

Научная статья

ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПРОДУКТОВ УТИЛИЗАЦИИ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПРОТИВ ВРЕДИТЕЛЕЙ ЯБЛОНИ

Арман Б. Маханбетов¹  PhD, ассоциированный профессор, Тулкинжон Э. Гаипов¹  кандидат химических наук, Давлат Х. Юлдашбек^{1*} , Арнур М. Кенжегалиев² , Жулдыз А. Дюсенова³  кандидат технических наук, Гульмира Д. Исенова²  кандидат биологических наук, Гульнисам О. Рвайдарова²  кандидат биологических наук

¹Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан; arman.makhanbetov@ayu.edu.kz (АБМ); tulkinzhon.gaipov@ayu.edu.kz (ТЭГ); davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz (ДХЮ)

²Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений имени Жазкена Жиембаева, г. Алматы, Казахстан; arnur_1992@mail.ru (АМК); isenova.gd@gmail.com (ГДИ); gulnizam@inbox.ru (ГОР)

³РГП «Казгидромет», Управления климатических исследований Научно-исследовательского центра, г. Астана, Казахстан; dyussenova_zh@meteo.kz (ЖАД)

*Автор корреспонденции: Давлат Х. Юлдашбек, e-mail: davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz (ДХЮ)

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

яблоня, вредители, полисульфид кальция, известково-серный отвар, биологическая активность.

АБСТРАКТ

В условиях устойчивого развития сельского хозяйства возрастает потребность в экологически безопасных и эффективных средствах защиты растений. Особый интерес представляет использование продуктов переработки серосодержащих промышленных отходов как источника биологически активных соединений. Целью настоящего исследования являлась оценка биологической активности полисульфида кальция (известково-серного отвара – ИСО, 40 %-ного водного раствора), полученного на основе серосодержащих отходов, против комплекса вредителей яблони. Полевые исследования проведены в условиях яблоневого сада Алматинской области с использованием общепринятых методик фитосанитарного мониторинга. Установлено, что применение ИСО в концентрациях 1,0...3,0 % обеспечивает высокую биологическую эффективность против клещей (*Panonychus ulmi*, *Bryobia rubrioculus*), а также гусениц *Cydia pomonella* и мучнистых червецов. Биологическая эффективность варьировала от 74,1 % до 90,3 % в зависимости от концентрации препарата. Наибольший эффект достигнут при концентрации 3,0 %, при которой снижение поврежденности листьев клещами составило 90,3 %, а плодов – 88,5 %. Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности полисульфида кальция, полученного из серосодержащих отходов, и подтверждают перспективность его применения в интегрированных системах защиты растений. Использование данного препарата способствует снижению пестицидной нагрузки и рациональному использованию вторичных ресурсов.

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы мировая наука демонстрирует устойчивый рост интереса к разработке экологически безопасных инсектицидных препаратов и использованию побочных продуктов различного происхождения в качестве сырья. Так, показано, что отходы растительного происхождения, в частности алгосефа, могут быть переработаны в натуральные инсектициды благодаря содержанию комплекса биологически активных соединений, обладающих инсектицидными свойствами [1]. Это подтверждает перспективность вовлечения отходов в агрохимические технологии.

По статье:

Получено: 17.04.2026
Пересмотрено: 13.07.2026
Принято: 11.09.2026
Опубликовано: 01.10.2026.

Для цитирования:

Маханбетов А., Гаипов Т., Юлдашбек Д., Кенжегалиев А., Дюсенова Ж., Изучение биологической активности продуктов утилизации серосодержащих отходов против вредителей яблони// Гидрометеорология и экология, 123 (3), 2026, 167-176.

Параллельно активно развиваются нанотехнологические подходы. В частности, разрабатываются нанопестициды с повышенной адгезией к поверхности растений, что снижает потери действующего вещества и повышает эффективность обработки. Отмечается необходимость создания препаратов, сочетающих высокую биологическую активность и экологическую безопасность [2].

Актуальной остаётся проблема рационального использования промышленных отходов, накопление которых приводит к загрязнению окружающей среды и экономическим потерям [3]. В то же время сельское хозяйство сохраняет потребность в эффективных средствах защиты растений, поскольку без фитосанитарных мероприятий потери урожая могут быть значительными. Применение традиционных химических инсектицидов сопровождается негативными экологическими последствиями, включая загрязнение почвы и водоёмов, а также накопление остаточных количеств в продукции. По оценкам, до 80...90 % распыляемых препаратов оседает вне целевого объекта [4].

В этой связи особое значение приобретают технологии получения экологически безопасных препаратов на основе серосодержащих соединений, включая композиции, формируемые с использованием побочных продуктов промышленных производств. Применение таких отходов позволяет одновременно решать задачи утилизации техногенного сырья и получения эффективных средств защиты растений.

Препараты, получаемые на основе взаимодействия серы с известью, применяются в сельском хозяйстве на протяжении длительного времени. Современные исследования направлены на повышение их эффективности, стабильности и экологической безопасности.

