

7universum.com
UNIVERSUM:
 ХИМИЯ И БИОЛОГИЯ

9(147)

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Луис Федерико Лелуар (исп. Luis Federico Leloir) родился 6 сентября 1906, Париж — 2 сентября 1987, Буэнос-Айрес) — аргентинский врач и биохимик, первый аргентинский лауреат Нобелевской премии по химии.

Окончил университет Буэнос-Айреса (1932). В 1934—1935, 1937—1943 годах работал в Институте физиологии при этом университете (с 1941 года профессор физиологии). В 1936 году в биохимической лаборатории Кембриджского университета. В 1943 году переехал в США. Работал в Вашингтонском (1944) и Колумбийском университетах (1944—1945). В 1946 году вернулся в Аргентину. С 1946 года заведующий биохимической лабораторией Института физиологии.

Член Национальной академии наук США (1960)[2], Американской академии искусств и наук (1961), Лондонского королевского общества (1972)[3], АН Аргентины. Лелуар был известен своей скромностью, сосредоточенностью и последовательностью, многие описывали его как «истинного монаха от науки»[4]. Труды по метаболизму углеводов в живых клетках, а также углеводов производных нуклеотидов. Лелуар и его коллеги изучали гликопротеины, показали основные пути метаболизма галактозы, а также пути развития галактоземии — причины появления невосприимчивости к лактозе. Совместно с группой сотрудников выделил и изучил многие ферменты углеводного обмена. Второго декабря 1970 года Лелуар получил Нобелевскую премию по химии за исследования в области метаболических путей лактозы. Премия размером 80 000 долларов. Лелуар потратил на исследования.



*120 ЛЕТ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
 6 сентября 2026 г.*

ЛЕЛУАР
 ЛУИС ФЕДЕРИКО
 1906-1987 гг.



UNIVERSUM: ХИМИЯ И БИОЛОГИЯ

Научный журнал

Издается ежемесячно с ноября 2013 года

Выпуск: 9(147)

Сентябрь 2026 г.

Часть 2

Новосибирск
2026

ББК 24+28

U55

Главный редактор журнала:

Кван Ольга Вилориевна – д-р биол. наук.

Редакционная коллегия:

Арестова Инесса Юрьевна – канд. биол. наук;

Аронбаев Сергей Дмитриевич – д-р хим. наук, проф.;

Баженова Ольга Прокопьевна – д-р биол. наук, проф.;

Гилёв Алексей Валерьевич – д-р биол. наук;

Даминова Шахло Шариповна – д-р хим. наук, проф.;

Жаркова Наталья Николаевна – д-р с.-х. наук, доц.;

Жуманиязов Максуд Жаббиевич – д-р техн. наук, проф.;

Кадырова Гульчехра Хакимовна – д-р биол. наук;

Комарова Людмила Николаевна – д-р биол. наук, проф.;

Кунавина Елена Александровна – канд. хим. наук, доц.;

Ларионов Максим Викторович – д-р биол. наук;

Радкевич Мария Викторовна – д-р техн. наук, проф.;

Рудаков Олег Борисович – д-р хим. наук, проф.;

Севостьянова Ольга Игоревна – канд. биол. наук, доц.;

Скоркина Марина Юрьевна – д-р биол. наук, доц.;

Ткачева Татьяна Александровна – канд. хим. наук;

Шахова Валерия Николаевна – д-р биол. наук, доц.;

Шейда Елена Владимировна – д-р биол. наук;

Яковлев Иван Геннадиевич – канд. хим. наук.

U55 Universum: химия и биология : электронный научный журнал. — № 9(147). — Часть 2. — Новосибирск : Изд-во «Юниверсум», 2026. — 88 с. — Текст : электронный. — URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/category/9147> (дата публикации: 07.09.2026).

ISSN 2311-5459

DOI: 10.32743/UniChem.2026.147.9

Учредитель и издатель: ООО «Юниверсум»

© ООО «Юниверсум», 2026 г.

Содержание

Статьи на русском языке

Биология

Биотехнологии и бионанотехнологии

- Новый локальный штамм *Tetrademus obliquus*: выделение, морфолого-культуральная и молекулярно-генетическая характеристика** 4
Миракбарова Мохира Алишеровна
Абдуллаев Хуршидбек Одилович

Микробиология и вирусология

- Отбор перспективных микроорганизмов-антагонистов для биологического контроля фитопатогенных грибов рода *Alternaria*** 15
Азимова Нодира Шойим кизи
Халилов Илхом Маматкулович
Хамидова Хуршиде Муминовна
Каримов Хусниддин Холмаматович
Алиев Зафар Зокирович
Назарова Малика Хусан кизи
Ноипова Гавхар Боходир кизи
Равшанов Бахтиёр Актамович

Экология и охрана окружающей среды

- Применение почвопокровных и средообразующих растений-галофитов как альтернатива улучшения засоленных почв осушенного дна Аральского моря** 30
Матжанова Холида Казакбаевна
Орел Марина Михайловна
- Территориальная дифференциация фауны *Tettigoniidae* в горных ландшафтах центрального Узбекистана: сравнительный анализ Ургута и хребта Нуратау** 40
Тураева Зухра Ражабоевна

Articles in English

Chemistry

Organic Chemistry

- Synthesis and spectroscopic characterization of thiourea-based TGF-8 modifier and its interaction mechanism with liquid glass** 52
Murodov Doston
- Development of a catalyst for the catalytic oxychlorination synthesis of vinyl chloride from ethylene** 62
Omanov Behruzjon Shuhrat o'g'li
Olimov Mehroj G'ulom o'g'li

Biological and Pharmaceutical Chemistry

- Determination of water-soluble vitamins, flavonoids and amino acids in medicinal plants *Matricaria chamomilla*, *Sophora japonica*, *Mentha piperita* and *Juglans regia* by HPLC and study of acute toxicity in animals** 72
Togayev Azizbek Aliyor ug'li
Islomov Akmal Khushvaqovich

СТАТЬИ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

БИОЛОГИЯ

БИОТЕХНОЛОГИИ И БИОНАНОТЕХНОЛОГИИ

Статья поступила в редакцию: 14.07.2026

Статья принята к публикации: 04.08.2026

Статья опубликована: 07.09.2026

УДК 576.8+579.26

**Новый локальный штамм *Tetradismus obliquus*: выделение,
морфолого-культуральная и молекулярно-генетическая характеристика**

Миракбарова Мохира Алишеровна
докторант

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: moximira2@gmail.com

Абдуллаев Хуршидбек Одилович
докторант

Ташкентский химико-технологический институт
Республика Узбекистан, г. Ташкент

**A new local strain of *Tetradismus obliquus*: isolation, morphological-cultural
and molecular-genetic characteristics**

Mirakbarova Mokhira
PhD student

Tashkent State Technical University named after Islam Karimov
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Abdullayev Khurshidbek
PhD student

Tashkent Institute of Chemical Technology
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Аннотация

В данной статье представлены результаты исследования нового локального штамма *Tetradismus obliquus* Nam-Uz-23, выделенного из термальных минеральных вод Чартакского района Наманганской области Республики Узбекистан. Целью исследования являлись

выделение штамма, его молекулярно-генетическая идентификация и изучение морфологических и культуральных особенностей. Методология работы включала отбор проб водорослевых обрастаний с поверхности камней, получение альгологически чистой культуры, световую микроскопию и филогенетический анализ ITS-региона методом Neighbor-Joining. Идентификация штамма выполнена на основе анализа последовательности ITS-региона, проведенного в лаборатории «Почвенная микробиология и биотехнология» Института микробиологии Академии наук Республики Узбекистан. Полученная нуклеотидная последовательность ITS-региона депонирована в международной базе данных NCBI GenBank. Для изучения культуральных особенностей штамм культивировали на питательной среде BG-11 в результате чего были определены оптимальные условия его поддержания в культуре. Научная новизна работы заключается в выделении, молекулярно-генетической идентификации и морфолого-культуральной характеристике нового локального штамма *Tetradismus obliquus* Nam-Uz-23. Проведенная молекулярно-генетическая идентификация в сочетании с морфологической и культуральной характеристикой позволила подтвердить принадлежность выделенного штамма к виду *Tetradismus obliquus*. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности дальнейшего изучения данного штамма и биоразнообразия микроводорослей природных экосистем. Возможности его практического применения в кормопроизводстве, очистке сточных вод и других направлениях биотехнологии рассматриваются как перспективные направления дальнейших исследований и требуют дополнительного экспериментального подтверждения. Практическая значимость работы заключается в пополнении коллекции местных штаммов микроводорослей и возможности использования штамма Nam-Uz-23 в дальнейших работах по подбору условий культивирования. Представленные данные вносят вклад в накопление сведений о микроводорослях, выделенных из природных источников Республики Узбекистан.

