э. Гаипов[1], Д.Х. Юлдашбек[1]*, А.М. Кенжегалиев[2], Г.Д. Исенова[2]
[1]Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,
Қазақстан Республикасы, 161200, Түркістан қ., Бекзат Саттарханов даңғылы, 29
[2]Жазкен Жиембаев атындағы Қазақ өсімдік қорғау және карантин ғылыми-зерттеу институты,
Қазақстан Республикасы, 050070, Алматы қ., Рахат шағынауданы, Күлтөбе көшесі, 1-үй
*e-mail: davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz

ӨНЕРКӘСІПТІК ҚАЛДЫҚТАН ПОЛИСУЛЬФИДТІК КОМПОЗИЦИЯ АЛУ ЖӘНЕ ОНЫҢ ФИТОСАНИТАРЛЫҚ ҚОРҒАУДАҒЫ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Экологиялық талаптардың күшеюі және зиянды организмдердің төзімділігінің артуы жағдайында өнеркәсіптік қалдықтар негізінде экологиялық қауіпсіз өсімдіктерді қорғау құралдарын әзірлеу өзекті міндет болып табылады. Күкірт қышқылы өндірісінің күкіртқұрамды кектері биологиялық белсенді қосылыстар алуға арналған әлеуетті шикізат ретінде ерекше қызығушылық тудырады. Кальций гидроксидін пайдалана отырып, 90-95°C температурада және компоненттердің 2,5 : 1 : 10 арақатынасында күкіртті кекті сілтілік экстракциялау технологиясы әзірленді. Алынған кальций полисульфидтері негізіндегі полисульфидтік композиция зертханалық және далалық әдістерді (ұяшықтық және дискілі-диффузиялық әдістер, алма бақтарының фитосанитарлық мониторингі) қолдана отырып, антибактериялық, фунгицидтік және инсектицидтік белсенділігі бойынша зерттелді. Алынған құрамның Erwinia amylovora-ға қарсы дозаға тәуелді антибактериялық әсері бар екені анықталды, ал Fusarium sp. және Alternaria sp. қарсы айқын фунгицидтік белсенділік байқалмады. Далалық жағдайда алма дақылдарының негізгі зиянкестеріне қарсы жоғары инсектицидтік және акарицидтік тиімділік (90 %-ға дейін) тіркелді. Алынған нәтижелер өсімдіктерді фитосанитарлық қорғауға арналған көпфункционалды полисульфидтік композиция алу және екінші реттік ресурстарды ұтымды пайдалану үшін өнеркәсіптік қалдықтарды қайта өңдеудің перспективалы бағыт екенін растайды.

Түйін сөздер: *өнеркәсіптік қалдықтар, полисульфидтер, фитосанитарлық қорғау, инсектицидтік белсенділік, антибактериялық әсер, ауыл шаруашылығы.*

A.B. Makhanbetov[1], T.E. Gaipov[1], D.Kh. Yuldashbek[1]*, A.M. Kenzhegaliev[2], G.D. Issenova[2]
[1]Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University,
29 Bekzat Sattarkhanov Avenue, Turkistan, 161200, Republic of Kazakhstan
[2]Zhazken Zhiembayev Kazakh Research Institute of Plant Protection and Quarantine,
1 Kultobe Street, Rakhat Microdistrict, Nauryzbay District, Almaty 050070, Republic of Kazakhstan
*e-mail: davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz

PREPARATION OF A POLYSULFIDE COMPOSITION FROM INDUSTRIAL WASTE AND EVALUATION OF ITS EFFICIENCY IN PHYTOSANITARY PLANT PROTECTION

Under conditions of increasing environmental requirements and growing resistance of harmful organisms, the development of environmentally safe plant protection products based on industrial waste is an urgent task. Sulfur-containing cakes generated during sulfuric acid production are of particular interest as potential raw materials for obtaining biologically active compounds. A technology for the alkaline extraction of sulfur cake using calcium hydroxide at 90-95 °C and a component ratio of 2.5 : 1 : 10 was developed. The obtained polysulfide composition based on calcium polysulfides was investigated for antibacterial, fungicidal, and insecticidal activity using laboratory and field methods (well diffusion and disk diffusion methods, phytosanitary monitoring of apple orchards). It was established that the obtained composition exhibits dose-dependent antibacterial activity against Erwinia amylovora, while no pronounced fungicidal activity against Fusarium sp. and Alternaria sp. was observed. Under field conditions, high insecticidal and acaricidal efficiency (up to 90%) against the main pests of apple crops was recorded. The obtained results confirm the prospects of industrial waste processing for the production of a multifunctional polysulfide composition intended for phytosanitary plant protection and rational utilization of secondary resources.