В ряде работ [5...7] показано, что применение серосодержащих неорганических соединений, включая композиции на основе полисульфидов кальция, эффективно снижает поражение плодовых культур и потери урожая. Дополнительно установлено их влияние на почвенную микробиоту и ростовые процессы растений. В лабораторных и полевых условиях подтверждена эффективность таких препаратов против широкого спектра вредителей, включая мраморного клопа (*Halyomorpha halys*) и паутинного клеща (*Tetranychus urticae*), при допустимом уровне воздействия на энтомофагов [8, 9].

Тем не менее, имеющиеся данные по фитосанитарному состоянию яблоневых насаждений в Казахстане ограничены исследованиями дикорастущих форм, в частности *Malus sieversii*, и преимущественно касаются фитопатогенов, тогда как вопросы комплексной оценки вредителей и эффективности защитных мероприятий в условиях культурных садов Юго-Восточного Казахстана остаются недостаточно изученными [10]. Климатические особенности региона, включая температурные колебания, режим увлажнения и специфику фитосанитарной нагрузки, могут существенно влиять на результативность обработки [11, 12]. В связи с этим целью настоящего исследования является оценка инсектицидной эффективности известково-серной системы в реальных агроэкологических условиях.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Химический состав серного кека сернокислотного производства определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа (XRF) и классическими аналитическими методами.

Получение известково-серного отвара (ИСО) осуществляли в укрупнённо-лабораторных условиях (реактор объёмом 200 л) при температуре 90...95 °С, продолжительности обработки до 2 ч и соотношении компонентов серный кек : известь : вода = 2,5 : 1 : 18.

Полевые исследования проводили в яблоневом саду крестьянского хозяйства «Олжас» (Карасайский район Алматинской области). Объектом служил промышленный участок площадью 5 га с деревьями сорта Апорт в стадии активной вегетации. Агротехнические мероприятия включали полив, подкормку, мульчирование, санитарную обрезку и механическую обработку почвы.

Фитосанитарный мониторинг проводили при следующих агрометеорологических условиях: температура воздуха +26...+28 °С, относительная влажность 55...60 %, осадки отсутствовали, наблюдалась переменная облачность. Указанные условия способствовали активному развитию вредителей.

Мониторинг выполняли в соответствии с методическими рекомендациями по оценке фитосанитарного состояния плодовых насаждений. Осмотр проводили по диагональной схеме с охватом всех зон сада. На каждой точке обследовали 5...7 деревьев. Оценке подвергались стволы, ветви, листья и плоды.

Для сбора мелких и подвижных представителей энтомофауны использовали энтомологические сачки диаметром 30 см с мелкоячеистой сеткой [13]. Пробы отбирали с 10 случайно выбранных деревьев в пределах каждой зоны [14]. Материал консервировали в 70% этаноле и направляли на лабораторную диагностику [15].

На 20 контрольных деревьях устанавливали ловчие пояса из гофрированного картона, которые снимали через 10 суток с последующим анализом на наличие вредителей, в том числе гусениц яблонной плодовой жорки (*Cydia pomonella*).

Полевые опыты по оценке биологической эффективности ИСО (40% в.р.) проводили по четырёхвариантной схеме: контроль и три опытных варианта с концентрацией 1,0; 2,0 и 3,0 %. Каждый вариант включал не менее 5 учётных деревьев, размещённых случайным образом. Для предотвращения перекрёстного влияния предусматривали буферные зоны.

Обработку проводили методом мелкодисперсного опрыскивания с использованием ранцевого опрыскивателя «Solo 451». Работы выполняли в утренние часы (8:00...10:30) при температуре около +23 °С, относительной влажности 55...60 % и отсутствии осадков [16]. Опрыскивание осуществляли до полного смачивания листовой поверхности без стекания капель.

Биологическую эффективность ИСО оценивали по динамике численности вредителей (клещей, гусениц, червецов) на 5-й, 10-й и 15-й дни после обработки. Оценка проводилась по результатам повторного фитосанитарного мониторинга.

Расчёт биологической эффективности (%) выполняли по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{(K - O)}{K} \cdot 100 \quad 1)$$

где:

Э – биологическая эффективность, %;

К – среднее значение численности вредителей в контрольном варианте;

О – среднее значение численности вредителей в опыте.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве объекта исследования рассмотрен серный кек, образующийся на предприятии ДЗО SSAP в процессе фильтрации расплавленной серы из ванны плавления. Материал характеризуется высоким содержанием серы (77,01 %), а также наличием железа (3,322 %), кремния (2,673 %) и кальция (1,254 %). Примесные элементы (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ba и др.) присутствуют в относительно низких концентрациях – от десятков до сотен ppm. Высокое содержание серы и сравнительно низкий уровень примесей определяют технологическую целесообразность использования кека в качестве сырья для получения серосодержащих соединений.

Проведён фракционный анализ исходного серного кека, результаты которого представлены в таблице 1.