Abstract

This article presents the results of a study of a new local strain of *Tetradismus obliquus* Nam-Uz-23 isolated from the thermal mineral waters of the Chartak district of the Namangan region of the Republic of Uzbekistan. The aim of the study was to isolate the strain, perform its molecular genetic identification and study its morphological and cultural characteristics. The methodology included sampling of algal growths, obtaining an algologically pure culture, light microscopy, and phylogenetic analysis of the ITS region sequence using the Neighbor-Joining method. The strain was identified based on the ITS region sequence analysis conducted in the Soil Microbiology and Biotechnology Laboratory of the Institute of Microbiology of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan. The obtained nucleotide sequence of the ITS region was deposited in the NCBI GenBank international database. To study the cultural characteristics, the strain was cultivated on the BG-11 nutrient medium, as a result of which the optimal conditions for its maintenance in culture were determined. The scientific novelty of the work lies in the isolation, molecular genetic identification and morphological-cultural characteristics of a new local strain of

Библиографическое описание: Миракбарова М.А., Абдуллаев Х.О. Новый локальный штамм *Tetradismus obliquus*: выделение, морфолого-культуральная и молекулярно-генетическая характеристика // *Universum: химия и биология* : электрон. научн. журн. 2026. 9(147). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23275>

Tetrademus obliquus Nam-Uz-23. The conducted molecular genetic identification in combination with morphological and cultural characteristics allowed us to confirm that the isolated strain belongs to the species *Tetrademus obliquus*. The obtained results indicate potential for further study of this strain and the biodiversity of microalgae in natural ecosystems.

Ключевые слова: *Tetrademus obliquus*, Nam-Uz-23, микроводоросли, термальные воды, молекулярная идентификация, BG-11, ITS-регион.

Keywords: *Tetrademus obliquus*, Nam-Uz-23, microalgae, thermal waters, molecular identification, BG-11, ITS region.

Введение

Микроводоросли — это разнообразная группа фотосинтезирующих организмов, которые играют важнейшую роль в различных экологических и промышленных процессах [11;22]. Водоросли представлены как микроскопическими микроводорослями, так и макроводорослями— все они являются неотъемлемой частью водных экосистем, формируя основу пищевых цепочек и внося значительный вклад в глобальное производство кислорода [21].

Помимо экологической значимости, водоросли привлекают внимание своим потенциалом в области биотехнологий, в том числе в фармацевтике, нутрицевтике, очистке сточных вод и, что особенно важно, в производстве энергии [5;8;24]. Благодаря высокой скорости роста, большому выходу биомассы и способности вырабатывать ценные метаболиты, они являются перспективными кандидатами для создания устойчивых энергетических решений [4]. Например, *Chlorella vulgaris* может давать до 1,20 г/л/день биомассы в оптимальных условиях и имеет содержание липидов около 28 – 32 % от сухой биомассы [3;7;9]. *Nannochloropsis sp.* — еще одна микроводоросль, известная высоким содержанием липидов, которое достигает 50 – 60 % от сухого веса, при этом продуктивность биомассы составляет до 0,64 г/л/день [24]. *Scenedesmus obliquus*, изучаемый для очистки сточных вод и производства биотоплива, характеризуется содержанием липидов 20 – 30 % и содержанием белка 40 – 45 % от сухой биомассы [3;22].

Род *Tetrademus*, наряду с другими родами микроводорослей, широко изучался благодаря высокой скорости роста и адаптивности к различным условиям сточных вод [10;18;25;26]. Содержание липидов в микроводорослях, достигающее до 50 % от их сухой биомассы у штаммов *Tetrademus sp.*, открывает значительный потенциал для производства биодизеля [12;20]. Более того, *Tetrademus sp.* может эффективно использовать питательные вещества, присутствующие в различных средах для выращивания, таких как сточные воды и сельскохозяйственные стоки, снижая потребность в синтетических удобрениях и связанные с этим затраты [4]. Особый интерес к представителям рода *Tetrademus* обусловлен их способностью эффективно использовать минеральные вещества из различных водных сред, включая сточные воды, а также высокой устойчивостью к изменениям условий культивирования. Современные исследования показывают, что представители данного рода способны поддерживать стабильный рост в широком диапазоне условий, что делает их перспективными объектами для дальнейших фундаментальных и прикладных исследований в области биотехнологии [16;19].

В последние годы представители рода *Tetradesmus* привлекают все большее внимание исследователей благодаря способности эффективно накапливать биомассу, адаптироваться к различным условиям культивирования и использоваться в ряде биотехнологических процессов. Штаммы данного рода рассматриваются как перспективные объекты для получения биомассы, очистки сточных вод, производства кормовых продуктов и других ценных биопродуктов. Вместе с тем поиск новых природных штаммов и их комплексная морфологическая и молекулярно-генетическая характеристика остаются актуальными задачами, поскольку локальные изоляты могут обладать специфическими биологическими свойствами и представлять интерес для дальнейших фундаментальных и прикладных исследований [22].

Цель исследований: Целью исследования являлись выделение нового локального штамма *Tetradesmus obliquus* из термальных минеральных вод Чартакского района Наманганской области Республики Узбекистан, его молекулярно-генетическая идентификация, а также изучение морфологических, культуральных особенностей.

Материалы и методы

Объект исследования: Объектом исследования служил штамм зелёной микроводоросли *Tetradesmus obliquus* Nam-Uz-23, выделенный в 2023 году из термальных минеральных вод Чартакского района Наманганской области Республики Узбекистан (41,0689° с.ш.; 71,8153° в.д.; около 650 м над уровнем моря). Температура воды в источнике составляла 40–60 °С. Поскольку целью работы являлись выделение и идентификация штамма, химический состав и степень минерализации источника в рамках настоящего исследования не определялись. Пробы отбирали 23 мая 2023 г. на термальном минеральном источнике Чартакского района Наманганской области Республики Узбекистан. Отбор проводили по методике, описанной в работе [17]. Водорослевые обрастания аккуратно снимали с камней стерильным скальпелем и помещали в стерильные полиэтиленовые ёмкости объёмом 50 мл. Выделение штамма проводили по общепринятой методике [17] на плотных питательных средах с использованием классических микробиологических методов. Культуру вели как клональную моноальгальную, полученную из единичной колонии; пересев на свежую среду повторяли до получения альгологически чистого состояния, которое контролировали микроскопически. Морфологические признаки штамма изучали с помощью светового тринокулярного микроскопа N-300M, оснащённого цифровой камерой MD101 (5,0 Мп) и встроенным экраном 11 дюймов, при увеличениях $\times 400$ и $\times 1000$ (масляная иммерсия). Размеры клеток определяли по 30 клеткам с использованием программного обеспечения камеры микроскопа; чистоту культуры контролировали микроскопически перед каждым пересевом. Штамм выделяли и поддерживали регулярным пересевом на модифицированной среде BG-11 с азотом. Она является универсальной питательной средой с высоким содержанием азота и минералов и адаптирована к стандартам «Коллекции культур водорослей и простейших» [1;23;27].