Key words: *industrial waste, polysulfides, phytosanitary protection, insecticidal activity, antibacterial effect, agriculture.*

Сведения об авторах

Арман Беркинбаевич Маханбетов – ассоцированный профессор, PhD, главный научный сотрудник НИИ «Экология» Международного казахско-турецкого университета имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан; e-mail: arman.makhanbetov@ayu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1620-6922.

Тулкинжон Эркинович Гаипов – кандидат химических наук, директор научно-исследовательского центра Устойчивого развития Международного казахско-турецкого университета имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан; e-mail: tulkinzhon.gaipov@ayu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9723-3745.

Давлат Хасанулы Юлдашбек* – магистр химии, старший научный сотрудник НИИ «Экология» Международного казахско-турецкого университета имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан; e-mail: davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz.ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9342-7502.

Арнур Мирамулы Кенжегалиев – заведующий лабораторией энтомологии испытательного центра Фитосанитарного лабораторного анализа Казахского научно-исследовательского иснтитута защиты и карантина растений им. Ж. Жиембаева, г. Алматы; e-mail: arnur_1992@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0308-222X.

Гульмира Джанибековна Исенова – кандидат биологических наук, начальник испытательного центра Фитосанитарного лабораторного анализа Казахского научно-исследовательского иснтитута защиты и карантина растений им. Ж. Жиембаева, г. Алматы; e-mail: isenova.gd@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3608-3146.

Авторлар туралы мәліметтер

Арман Беркинбаевич Маханбетов – қауымдастырылған профессор, PhD, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті «Экология» ғылыми-зерттеу институтының бас ғылыми қызметкері, Түркістан қ.; e-mail: arman.makhanbetov@ayu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1620-6922.

Тулкинжон Эркинович Гаипов – PhD, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті Тұрақты даму ғылыми-зерттеу орталығының директоры, Түркістан қ., e-mail: tulkinzhon.gaipov@ayu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9723-3745.

Давлат Хасанұлы Юлдашбек* – химия магистрі, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті «Экология» ғылыми зерттеу институтының аға ғылыми қызметкері, Түркістан қ., e-mail: davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9342-7502.

Арнур Мирамулы Кенжегалиев – Ж. Жиембаев атындағы Қазақ өсімдік қорғау және карантин ғылыми-зерттеу институты энтомология зертханасының меңгерушісі, Алматы қ.; e-mail: arnur_1992@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0308-222X.

Гульмира Джанибековна Исенова – биология ғылымдарының кандидаты, Ж. Жиембаев атындағы Қазақ өсімдік қорғау және карантин ғылыми-зерттеу институты Фитосанитарлық зертханалық сынақ орталығының басшысы, Алматы қ.; e-mail: isenova.gd@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3608-3146.

Information about the authors

Arman Berkinbayevich Makhanbetov – Associate Professor, PhD, Chief Researcher at the Research Institute «Ecology», International Kazakh-Turkish University named after Khoja Ahmed Yasawi, Turkestan; e-mail: arman.makhanbetov@ayu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1620-6922.

Tulkinzhon Erkinovich Gaipov – PhD, Director of the Sustainable Development Research Center, International Kazakh-Turkish University named after Khoja Ahmed Yasawi, Turkestan; e-mail: tulkinzhon.gaipov@ayu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9723-3745.

Davlat Khasanuly Yuldashbek* – Master of Chemistry, Senior Researcher at the Research Institute «Ecology», International Kazakh-Turkish University named after Khoja Ahmed Yasawi, Turkestan; e-mail: davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9342-7502.

Arnur Miramuly Kenzhegaliev – head of the entomology laboratory of the Kazakh Research Institute of Plant Protection and Quarantine named after Zh. Zhiembayev, Almaty city; e-mail: arnur_1992@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0308-222X.

Gulmira Dzhanibekovna Issenova – Candidate of Biological Sciences, Head of the Testing Center for Phytosanitary Laboratory Analysis of the Kazakh Scientific Research Institute of Plant Protection and Quarantine named after Zh. Zhiembaev, Almaty; e-mail: isenova.gd@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3608-3146.

Поступила в редакцию 01.06.2026
Поступила после доработки 05.09.2026
Принята к публикации 07.09.2026