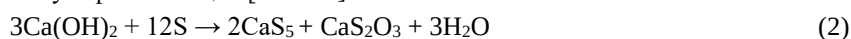
Таблица 1*Фракционный анализ серного кека*

Фракция	Масса (г)	Содержание S (%)	±3σ (%)
-0,1 мм	34,62	81,58	0,77
0,1...0,25 мм	120,22	74,79	0,25
0,25...0,5 мм	161,05	69,03	0,28
0,5...1 мм	255,1	68,42	0,29
1...2 мм	216,23	71,53	0,83
+2 мм	206,09	68,60	0,30

Анализ данных фракционного состава серного кека показывает, что содержание серы варьирует в пределах от 68,42 % до 81,58 % в зависимости от крупности частиц. Наибольшее содержание серы характерно для тонкой фракции (-0,1 мм), тогда как в более крупных фракциях (0,25...2 мм и выше) наблюдается незначительное снижение её концентрации. При этом основная масса материала сосредоточена в фракциях 0,5...2 мм, что определяет их наибольший вклад в общий баланс серы.

В результате проведённых исследований и расчёта материального баланса установлено, что основная часть серы переходит в жидкую фазу, а степень её извлечения составляет 92,76 %. Для кальция данный показатель существенно ниже и составляет 56 %, что свидетельствует о его частичном сохранении в твёрдом остатке. Полученные данные показывают, что в условиях проведённой экстракции процесс преимущественно обеспечивает переход серосодержащих соединений в раствор.

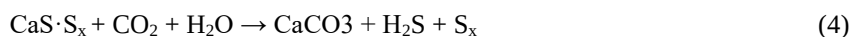
Образование активных серосодержащих соединений в известково-серной системе протекает при взаимодействии гидроксида кальция с серой с образованием полисульфидов и тиосульфата кальция [17...20]:



В водной среде полисульфиды кальция неустойчивы и подвергаются окислительно-восстановительным превращениям с выделением тонкодисперсной элементарной серы:



Дополнительно под действием диоксида углерода происходит их разложение:



Формирующаяся тонкодисперсная сера характеризуется развитой удельной поверхностью, что обеспечивает её высокую реакционную способность и биоцидную активность.

Данные СЭМ подтверждают образование частиц различной морфологии – от субмикронных до агрегированных (рис. 1).

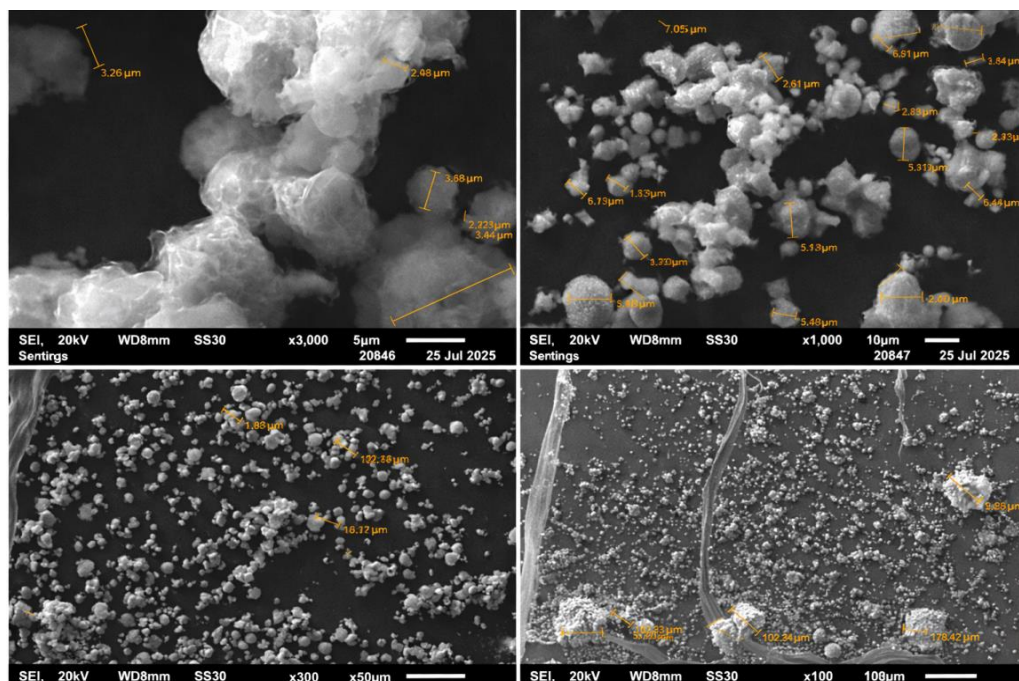


Рисунок 1. Электронно-микроскопическое изображение тонкодисперсных частиц серы

Такая морфология объясняет инсектицидное действие серы: мелкие частицы легко удерживаются на поверхности растений, прочно фиксируются в микропорах кутикулы и обеспечивают длительный контакт с насекомыми-вредителями. Высокая удельная поверхность частиц способствует более активному взаимодействию с покровами насекомых и приводит к их поражению.

Для подтверждения состава был проведён энергодисперсионный анализ (EDS). Полученные результаты свидетельствуют, что образец практически полностью состоит из серы (среднее значение 97,33 мас.%) (таб. 2).