Культивирование проводили в колбах Эрленмейера объёмом 750 мл на роторном шейкере (150 об/мин) путём добавления 5–10 % инокулята к жидкой модифицированной питательной среде BG-11 при температуре 27 °С и освещённости 25–27 тыс. люкс. Состав

модифицированной питательной среды BG-11 (на 1 л): NaNO_3 — 1,50 г; $\text{K}_2\text{HPO}_4 \times 3\text{H}_2\text{O}$ — 0,04 г; $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ — 0,075 г; $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ — 0,05 г; Na_2CO_3 — 0,02 г; лимонная кислота — 0,006 г; ЭДТА· Na_2 — 0,001 г; $\text{Fe}^{3+}/\text{NH}_4^+$ -цитрат (Fe 16–19 %) — 0,006 г; раствор микроэлементов — 1,0 мл; 0,5 М раствор HEPES, pH 7,5 — 40 мл; дистиллированная вода — до 1 л [27]. Для длительного хранения штамм поддерживали на среде BG-11 при +4 °C с пересевом каждые 2 месяца либо в 10 % глицерине при –80 °C. Идентификация штамма проводилась в лаборатории «Почвенная микробиология и биотехнология» Института микробиологии Академии наук Республики Узбекистан на основании морфолого-культуральных признаков [13;14;15], а также молекулярно-генетического анализа. Выделение тотальной ДНК, амплификацию целевого фрагмента, очистку ПЦР-продукта и определение нуклеотидной последовательности проводили сотрудники указанной лаборатории по стандартным методикам, применяемым для идентификации микроводорослей.

В качестве молекулярного маркера использовали участок ITS1–5.8S–ITS2 рибосомальной ДНК [2], фланкированный консервативными последовательностями генов 18S и 28S рРНК. Данный участок широко применяется для видовой идентификации зелёных микроводорослей благодаря высокой вариабельности внутренних транскрибируемых спейсеров при консервативности фланкирующих областей. Амплификацию проводили с использованием универсальных праймеров ITS1 (5'-TCCGTAAGGTGAACCTGCGG-3') и ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') [28]. Полученную нуклеотидную последовательность сравнивали с последовательностями международной базы данных NCBI GenBank с использованием алгоритма BLASTn.

Филогенетический анализ выполняли на основе последовательности участка ITS1–5.8S–ITS2. Для построения дерева использовали гомологичные последовательности представителей родов *Tetradesmus*, *Acutodesmus* и *Scenedesmus*, депонированные в GenBank. Множественное выравнивание последовательностей выполняли алгоритмом ClustalW. Дерево реконструировали методом Neighbor-Joining на основе p-дистанций; статистическую поддержку узлов оценивали методом bootstrap (300 повторностей). В качестве внешней группы использовали *Chlorella sorokiniana* SM9_4 (KM514851.1). Анализ проводили в программе MEGA 11.

Результаты и обсуждение: В результате проведённой идентификации и анализа морфологических, культуральных и молекулярно-генетических характеристик установлено, что выделенный штамм *Tetradesmus obliquus* Nam-Uz-23 соответствует диагностическим признакам представителей рода *Tetradesmus*. Использование ITS-региона рДНК в сочетании с морфологическими особенностями является общепринятым подходом к достоверной идентификации микроводорослей данного рода. Полученная нуклеотидная последовательность депонирована в международной базе данных NCBI GenBank под регистрационным номером PZ027968. Выявленные морфологические признаки согласуются с современными литературными данными о виде *Tetradesmus obliquus* [2;13;14;15]. Для исследуемого штамма характерны эллипсоидная или удлинённая форма клеток, образование ценобиев из 2, 4 и 8 клеток и отсутствие жгутиков (рисунок 1). Совокупность указанных признаков соответствует диагностическим характеристикам данного вида и дополнительно подтверждает правильность проведённой идентификации.

Согласно характеристике депонированного штамма, оптимальными условиями его культивирования являются температура 26–30 °С, значение pH 6,8–7,5, использование модифицированной питательной среды BG-11, освещённость 25–27 тыс. лк и культивирование на роторном шейкере со скоростью 150 об/мин. Указанные условия рекомендованы для стабильного культивирования и поддержания жизнеспособности депонированного штамма. Сравнительный анализ полученной нуклеотидной последовательности участка ITS1–5.8S–ITS2 с последовательностями международной базы данных NCBI GenBank, выполненный с использованием алгоритма BLASTn, показал её высокую степень соответствия последовательностям вида *Tetradesmus obliquus*. Уровень сходства с наиболее близкими депонированными последовательностями составил 99,84 % при покрытии запроса 100 % и значении E-value 0,0. Среди наиболее близких оказались последовательности штаммов *Tetradesmus obliquus* UTEX 1450 и UTEX 1237, а также последовательности, депонированные под номерами MW065554.1, KJ676127.1 и KP645232.1. Часть близких последовательностей депонирована в GenBank под названием *Scenedesmus obliquus* (в том числе штаммы 1 – 10 и GS3b), что связано с проведённой ревизией рода и рассматривается как таксономический синоним *Tetradesmus obliquus*. Полученные значения сходства превышают порог, принятый для видовой идентификации зелёных микроводорослей по ITS-региону, и подтверждают принадлежность штамма Nam-Uz-23 к виду *Tetradesmus obliquus*.



Рисунок 1. Штамм *Tetradesmus obliquus* Nam-Uz-23, выделенный из термальных минеральных вод Чартакского района Наманганской области Республики Узбекистан

Полученные данные согласуются с современными представлениями о систематическом положении представителей рода *Tetradesmus* и могут служить основой для дальнейших исследований данного штамма. Для оценки соответствия выделенного штамма диагностическим признакам вида *Tetradesmus obliquus* проведено сравнение его основных морфологических характеристик с опубликованными литературными данными для штамма *Tetradesmus obliquus* BR003 [6]. Сравнение включало форму и размеры клеток, тип колоний,

способ размножения и другие морфологические признаки, наиболее часто используемые при идентификации представителей данного вида. Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Сравнительная характеристика морфологических и культуральных признаков штаммов *Tetradasmus obliquus* Nam-Uz-23 и BR003

Показатель	<i>Tetradasmus obliquus</i> Nam-Uz-23	<i>Tetradasmus obliquus</i> BR003
Форма клеток	Эллипсоидная или удлинённая	Эллипсоидная с закругленными концами
Размер клеток	6–18 мкм	около 10 мкм
Тип колоний	Ценобии из 2, 4 и 8-клеток	Ценобии из 4-8 клеток
Подвижность	Отсутствует	Отсутствует
Способ размножения	Автоспоры	Автоспоры
Оптимальная температура культивирования	26–30 °C	Не приведены
Оптимальное значение pH	6,8–7,5	Не приведены
Питательная среда	Модифицированная BG-11	BG-11
Освещённость	25–27 тыс. люкс	Не приведены
Скорость перемешивания	150 об/мин	Не приведены
Условия хранения	BG-11 при +4 °C	Не приведены

Как видно из данных таблицы 1, штамм *Tetradasmus obliquus* Nam-Uz-23 по основным морфологическим признакам соответствует опубликованным характеристикам штамма *Tetradasmus obliquus* BR003. Оба штамма имеют эллипсоидную форму клеток, образуют ценобии, размножаются автоспорами и не обладают подвижностью. Незначительные различия в размерах клеток могут быть связаны с происхождением штаммов и различиями условий культивирования. Полученные результаты согласуются с литературными данными и дополнительно подтверждают правильность идентификации исследуемого штамма как *Tetradasmus obliquus* [6].