Таблица 2

Элементный состав образца по данным СЭМ-EDS

Спектр	O, %	Si, %	S, %	Fe, %	Итог, %
1	6,57	0,21	92,46	0,75	100,00
2	0,00	0,18	99,82	0,00	100,00
3	0,00	0,28	99,72	0,00	100,00
Среднее	2,19	0,22	97,33	0,25	100,00

Таким образом, данные СЭМ и EDS подтверждают формирование тонкодисперсной серы высокой чистоты, обладающей развитой удельной поверхностью и потенциальной биоцидной активностью.

Для оценки практической эффективности полученного состава проведён фитосанитарный мониторинг в яблоневом саду крестьянского хозяйства «Олжас».

В результате мониторинга яблоневого сада КХ «Олжас», выявлены следующие основные выявленные вредители: красный плодовой клещ (*Panonychus ulmi*), бурый плодовой клещ (*Bryobia rubrioculus*), мучнистые червецы (сем. *Pseudococcidae*) и яблонная плодожорка (*Cydia pomonella*).

Степень поврежденности плодов и листьев яблони приведены в таблице 3.

Таблица 3*Поврежденность плодов и листьев в к/х Олжас*

Культура, сорт	Площадь садов, га	Яблонная плодородка		Красный и бурый плодовые клещи		Мучнистый червец	
		Встречаемость	Поврежденности плодов, %	Встречаемость	Поврежденности листьев, %	Встречаемость	Поврежденности листьев, %
Яблоня, Апорт	5	+++	35,1	+	31,5	+	9,1

Примечание: + - встречаемость до 5%; ++ - встречаемость до 25-50%; +++ - встречаемость более 50%.

Анализ полученных в ходе полевого эксперимента данных позволяет сделать вывод о высокой биологической активности ИСО при использовании его в различных концентрациях. Согласно данным, представленным в таблице 4, применение всех тестируемых доз ИСО обеспечило значительное снижение численности вредоносных организмов по сравнению с контролем (без обработки), причём эффект сохранялся в течение всего периода наблюдений (5, 10 и 15 суток после обработки).

Таблица 4*Биологическая эффективность против вредителей на 15-й день*

Варианты	Поврежденность, %		Биологическая эффективность, %	
	Яблонной плодородкой, плодов	Красный и бурый плодовые клещи, листьев	Яблонной плодородкой, плодов	Красный и бурый плодовые клещи, листьев
Контроль (без обработки)	35	31	-	-
ИСО, 1,0%	9	8	74,2	74,1
ИСО, 2,0%	7	5	80	83,8
ИСО, 3,0%	4	3	88,5	90,3

Биологическая эффективность ИСО по отношению к клещам (*Panonychus ulmi* и *Vryobia rubrioculus*) и другим вредителям (гусеницы *Cydia pomonella* и мучнистые червецы) варьировала в пределах от 74,1 % до 90,3 % в зависимости от концентрации рабочего раствора. Наиболее высокий эффект наблюдался при применении ИСО в концентрации 3,0 %, где степень снижения поврежденности листьев клещами составила 90,3 %, а плодов – 88,5 %. Эти данные свидетельствуют о выраженном контактном и овицидном действии полисульфида кальция при повышенной концентрации серосодержащих соединений.

Нижняя доза ИСО (1,0 %) также показала удовлетворительный уровень активности, обеспечивая снижение поврежденности листьев на 74,1 %, а плодов – на 74,2 %, что может быть использовано при необходимости снижения пестицидной нагрузки или в условиях умеренного поражения.

Таким образом, ИСО проявил стабильное и воспроизводимое действие в условиях открытого грунта, демонстрируя эффективность не только в отношении клещей, но и в борьбе с комплексом вредных организмов сада. Это делает ИСО перспективным средством для интегрированных систем защиты яблони, где важную роль играет не только результативность, но и экологическая безопасность воздействия.

Анализ экологических характеристик показал, что препарат, не обладая выраженным системным действием, действует преимущественно контактно и не оказывает длительного негативного влияния на полезную энтомофауну сада, в том числе на популяции хищных клещей и паразитоидов. Это подтверждает допустимость его применения в рамках программ биологически ориентированного контроля вредителей.

Кроме того, высокая эффективность ИСО при минимальном уровне остаточных накоплений делает его особенно актуальным в производстве экологически чистой, органической и экспортно-ориентированной плодородческой продукции.

Таким образом, применение ИСО может рассматриваться как экономически обоснованное и экологически безопасное мероприятие, способное стать частью комплексной стратегии защиты плодовых насаждений в условиях юго-восточного региона Казахстана.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые исследования показали, что серный кек сернокислотного производства является перспективным сырьём для получения биологически активных серосодержащих соединений. В процессе известково-серной экстракции достигается высокая степень извлечения серы в жидкую фазу (до 92,76 %), что обеспечивает формирование активных полисульфидных систем.

В ходе последующих превращений формируется тонкодисперсная элементарная сера с развитой удельной поверхностью. Это подтверждается данными СЭМ и EDS, свидетельствующими о высокой степени чистоты продукта (до 97,33 мас. % серы) и формировании структуры, определяющей его биоцидную активность.

Полевые испытания показали, что ИСО обладает высокой биологической эффективностью против комплекса вредителей яблони. Препарат обеспечивает существенное снижение степени повреждённости растений при различных концентрациях и сохраняет стабильное действие в условиях открытого грунта.

При этом ИСО характеризуется преимущественно контактным механизмом действия и не оказывает выраженного негативного влияния на полезную энтомофауну.

Таким образом, применение ИСО позволяет одновременно решать задачи утилизации техногенного сырья и защиты растений. Полученные результаты подтверждают перспективность его использования в интегрированных системах защиты и технологиях устойчивого садоводства.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, использованные в этом исследовании, получены авторами из следующих источников; данные, подтверждающие результаты исследования, приведены в статье.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – АБМ, ТЭГ, ДХЮ; Управление данными – ТЭГ, ЖАД; Формальный анализ – АМК ГДИ ГОР; Методология – АБМ, ДХЮ; Программное обеспечение – ТЭГ, ДХЮ, АМК; Отслеживание – АБМ; Визуализация – АМК ГДИ ГОР; Написание исходного проекта – АБМ, ТЭГ; написание и редактирование – АБМ, ДХЮ, ЖАД

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают признательность Центру научно-технологических инициатив «Самгау», а также ТОО «Samruk-Kazyna Ondeu» за оказанную финансовую и организационную поддержку при реализации проекта.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансировании научно-исследовательских, научно-технических и (или) опытно-конструкторских работ по договору № 002-2024-R/D от 17.04.2024 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bandyopadhyay D. UTRGV researchers turn aloe vera waste into natural insecticide. // The Newsroom. [Электрон. ресурс]. – 2025. – URL: <https://www.utrgv.edu/newsroom/2025/02/utrgv-researchers-turn-aloe-vera-waste-into-natural-insecticide.htm> (дата обращения: 25.03.2026).
2. Arcot Y., Mu M., Iepure M., Yodong R. K., Zhou W., Min Y., Cisneros-Zevallos L., Akbulut M. E. S., Akbulut M. B. Influence of nanopesticide surface chemistry on adsorption to plant cuticle and wax layer: The role of zeta potential and wetting. // Surfaces and Interfaces. – 2024. – Vol. 54. – pp. 105190. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2024.105190>
3. Beleno M. T., Torres A. I., Tzintzun O., Torres-Ramos R. Agro-industrial waste valorization: An environmental improvement strategy. In M. A. Coronado Ortega & J. R. Ayala Bautista (Eds.), Biomass: The novel green gold – current trends and future uses of biomass resources. // Nova Science Publishers. – 2024. – pp. 181-227.
4. Peng X., Jiang Y., Chen Z., Osman A. I., Farghali M., Rooney D. W., Yap P. S. Recycling municipal, agricultural and industrial waste into energy, fertilizers, food and construction materials, and economic feasibility: A review. // Environmental Chemistry Letters. – 2023. – Vol. 21(2). – pp. 765-801. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01551-5>
5. Rancane R., Valiuskaite A., Ozolina-Pole L., Bundzena G., Filipovics M., Rasiukeviciute N. The effectiveness of synthetic and inorganic substances in different apple scab control strategies. // Agriculture. – 2024. – Vol. 14(3). – pp. 383. <https://doi.org/10.3390/agriculture14030383>