Для уточнения филогенетического положения штамма *Tetradasmus obliquus* Nam-Uz-23 использовали последовательность участка ITS1–5.8S рДНК–ITS2, депонированную в базе GenBank под номером PZ027968. Последовательность сравнивали с гомологичными последовательностями представителей родов *Tetradasmus*, *Acutodesmus* и *Scenedesmus*. Для подтверждения таксономического положения штамма был выполнен филогенетический анализ. Полученное филогенетическое дерево представлено на рисунке 2.

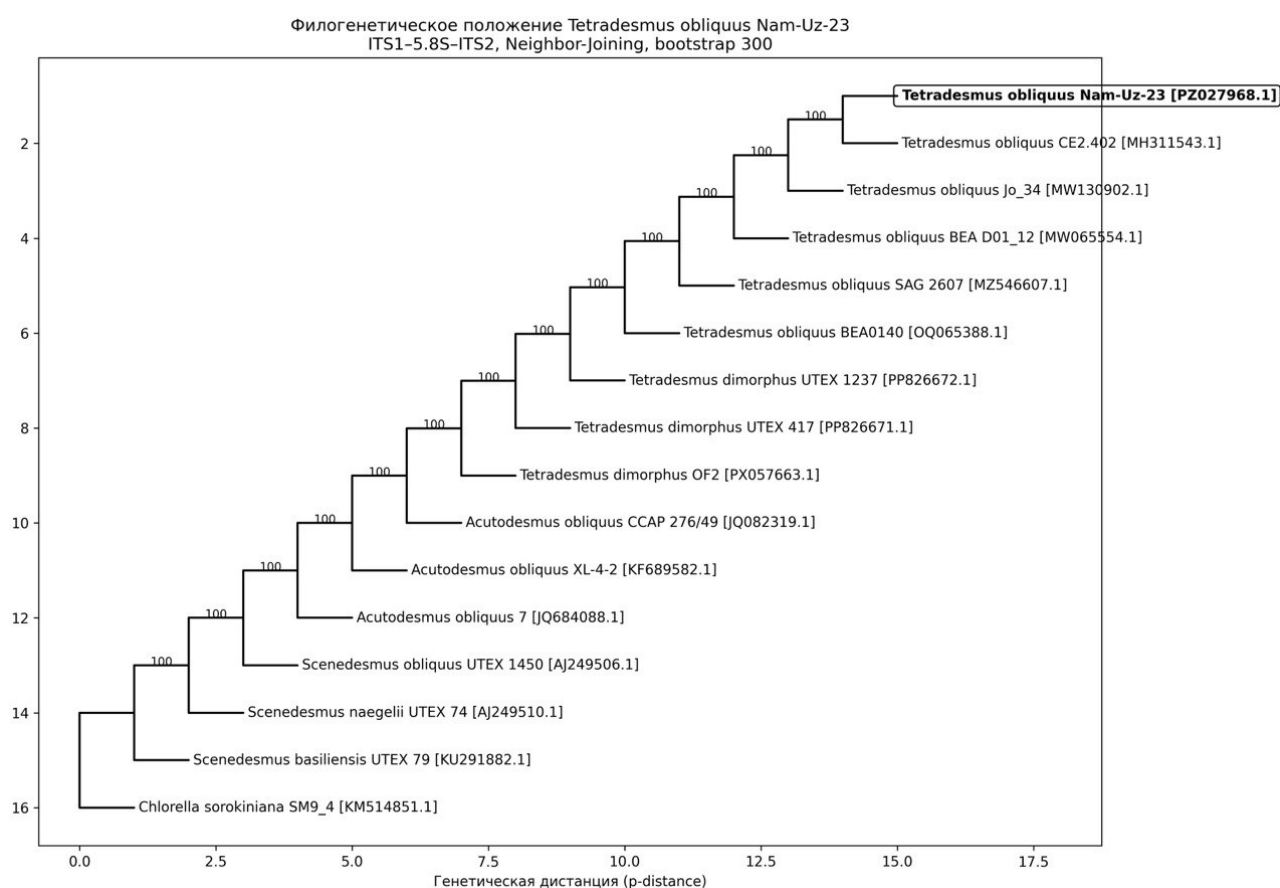


Рисунок 2. Филогенетическое положение штамма *Tetradasmus obliquus*

Nam-Uz-23 (PZ027968), установленное на основе сравнительного анализа нуклеотидных последовательностей участка ITS1–5.8S рДНК–ITS2. Филогенетическое дерево построено методом Neighbor-Joining с использованием р-дистанций. Надёжность топологии оценивали методом bootstrap на основе 300 повторностей. В качестве внешней группы использовали *Chlorella sorokiniana* SM9_4 (KM514851.1). Исследуемый штамм выделен полужирным шрифтом и рамкой.

Генетические характеристики. Генетическая идентификация штамма *Tetradasmus obliquus* Nam-Uz-23 проведена на основании анализа ITS-региона рибосомальной ДНК. Основные генетические характеристики представлены в таблице 2. Результаты филогенетического анализа, подтверждающие принадлежность исследуемого штамма к виду *Tetradasmus obliquus*, приведены на рисунке 2.

Таблица 2.

Генетическая характеристика штамма *Tetradasmus obliquus* Nam-Uz-23

Показатель	Характеристика
Вид	<i>Tetradasmus obliquus</i>
Штамм	Nam-Uz-23
Генетический маркер	ITS-регион рибосомальной ДНК (ITS rDNA)
Метод идентификации	Молекулярно-генетический анализ с секвенированием ITS-региона рДНК
Регистрационный номер NCBI	PZ027968

Показатель	Характеристика
Место проведения идентификации	Лаборатория «Почвенная микробиология и биотехнология» Института микробиологии АН Республики Узбекистан
Генетическая модификация	Отсутствует (штамм не является генетически модифицированным организмом)

Заключение

В результате проведенного исследования выделенный из термальных минеральных вод Узбекистана штамм *Tetradesmus obliquus* Nam-Uz-23 был идентифицирован на основании комплекса морфологических и молекулярно-генетических признаков. Сравнение морфологических характеристик с литературными данными и результаты филогенетического анализа ITS-региона рибосомальной ДНК подтвердили принадлежность исследуемого штамма к виду *Tetradesmus obliquus*. Полученные данные дополняют сведения о биоразнообразии микроводорослей термальных вод Узбекистана и могут служить основой для дальнейших исследований по культивированию и биотехнологическому использованию данного штамма.

Благодарность. Авторы выражают искреннюю благодарность

Хужамшукурову Н.А. за ценные научные консультации, методическую помощь, рекомендации при проведении исследований и обсуждении полученных результатов. Его поддержка и профессиональные советы способствовали успешному выполнению данной работы. Вклад авторов: Миракбарова М.А. разработала концепцию исследования, осуществила выделение и культивирование штамма, анализ результатов и подготовку рукописи. Абдуллаев Х.О. принимал участие в проведении исследований, обработке данных и подготовке статьи.

Список литературы

1. Allen M.M., Stanier R.Y. Growth and division of some unicellular blue-green algae // Journal of General Microbiology. – 1968. – Т. 51, № 2. – DOI: 10.1099/00221287-51-2-199.
2. Bao B., Thomas-Hall S.R., Schenk P.M. Fast-tracking isolation, identification and characterization of new microalgae for nutraceutical and feed applications // Phycology. – 2022. – Т. 2, № 1. – DOI: 10.3390/phycology2010006.
3. Becker E.W. Micro-algae as a source of protein // Biotechnology Advances. – 2007. – Т. 25, № 2. – DOI: 10.1016/j.biotechadv.2006.11.002.
4. Bora A., Thondi Rajan A.S., Ponnuchamy K., Muthusamy G., Alagarsamy A. Microalgae to bioenergy production: recent advances, influencing parameters, utilization of wastewater – a critical review // Science of the Total Environment. – 2024. – Т. 946. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.174230.
5. Borowitzka M.A. High-value products from microalgae – their development and commercialisation // Journal of Applied Phycology. – 2013. – Т. 25, № 3. – DOI: 10.1007/s10811-013-9983-9.