6. Xia Q., Jiang W., Liu S., Qin L., Zhao G., Li Z., Yin C., Mao Z., Wang Y. Effects of crystal lime sulfur fumigation and application of root-growth-promoting agents on the control of apple replant disease. // *Horticulturae*. – 2023. – Vol. 9(8). – pp. 901. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9080901>
7. Liu H., Bai C., Guo Y., Yang Z., Luo X., Liu S., Huang Y., Yao L. The combined use of soil conditioner and foliar sulfur spray successfully prevents dark pericarp disease induced by manganese toxicity in litchi. // *Agronomy*. – 2024. – Vol. 14(3). – pp. 449. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030449>
8. Chierici E., Marchetti E., Poccia A., Russo A., Giannuzzi V. A., Governatori L., Zucchi L., Rondoni G., Conti E. Laboratory and field efficacy of natural products against the invasive pest *Halyomorpha halys* and side effects on the biocontrol agent *Trissolcus japonicus*. // *Scientific Reports*. – 2025. Vol. 15. – pp. 4622. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87325-9>
9. Vacacela Ajila H. E., Oliveira E. E., Lemos F., Haddi K., Goncalves P. H. M., Venzon M., Pallini A. Effects of lime sulfur on *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus macropilis*, two naturally occurring enemies of the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*). *Pest Management Science*. – 2020. – Vol. 76(3). – pp. 996-1004. <https://doi.org/10.1002/ps.5608>
10. Исмаилова Э. Т., Саданов А. К., Шемшюра О. Н., Байдалинов А. И., Тлеубекова Д. А., Баймаханова Г. Б., Жармухамедова Г. А., Жуманова Ж. К. Фитосанитарный мониторинг дикоплодовых насаждений яблони Сиверса. *Микробиология и вирусология*. – 2022. – Vol. (1). – pp. 57-58. <https://doi.org/10.53729/MV-AS.2022.01.04>
11. Ma C. S., Zhang W., Peng Y., Zhao F., Chang X. Q., Xing K., Zhu L., Ma G., Yang H. P., Rudolf V. H. W. Climate warming promotes pesticide resistance through expanding overwintering range of a global pest. *Nature Communications*. – 2021. – Vol. 12. – pp. 5351. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25505-7>
12. Matthews G. A., Bateman R., Miller P. Pesticide application methods. Chapter, 20. – John Wiley & Sons, 2014. – pp. 487-498. <https://doi.org/10.1002/9781118351284>
13. Волков В. Л., Лакотко А. А. Методы сбора, фиксации биологического материала и приготовление биопрепаратов. Ч. 2. – Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2014. – 52 с.
14. Койшыбаев М., Муминджанов Х. Методические указания по мониторингу болезней, вредителей и сорных растений. – Анкара: FAO. [Электрон. ресурс]. 2016. – 28 с. – URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/677bf646-66c4-420b-a0f0-f86ab8d91985/content> (дата обращения: 25.03.2026).
15. Marquina D., Buczek M., Ronquist F., Lukashik P. The effect of ethanol concentration on the morphological and molecular preservation of insects for biodiversity studies. // *PeerJ*. – 2021. – Vol. 9. – pp. e10799. <https://doi.org/10.7717/peerj.10799>
16. Nuytens D., De Schampheleire M., Verboven P., Brusselman E., Dekeyser D. Droplet size and velocity characteristics of agricultural sprays. // *Transactions of the ASABE*, 52(5). – 2009. – pp. 1471-1480. <https://doi.org/10.13031/2013.29127>
17. Kleinjan W. E., de Keizer A., Janssen A. J. H. Kinetics of the chemical oxidation of polysulfide anions in aqueous solution. // *Water Research*. – 2005. – Vol. 39(17). – pp. 4093-4100. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.08.006>
18. Licht S., Davis J. Disproportionation of aqueous sulfur and sulfide: Kinetics of polysulfide decomposition. // *Journal of Physical Chemistry B*. – 1997. – Vol. 101(14). – pp. 2540-2547.
19. Luther G. W., Findlay A. J., Macdonald D. J., Owings S. M., Hanson T. E., Beinart R. A., Girguis P. R. Thermodynamics and kinetics of sulfide oxidation by oxygen. // *Frontiers in Microbiology*. – Vol. 2. – pp. 62. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2011.00062>
20. Rickard D., Luther G. W. Chemistry of iron sulfides. // *Chemical Reviews*. – 2007. – Vol. 107(2). – pp. 514-562. <https://doi.org/10.1021/cr0503658>

REFERENCES

1. Bandyopadhyay, D. (2025). UTRGV researchers turn aloe vera waste into natural insecticide. The Newsroom, October 10. URL: <https://www.utrgv.edu/newsroom/2025/02/utrgv-researchers-turn-aloe-vera-waste-into-natural-insecticide.htm>
2. Arcot, Y., Mu, M., Iepure, M., Yodong, R. K., Zhou, W., Min, Y., Cisneros-Zevallos, L., Akbulut, M. E. S., Akbulut, M. B. (2024). Influence of nanopesticide surface chemistry on adsorption to plant cuticle and wax layer: The role of zeta potential and wetting. *Surfaces and Interfaces*, vol. 54, pp. 105190. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2024.105190>
3. Beleno, M. T., Torres, A. I., Tzintzun, O., Torres-Ramos, R. (2024). Agro-industrial waste valorization: An environmental improvement strategy. In M. A. Coronado Ortega & J. R. Ayala Bautista (Eds.), *Biomass: The novel green gold – current trends and future uses of biomass resources*. Nova Science Publishers, pp. 181-227.
4. Peng, X., Jiang, Y., Chen, Z., Osman, A. I., Farghali, M., Rooney, D. W., Yap, P.S. (2023). Recycling municipal, agricultural and industrial waste into energy, fertilizers, food and construction materials, and economic feasibility: A review. *Environmental Chemistry Letters*, vol. 21(2), pp. 765-801. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01551-5>
5. Rancane, R., Valiuskaite, A., Ozolina-Pole, L., Bundzena, G., Filipovics, M., Rasiukeviciute, N. (2024). The effectiveness of synthetic and inorganic substances in different apple scab control strategies. *Agriculture*, vol. 14(3), pp. 383. <https://doi.org/10.3390/agriculture14030383>
6. Xia, Q., Jiang, W., Liu, S., Qin, L., Zhao, G., Li, Z., Yin, C., Mao, Z., Wang, Y. (2023). Effects of crystal lime sulfur fumigation and application of root-growth-promoting agents on the control of apple replant disease. *Horticulturae*, vol. 9(8), pp. 901. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9080901>
7. Liu, H., Bai, C., Guo, Y., Yang, Z., Luo, X., Liu, S., Huang, Y., Yao, L. (2024). The combined use of soil conditioner and foliar sulfur spray successfully prevents dark pericarp disease induced by manganese toxicity in litchi. *Agronomy*, vol. 14(3), pp. 449. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030449>
8. Chierici, E., Marchetti, E., Poccia, A., Russo, A., Giannuzzi, V. A., Governatori, L., Zucchi, L., Rondoni, G., Conti, E. (2025). Laboratory and field efficacy of natural products against the invasive pest *Halyomorpha halys* and side effects on the biocontrol agent *Trissolcus japonicus*. *Scientific Reports*, vol. 15, pp. 4622. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87325-9>
9. Vacacela Ajila, H. E., Oliveira, E. E., Lemos, F., Haddi, K., Goncalves, P. H. M., Venzon, M., Pallini, A. (2020). Effects of lime sulfur on *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus macropilis*, two naturally occurring enemies of the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*). *Pest Management Science*, vol. 76(3), pp. 996-1004. <https://doi.org/10.1002/ps.5608>
10. Ismailova, E. T., Sadanov, A. K., Shemshura, O. N., Baidalinov, A. I., Tleubekova, D. A., Baimakhanova, G. B., Zharmukhamedova, G. A., Zhumanova, Zh. K. (2022). Фитосанитарный мониторинг дикоплодовых насаждений яблони Сиверса. [Phytosanitary monitoring of wild fruit stands of Sievers' apple tree]. *Микробиология и вирусология*, vol.1, 57-58. <https://doi.org/10.53729/MV-AS.2022.01.04> [in Russian]