6. Cesário C.C., Soares J., Cossolin J.F.S., Almeida A.V.M., Bermudez Sierra J.J., Leite M.O., Nunes M.C., Serrão J.E., Martins M.A., Coimbra J.S.R. Biochemical and morphological characterization of freshwater microalga *Tetrademus obliquus* (Chlorophyta: Chlorophyceae) // *Protoplasma*. – 2022. – Т. 259, № 4. – DOI: 10.1007/s00709-021-01712-3.
7. Converti A., Casazza A.A., Ortiz E.Y., Perego P., Del Borghi M. Effect of temperature and nitrogen concentration on the growth and lipid content of *Nannochloropsis oculata* and *Chlorella vulgaris* for biodiesel production // *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. – 2009. – Т. 48, № 6. – DOI: 10.1016/j.cep.2009.03.006.
8. El Basuini M.F., Khat tab A.A.A., Hafsa S.H.A., Teiba I.I., Elkassas N.E.M., El-Bilawy E.H. Impacts of algae supplements (*Arthrospira* and *Chlorella*) on growth, nutrient variables, intestinal efficacy, and antioxidants in New Zealand white rabbits // *Scientific Reports*. – 2023. – Т. 13. – DOI: 10.1038/s41598-023-34914-1.
9. Griffiths M.J., Harrison S.T.L. Lipid productivity as a key characteristic for choosing algal species for biodiesel production // *Journal of Applied Phycology*. – 2009. – Т. 21, № 5. – DOI: 10.1007/s10811-008-9392-7.
10. Gupta S.K., Ansari F.A., Shriwastav A., Sahoo N.K., Rawat I., Bux F. Dual role of *Chlorella sorokiniana* and *Scenedesmus obliquus* for comprehensive wastewater treatment and biomass production for bio-fuels // *Journal of Cleaner Production*. – 2016. – Т. 115. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.12.040.
11. Gurau S., Imran M., Ray R.L. Algae: a cutting-edge solution for enhancing soil health and accelerating carbon sequestration – a review // *Environmental Technology and Innovation*. – 2025. – Т. 37. – DOI: 10.1016/j.eti.2024.103980.
12. Hu Q., Sommerfeld M., Jarvis E., Ghirardi M., Posewitz M., Seibert M., Darzins A. Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances // *The Plant Journal*. – 2008. – Т. 54, № 4. – DOI: 10.1111/j.1365-313X.2008.03492.x.
13. Huynh M., Sere diak N. Algae identification field guide. – Ottawa: Agriculture and Agri-Food Canada, 2006. – 40 P.
14. John D.M., Whitton B.A., Brook A.J. The freshwater algal flora of the British Isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae. – Cambridge: Cambridge University Press, 2002. – 702 P.
15. John D.M., Guiry M.D., Wilbraham J., Krokowski J. The 2011 edition of “The Freshwater Algal Flora of the British Isles”: additions, corrections, nomenclatural and taxonomic changes // *Applied Phycology*. – 2022. – Т. 3, № 1. – DOI: 10.1080/26388081.2022.2031295.
16. Kato H., Suzuki H., Wijffels R.H., Schulze P.S.C., Hulatt C.J. Thermal responses of *Tetrademus obliquus* for industrial outdoor cultivation // *Bioresource Technology Reports*. – 2024. – Т. 27. – DOI: 10.1016/j.biteb.2024.101909.
17. Lortou U., Panteris E., Gkelis S. Uncovering new diversity of photosynthetic microorganisms from the Mediterranean region // *Microorganisms*. – 2022. – Т. 10, № 8. – DOI: 10.3390/microorganisms10081571.

18. Martínez M.E., Sánchez S., Jiménez J.M., El Yousfi F., Muñoz L. Nitrogen and phosphorus removal from urban wastewater by the microalga *Scenedesmus obliquus* // *Bioresource Technology*. – 2000. – Т. 73, № 3. – DOI: 10.1016/S0960-8524(99)00121-2.
19. Mofeed J., Mosleh Y.Y. Toxic responses and antioxidative enzymes activity of *Scenedesmus obliquus* exposed to fenhexamid and atrazine, alone and in mixture // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2013. – Т. 95. – DOI: 10.1016/j.ecoenv.2013.05.023.
20. Mofeed J.M., Mamdouh I.M., Eltanahy E.E., Shehata A.I.A., Elzaawely A.A., Teiba I.I., El-Bilawy E.H. Evaluation of *Tetrademus obliquus* and *Monoraphidium* sp. as potential feedstocks for sustainable biodiesel production // *Frontiers in Marine Science*. – 2025. – Т. 12. – DOI: 10.3389/fmars.2025.1616335.
21. Naselli-Flores L., Padisák J. Ecosystem services provided by marine and freshwater phytoplankton // *Hydrobiologia*. – 2023. – Т. 850. – DOI: 10.1007/s10750-022-04795-y.
22. Oliveira C.Y.B., Oliveira C.D.L., Prasad R., Ong H.C., Araujo E.S., Shabnam N., Gálvez A.O. A multidisciplinary review of *Tetrademus obliquus*: a microalga suitable for large-scale biomass production and emerging environmental applications // *Reviews in Aquaculture*. – 2021. – Т. 13, № 3. – DOI: 10.1111/raq.12536.
23. Rippka R., Deruelles J., Waterbury J.B., Herdman M., Stanier R.Y. Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria // *Journal of General Microbiology*. – 1979. – Т. 111, № 1. – DOI: 10.1099/00221287-111-1-1.
24. Rodolfi L., Chini Zittelli G., Bassi N., Padovani G., Biondi N., Bonini G., Tredici M.R. Microalgae for oil: strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor // *Biotechnology and Bioengineering*. – 2009. – Т. 102, № 1. – DOI: 10.1002/bit.22033.
25. Samoraj M., Çalış D., Trzaska K., Mironiuk M., Chojnacka K. Advancements in algal biorefineries for sustainable agriculture: biofuels, high-value products, and environmental solutions // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. – 2024. – Т. 58. – DOI: 10.1016/j.bcab.2024.103224.
26. Singh N., Roy K., Goyal A., Moholkar V.S. Investigations in ultrasonic enhancement of β -carotene production by isolated microalgal strain *Tetrademus obliquus* SGM19 // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2019. – Т. 58. – DOI: 10.1016/j.ultsonch.2019.104697.
27. Stanier R.Y., Kunisawa R., Mandel M., Cohen-Bazire G. Purification and properties of unicellular blue-green algae (order Chroococcales) // *Bacteriological Reviews*. – 1971. – Т. 35, № 2. – DOI: 10.1128/br.35.2.171–205.1971.
28. White T.J., Bruns T., Lee S., Taylor J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics // *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications* / eds. M.A. Innis, D.H. Gelfand, J.J. Sninsky. – 1990. – DOI: 10.1016/B978-0-12-372180-8.50042-1.

МИКРОБИОЛОГИЯ И ВИРУСОЛОГИЯ

Статья поступила в редакцию: 14.07.2026

Статья принята к публикации: 27.07.2026

Статья опубликована: 07.09.2026

УДК 632.954+579.6

DOI: 10.32743/UniChem.2026.147.9.23267

Отбор перспективных микроорганизмов-антагонистов для биологического контроля фитопатогенных грибов рода *Alternaria*

Азимова Нодира Шойим кизи

канд. биол. наук

ст. науч. сотр. Институт микробиологии АН РУз

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: azimovanodira@mail.ru

Халилов Илхом Маматкулович

д-р биол. наук, заведующий

лабораторией биоконтроля фитопатогенов, Институт микробиологии Академии наук

Республики Узбекистан

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: ilkhom2002@yahoo.com

Хамидова Хуршиде Муминовна

канд. биол. наук

ст. науч. сотр. Институт микробиологии АН РУз

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: khamidovakh@mail.ru

Каримов Хусниддин Холмаматович

канд. биол. наук

ст. науч. сотр. Институт микробиологии АН РУз

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: karimov_h_kh@mail.ru

Алиев Зафар Зокирович

докторант (PhD)

Институт микробиологии Академии наук Республики Узбекистан

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: aliyevzafar24@gmail.com

Назарова Малика Хусан кизи

студент

Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: azimovanodira@mail.ru

Ноипова Гавхар Боходир кизи

студент

Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: azimovanodira@mail.ru

Равшанов Бахтиёр Актамович

докторант (PhD)

*Институт микробиологии Академии наук Республики Узбекистан**Республика Узбекистан, г. Ташкент**E-mail: baxtiyoraktamovech@gmail.com***Selection of Promising Antagonistic Microorganisms for the Biological Control of Phytopathogenic Fungi of the Genus *Alternaria*****Azimova Nodira***candidate of Biological Sciences**Senior Researcher**Institute of Microbiology**Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan**Republic of Uzbekistan, Tashkent***Khalilov Ilkhom***doctor of Biological Sciences**Head of the Laboratory of Phytopathogen Biocontrol**Institute of Microbiology Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan**Republic of Uzbekistan, Tashkent***Khamidova Khursheda***candidate of Biological Sciences, Senior Researcher**Institute of Microbiology Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan**Republic of Uzbekistan, Tashkent***Karimov Khusniddin***candidate of Biological Sciences**Senior Researcher**Institute of Microbiology**Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan**Republic of Uzbekistan, Tashkent***Aliyev Zafar***PhD student**Institute of Microbiology**Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan**Republic of Uzbekistan, Tashkent***Nazarova Malika***student, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek**Republic of Uzbekistan, Tashkent***Noipova Gavkhar***student, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek**Republic of Uzbekistan, Tashkent***Ravshanov Bakhtiyor***PhD student**Institute of Microbiology**Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan**Republic of Uzbekistan, Tashkent*

Библиографическое описание: Отбор перспективных микроорганизмов-антагонистов для биологического контроля фитопатогенных грибов рода *Alternaria* // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. Азимова Н.Ш. кизи [и др.]. 2026. 9(147). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23267>

Аннотация

Целью настоящего исследования являлась оценка антагонистической активности перспективных штаммов микроорганизмов в отношении фитопатогенных грибов рода *Alternaria* в условиях *in vitro*. В качестве антагонистов использовали штаммы *Trichoderma asperellum* UzA-4, *Bacillus safensis* FVPP 3/11, *Bacillus licheniformis* sh6.25, а также два штамма рода *Streptomyces*. Объектами исследования служили четыре изолята *Alternaria alternata*, один изолят *A. tenuissima* и один изолят *A. solani*, выделенные из картофеля и овощных культур. Антагонистическую активность определяли методом двойной культуры на картофельно-декстрозном агаре с последующим расчётом процента ингибирования радиального роста фитопатогенов. Установлено, что штамм *T. asperellum* UzA-4 проявил наиболее высокую биоконтрольную активность, обеспечивая 100 %-ное ингибирование роста всех исследованных изолятов *Alternaria*. Степень ингибирования штаммом *B. safensis* FVPP 3/11 составила от 27,0 до 62,0 %, тогда как штамм *B. licheniformis* sh6.25 ингибировал рост фитопатогенов в пределах 12,25–55,0 %. Штаммы *Streptomyces* характеризовались сравнительно низкой антагонистической активностью (0–36,0 %). Полученные результаты свидетельствуют, что среди исследованных микроорганизмов наиболее перспективным кандидатом для дальнейших исследований в качестве агента биологического контроля является штамм *T. asperellum* UzA-4. Вместе с тем его практическая эффективность требует дальнейшей оценки в тепличных и полевых условиях, а также изучения механизмов антагонистического действия.

Abstract

The aim of the present study was to evaluate the *in vitro* antagonistic activity of promising microbial strains against phytopathogenic fungi of the genus *Alternaria*. The antagonistic microorganisms included *Trichoderma asperellum* UzA-4, *Bacillus safensis* FVPP 3/11, *Bacillus licheniformis* sh6.25, and two *Streptomyces* strains. Four isolates of *Alternaria alternata*, one isolate of *A. tenuissima*, and one isolate of *A. solani*, obtained from potato tubers and vegetable crops, were used as phytopathogenic test organisms. Antagonistic activity was assessed using the dual culture assay on potato dextrose agar, followed by calculation of the percentage inhibition of radial mycelial growth.

The results demonstrated that *T. asperellum* UzA-4 exhibited the highest biocontrol activity, completely inhibiting (100 %) the growth of all tested *Alternaria* isolates. The inhibition rates of *B. safensis* FVPP 3/11 ranged from 27.0 % to 62.0 %, whereas *B. licheniformis* sh6.25 inhibited fungal growth by 12.25–55.0 %. The *Streptomyces* strains showed comparatively low antagonistic activity (0–36.0 %).

The obtained results indicate that *T. asperellum* UzA-4 is the most promising candidate for further investigation as a biological control agent against phytopathogenic fungi of the genus *Alternaria*. However, further studies under greenhouse and field conditions, as well as investigations into its mechanisms of antagonistic activity, are required before its practical application can be recommended.

Ключевые слова: *Alternaria alternata*, *Alternaria tenuissima*, *Alternaria solani*, *Trichoderma asperellum*, *Bacillus safensis*, *Bacillus licheniformis*, *Streptomyces*, антагонизм, биологический контроль.

Keywords: *Alternaria alternata*, *Alternaria tenuissima*, *Alternaria solani*, *Trichoderma asperellum*, *Bacillus safensis*, *Bacillus licheniformis*, *Streptomyces*, antagonism, biological control.

Введение

Непрерывный рост численности населения мира из года в год повышает спрос на сельскохозяйственную продукцию. В связи с этим разработка эффективных и экологически безопасных мер борьбы с заболеваниями, вызываемыми фитопатогенными микроорганизмами, приобретает особую актуальность для сохранения урожайности сельскохозяйственных культур и обеспечения продовольственной безопасности. В настоящее время среди экономически значимых фитопатогенов сельскохозяйственных культур особое место занимают грибы рода *Alternaria*. Представители данного рода вызывают такие заболевания, как ранняя пятнистость, пятнистость листьев, гнили плодов и клубней картофеля, томата, перца, моркови, капусты, лука, подсолнечника, зерновых и многих других сельскохозяйственных культур, а при благоприятных климатических условиях могут приводить к потерям урожая до 20–80 % [22, 12, 20].

Виды рода *Alternaria* являются некротрофными фитопатогенами, которые вызывают гибель растительных клеток в процессе развития заболевания за счёт синтеза фитотоксинов, гидролитических ферментов и других факторов вирулентности. К настоящему времени у грибов данного рода выявлено более 70 вторичных метаболитов и фитотоксинов, большинство из которых являются важными факторами патогенности и агрессивности. Геномные исследования также свидетельствуют о наличии многочисленных генов, связанных с биосинтезом токсинов, адаптацией к факторам окружающей среды и патогенностью, что подтверждает высокую адаптивность видов рода *Alternaria* [9, 18, 10].

Для контроля заболеваний, вызываемых *Alternaria* в сельском хозяйстве, преимущественно применяются химические фунгициды. Однако, длительное использование фунгицидов с одинаковым механизмом действия приводит к появлению резистентности у патогенов, нарушению микробиоценоза почвы, загрязнению окружающей среды, а также накоплению остаточных количеств пестицидов в сельскохозяйственной продукции. В связи с этим разработка экологически безопасных, устойчивых и эффективных средств биологической защиты является одним из приоритетных направлений современной фитопатологии [20].