11. Ma, C. S., Zhang, W., Peng, Y., Zhao, F., Chang, X. Q., Xing, K., Zhu, L., Ma, G., Yang, H. P., Rudolf, V. H. W. (2021). Climate warming promotes pesticide resistance through expanding overwintering range of a global pest. *Nature Communications*, vol. 12, pp. 5351. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25505-7>
12. Matthews, G. A., Bateman, R., Miller, P. (2014). Pesticide application methods. John Wiley & Sons, Book Chapter, 20, pp. 487-498. <https://doi.org/10.1002/9781118351284>
13. Volkov, V. L., & Lakotko, A. A. (2014). Metody sbora, fiksatsii biologicheskogo materiala i prigotovlenie biopreparatov. [Methods for Collecting and Preserving Biological Material and Preparing Biological Products]. Part 2. Vitebsk: VGU imeni P. M. Masherova, 52 pp. [in Russian]
14. Koishybaev, M., & Mumindzhanov, Kh. (2016). Metodicheskie ukazaniya po monitoringu boleznei, vrediteli i sornykh rastenii. [Guidelines for Monitoring Diseases, Pests, and Weeds]. FAO, 28 p. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/677bf646-66c4-420b-a0f0-f86ab8d91985/content> [in Russian]
15. Marquina, D., Buczek, M., Ronquist, F., Lukashik, P. (2021). The effect of ethanol concentration on the morphological and molecular preservation of insects for biodiversity studies. *PeerJ*, vol. 9, pp. e10799. <https://doi.org/10.7717/peerj.10799>
16. Nuytens, D., De Schampheleire, M., Verboven, P., Brusselman, E., Dekeyser, D. (2009). Droplet size and velocity characteristics of agricultural sprays. *Transactions of the ASABE*, 52(5), pp. 1471-1480. <https://doi.org/10.13031/2013.29127>
17. Kleinjan, W. E., de Keizer, A., Janssen, A. J. H. (2005). Kinetics of the chemical oxidation of polysulfide anions in aqueous solution. *Water Research*, vol. 39(17), pp. 4093-4100. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.08.006>
18. Licht, S., Davis, J. (1997). Disproportionation of aqueous sulfur and sulfide: Kinetics of polysulfide decomposition. *Journal of Physical Chemistry B*, vol. 101(14), pp. 2540-2547.
19. Luther, G. W., Findlay, A. J., Macdonald, D. J., Owings, S. M., Hanson, T. E., Beinart, R. A., Girguis, P. R. (2011). Thermodynamics and kinetics of sulfide oxidation by oxygen. *Frontiers in Microbiology*, vol. 2, pp. 62. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2011.00062>
20. Rickard, D., Luther, G. W. (2007). Chemistry of iron sulfides. *Chemical Reviews*, vol. 107(2), pp. 514-562. <https://doi.org/10.1021/cr0503658>

КҮКІРТ ҚҰРАМДЫ ҚАЛДЫҚТАРДЫ ҚАЙТА ӨНДЕУ ӨНІМДЕРІНІҢ АЛМА ЗИЯНКЕСТЕРІНЕ ҚАРСЫ БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

Арман Б. Маханбетов¹ PhD, қауымдастырылған профессор, Тулкинжон Э. Гаипов¹ химия ғылымдарының кандидаты, Давлат Х. Юлдашбек^{1*}, Арнур М. Кенжеғалиев², Жұлдыз А. Дюсенова² техника ғылымдарының кандидаты, Гульмира Д. Исенова² биология ғылымдарының кандидаты, Гульнисам О. Рвайдарова² биология ғылымдарының кандидаты

¹Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан; arman.makhanbetov@ayu.edu.kz (АБМ); tulkinzhon.gaipov@ayu.edu.kz (ТЭГ) davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz (ДХЮ)

²Жазкен Жиенбаев атындағы Қазақ өсімдік қорғау және карантин ғылыми-зерттеу институты, Алматы қ., Қазақстан; arnur_1992@mail.ru (АМК); isenova.gd@gmail.com (ГДИ); gulnisam@inbox.ru (ГОР)