В биологической борьбе с фитопатогенными грибами наиболее перспективными антагонистами признаны микроорганизмы, относящиеся к родам *Trichoderma*, *Bacillus* и *Streptomyces*. Виды рода *Trichoderma* подавляют рост фитопатогенов посредством микопаразитизма, конкуренции за питательные вещества и среду обитания, синтеза гидролитических ферментов, таких как хитиназа, β -1,3-глюканаза и протеаза, а также вторичных метаболитов, обладающих антибиотическими свойствами. Кроме того, они индуцируют системную устойчивость растений, повышая их сопротивляемость к заболеваниям [13, 12].

Бактерии рода *Bacillus* проявляют высокую антифунгальную активность в отношении многих фитопатогенных грибов благодаря синтезу липопептидных антибиотиков, таких как итурин, фенгидин и сурфактин, гидролитических ферментов, а также летучих органических соединений [23]. Они также успешно колонизируют ризосферу и стимулируют рост и развитие растений [11, 8].

Актиномицеты рода *Streptomyces* относятся к числу наиболее важных микроорганизмов — продуцентов природных антибиотиков. Синтезируемые ими антифунгальные метаболиты, сидерофоры и литические ферменты эффективно ингибируют рост мицелия и спорообразование фитопатогенных грибов. Некоторые штаммы способны активировать защитные реакции растений и обеспечивать стабильность микрофлоры ризосферы [7].

Несмотря на это, антагонистические свойства местных штаммов *Trichoderma*, *Bacillus* и *Streptomyces* в отношении представителей рода *Alternaria*, вызывающих заболевания сельскохозяйственных культур, изучены недостаточно. Отбор микроорганизмов с высокой биологической активностью среди местных штаммов является одним из важных этапов создания экологически безопасных биопрепаратов. В связи с этим целью настоящего исследования являлась оценка антагонистической активности в условиях *in vitro* штаммов *Trichoderma*, *Bacillus* и *Streptomyces*, выделенных в лабораториях биоконтроля фитопатогенов и почвенной микробиологии и биотехнологии Института микробиологии Академии наук Республики Узбекистан, в отношении представителей рода *Alternaria*, а также отбор наиболее перспективных штаммов.

Материалы и методы исследования

В исследовании использовали шесть фитопатогенных изолятов рода *Alternaria*, включая четыре штамма *Alternaria alternata*, один штамм *A. tenuissima* и один штамм *A. solani*, выделенные из клубней картофеля, листьев томата, сладкого перца и плодов баклажана, собранных на территории Ташкентской и Кашкадарьинской областей Республики Узбекистан. Предварительную идентификацию изолятов проводили по комплексу морфолого-культуральных и микроскопических признаков с использованием определителя Ф.Б. Ганнибала [2] и опубликованных литературных данных [5]. Все культуры поддерживались в коллекции лаборатории биоконтроля фитопатогенов Института микробиологии Академии наук Республики Узбекистан.

В качестве микроорганизмов-антагонистов использовали штаммы *Trichoderma asperellum* UzA-4, *Bacillus safensis* FVPP 3/11, *Bacillus licheniformis* sh6.25 [3, 1], а также два почвенных изолята *Streptomyces* sp. 2.1 и *Streptomyces* sp. 7, выделенных из ризосферной почвы хлопчатника Сырдарьинской области и сохраняемых в лабораторной коллекции.

Антагонистическую активность определяли методом двойной культуры на картофельно-декстрозном агаре (КДА) в соответствии с общепринятой методикой [17]. Среду КДА готовили согласно инструкции производителя, её pH составлял $5,6 \pm 0,2$. Штаммы *Trichoderma* и *Streptomyces* предварительно культивировали на КДА при температуре 28 ± 1 °C и 30 ± 1 °C соответственно в течение 5 суток. Штаммы *Bacillus* выращивали на мясопептонном агаре (МПА, pH $7,0 \pm 0,2$) при 28 ± 1 °C в течение 48 часов. Фитопатогенные грибы

культивировали на КДА при 25 ± 1 °C в течение 5 суток. Перед постановкой эксперимента чистоту всех культур контролировали микроскопически и путём повторного посева на соответствующие питательные среды.

Для постановки опыта из активно растущей периферической зоны колоний вырезали агаровые блоки диаметром 6 мм стерильным пробочным сверлом. В чашках Петри диаметром 90 мм агаровый блок фитопатогенного гриба и блок антагониста размещали на расстоянии около 50 мм друг от друга (от центра до центра) по диаметру чашки. Контрольные варианты содержали только фитопатогенный гриб без антагониста. Все варианты инкубировали при 25 ± 1 °C в течение 7 суток.

После окончания инкубации измеряли радиальный рост колонии фитопатогенного гриба в направлении антагониста. Процент ингибирования рассчитывали по формуле:

$$I (\%) = [(R_1 - R_2) / R_1] \times 100$$

где:

R_1 — радиус колонии фитопатогенного гриба в контрольном варианте (мм);

R_2 — радиус колонии фитопатогенного гриба в присутствии антагониста (мм).

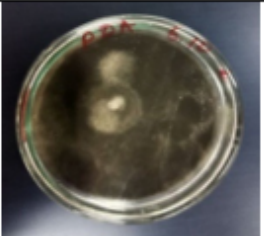
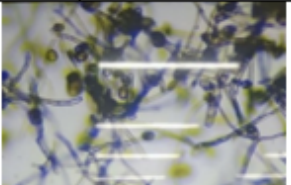
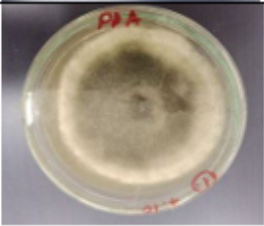
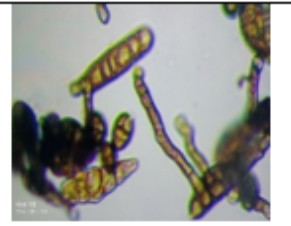
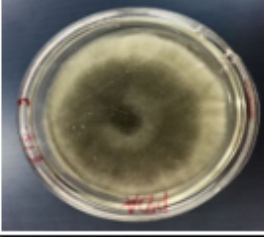
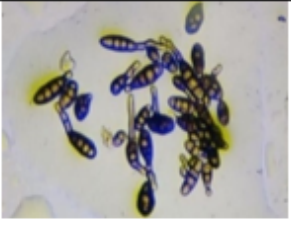
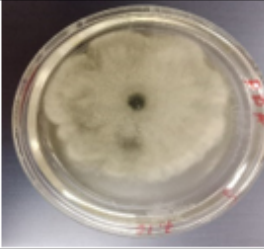
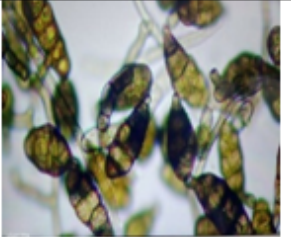
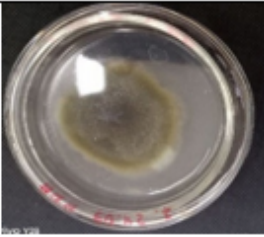
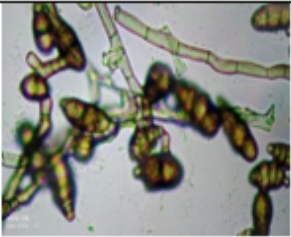
Все эксперименты проводили в трёх независимых повторностях. Полученные результаты представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения ($M \pm SD$). Статистическую обработку данных выполняли методом однофакторного дисперсионного анализа (One-way ANOVA) с использованием пакета Microsoft Excel (Analysis ToolPak). Различия между вариантами считали статистически значимыми при уровне вероятности $p < 0,05$.