³«Қазгидромет» РМК, Ғылыми-зерттеу орталығының Климаттық зерттеулер басқармасы, Астана қ., Қазақстан; dyussenova_zh@meteo.kz (ЖАД)

*Автор корреспонденциясы: Давлат Х. Юлдашбек, e-mail: davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz (ДХЮ)

ТҮЙІН СӨЗДЕР

алма ағашы,
зиянкестер,
кальций полисульфиді,
эк-күкіртті қайнатпа,
биологиялық белсенділік

АБСТРАКТ

Ауыл шаруашылығының тұрақты дамуы жағдайында экологиялық қауіпсіз және тиімді өсімдіктерді қорғау құралдарын әзірлеу өзекті болып табылады. Бұл жұмыста күкірт құрамды өнеркәсіптік қалдықтар негізінде алынған кальций полисульфидінің (эк-күкіртті қайнатпа – ЭКҚ, 40%-дық сулы ерітінді) алма зиянкестеріне қарсы биологиялық белсенділігі зерттелді. Зерттеу Алматы облысындағы алма бағында далалық жағдайда жүргізілді. Нәтижесінде кальций полисульфидінің 1,0...3,0% концентрацияларында кенелерге (*Panonychus ulmi*, *Bryobia rubrioculus*), сондай-ақ алма жемір көбелегінің (*Cydia pomonella*) дернәсілдеріне және ұнтақты құрттарға қарсы жоғары тиімділік көрсететіні анықталды. Биологиялық тиімділік препарат концентрациясына байланысты 74,1%-дан 90,3%-ға дейін өзгерді. Ең жоғары әсер 3,0% концентрацияда байқалды, мұнда кенелермен зақымдану жапырақтарда 90,3%-ға, ал жемістерде 88,5%-ға төмендеді. Алынған нәтижелер күкірт құрамды қалдықтардан алынған кальций полисульфидінің тиімділігін дәлелдейді және оны өсімдіктерді қорғаудың интеграцияланған жүйелерінде қолдану мүмкіндігін көрсетеді. Бұл препаратты қолдану пестицидтік жүктемені азайтып, қайталама ресурстарды ұтымды пайдалануға мүмкіндік береді.

Мақала жайында:

Алынды: 17.04.2026
Қайта қаралды: 13.07.2026
Қабылданды: 11.09.2026
Жарияланды: 01.10.2026

STUDY OF THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF SULFUR-CONTAINING WASTE RECYCLING PRODUCTS AGAINST APPLE PESTS

Arman B. Makhanbetov¹ PhD, Tulkinzhon E. Gaipov¹ Candidate of chemical sciences, Davlat Kh. Yuldashbek^{1*}, Arnur M. Kenzhegaliev², Zhuldyz A. Dyussenova³ Candidate of technical sciences, Gulmira D. Issenova² Candidate of biological sciences, Gulnissam O. Rvaidarova² Candidate of biological sciences

¹Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan; arman.makhanbetov@ayu.edu.kz (ABM); tulkinzhon.gaipov@ayu.edu.kz (TEG) davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz (DKhY)

²Zhazken Zhiembayev Kazakh Research Institute of Plant Protection and Quarantine, Almaty, Kazakhstan; arnur_1992@mail.ru (AMK); issenova.gd@gmail.com (GDI); gulnissam@inbox.ru (GOR)

³Kazhydromet State Enterprise, Climate Research Department of the Research Centre, Astana, Kazakhstan; dyussenova_zh@meteo.kz (ZhAD)

*Author correspondent: Davlat Yuldashbek, davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz (DKhY)

KEY WORDS

apple tree,
pests,
calcium polysulfide,
lime sulfur solution,
biological activity.

About article:

Received: 17.04.2026

Revised: 13.07.2026

Accepted: 11.09.2026

Published: 01.10.2026

ABSTRACT

In the context of sustainable agricultural development, there is an increasing demand for environmentally safe and effective plant protection products. Particular attention is being paid to the use of sulfur-containing industrial waste as a source of biologically active compounds. The aim of this study was to evaluate the biological activity of calcium polysulfide (lime sulfur solution – LSS, a 40% aqueous solution) obtained from sulfur-containing waste against a complex of apple pests. Field experiments were conducted in an apple orchard in the Almaty region using standard phytosanitary monitoring methods. The results showed that the application of calcium polysulfide at concentrations of 1.0...3.0% provided high biological efficacy against mites (*Panonychus ulmi*, *Bryobia rubrioculus*), as well as *Cydia pomonella* larvae and mealybugs. The biological efficacy ranged from 74,1% to 90,3% depending on the concentration. The highest efficacy was observed at a concentration of 3,0%, where the reduction in mite damage reached 90,3% on leaves and 88,5% on fruits. The findings confirm the high efficacy of calcium polysulfide derived from sulfur-containing waste and demonstrate its potential for use in integrated pest management systems. Its application contributes to reducing pesticide load and promoting the rational utilization of secondary resources.

Примечание издателя: заявления, мнения и данные во всех публикациях принадлежат только автору (авторам), а не журналу "Гидрометеорология и экология" и/или редактору (редакторам).