Результаты исследований

В таблице 1 представлены сведения о представителях рода *Alternaria*, использованных в настоящем исследовании. Вирулентность данных грибов была определена в наших предыдущих исследованиях, согласно которым они проявляли высокую и низкую патогенность [4, 16].

Таблица 1.

Грибы рода *Alternaria*, выделенные на территории Ташкентской и Кашкадарьинской областей

№	Наименование штамма	Источник выделения	Колония (на среде КДА)	Микроскопическая картина (увеличение ×400)
1	<i>A. alternata</i> 5/13	Лист картофеля (Кашкадарьинская область)		
2	<i>A. alternata</i> 5/14	Плод баклажана (Кашкадарьинская область)		
3	<i>A. tenuissima</i> 1/3	Клубень картофеля (Ташкентская область)		
4	<i>A. alternata</i> 1/56	Клубень картофеля (Ташкентская область)		
5	<i>A. solani</i> 1/9	Лист сладкого перца (Ташкентская область)		
6	<i>A. alternata</i> 5/7	Лист томата (Кашкадарьинская область)		

В отношении данных фитопатогенных грибов были проведены исследования по отбору активных штаммов микроорганизмов-антагонистов. Тесты на антагонистическую активность в отношении каждого фитопатогенного гриба проводили, как показано на рисунке 1, а на основании полученных результатов была составлена таблица 2.

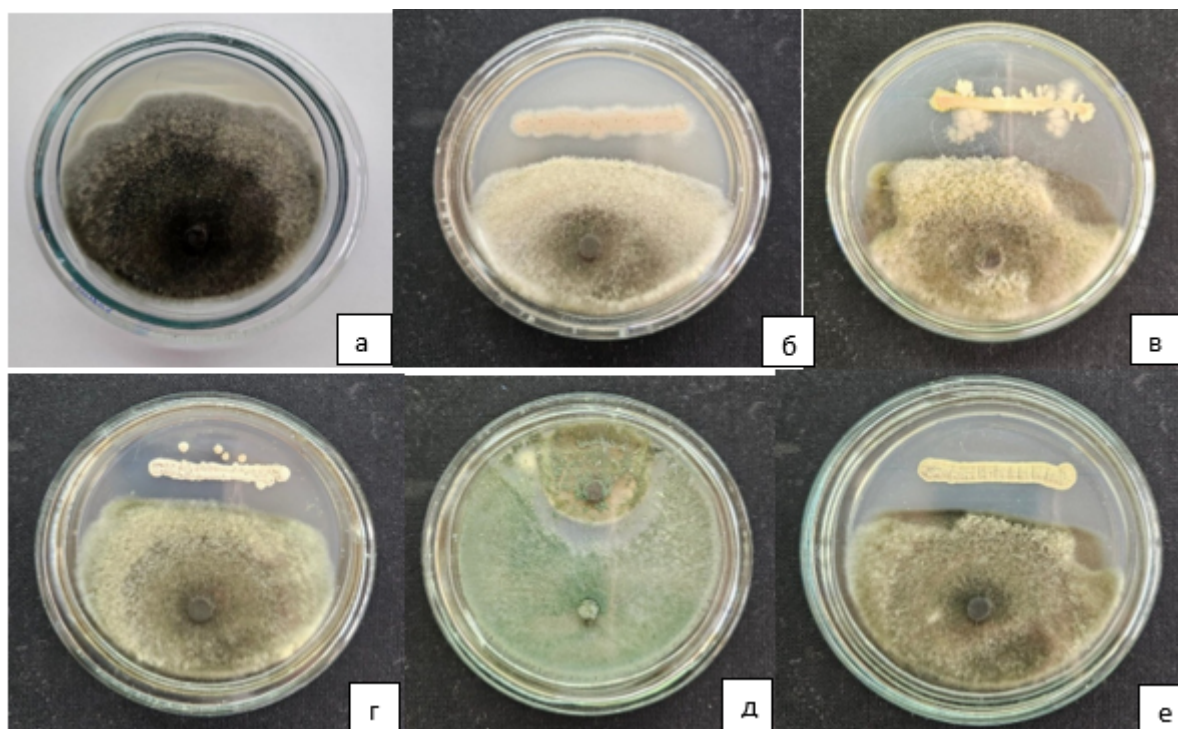


Рисунок 1. Антагонистическое взаимодействие микроорганизмов со штаммом *A. alternata* 5/13: а — контроль; б — *B. safensis* FVPP 3/11; в — *B. licheniformis* sh6.25; г — *Streptomyces* sp. 2.1; д — *T. asperellum* Uza-4; е — *Streptomyces* sp. 7

Таблица 2.

Ингибирующее действие микроорганизмов-антагонистов в отношении фитопатогенных грибов рода *Alternaria* (в %)

№	Фитопатогены Антагонисты	<i>A.alternata</i> 5/13	<i>A.alternata</i> 5/14	<i>A.tenuis-</i> <i>sima</i> 1/3	<i>A.alternata</i> 1/56	<i>A.solani</i> 1/9	<i>A.alternata</i> 5/7
1	<i>B. safensis</i> FVPP 3/11	36,2±1,8	40±2,0	27±1,5	62±2,0	35±2,1	38±1,9
2	<i>B. licheniformis</i> sh 6.25	27,6±2,0	12,2±1,5	32±2,1	55±2,7	43±1,5	30,5±2,2
3	<i>Streptomyces</i> sp. 2.1	23,4±2,1	8,5±0,7	23,5±2,5	36±1,0	18±1,9	10±1,2
4	<i>T. asperellum</i> Uza-4	100±0,0	100±0,0	100±0,0	100±0,0	100±0,0	100±0,0
5	<i>Streptomyces</i> sp. 7	32±1,2	0±0,0	20±1,5	18±1,0	16,8±1,2	20,5±1,5

Примечание. Данные представлены в виде $M \pm SD$ (среднее значение $\pm$ стандартное отклонение), $n = 3$. Статистическую значимость различий оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа (One-way ANOVA) с использованием Microsoft Excel (Analysis ToolPak) при уровне значимости $p < 0,05$.

Проведённый однофакторный дисперсионный анализ (One-way ANOVA) показал наличие статистически значимых различий в ингибирующей активности исследованных микроорганизмов ($p < 0,05$).

Ингибирующая активность штаммов микроорганизмов-антагонистов в отношении фитопатогенных грибов рода *Alternaria* проявлялась в различной степени. Согласно полученным результатам, среди исследованных штаммов наиболее высокой антагонистической активностью характеризовался штамм *T. asperellum* UzA-4. Он продемонстрировал 100 %-ное ингибирование в отношении всех исследованных фитопатогенных изолятов — *A. alternata* 5/13, *A. alternata* 5/14, *A. tenuissima* 1/3, *A. alternata* 1/56, *A. solani* 1/9 и *A. alternata* 5/7. Это свидетельствует о высокой универсальной антагонистической активности данного штамма против представителей рода *Alternaria*.

Среди бактериальных антагонистов сравнительно более высокую активность проявил *B.safensis* FVPP 3/11. Степень ингибирования данным штаммом варьировала в пределах 27,0–62,0 % в зависимости от фитопатогенного изолята. Наиболее высокий показатель — 62,0 % — был зарегистрирован в отношении изолята *A. alternata* 1/56. Кроме того, в отношении изолятов *A. alternata* 5/14 и *A. alternata* 5/7 было отмечено ингибирование, составившее соответственно 40,0 и 38,0 %. Штамм *B.licheniformis* sh6.25 также проявил выраженную антагонистическую активность в отношении отдельных изолятов. В частности, данный штамм ингибировал изоляты *A. alternata* 1/56 и *A. solani* 1/9 на 55,0 и 43,0 %, соответственно. Однако, активность в отношении *A. alternata* 5/14 была низкой и составила 12,25 %. Это свидетельствует о том, что антагонистическое действие штамма *B. licheniformis* sh6.25 изменяется в зависимости от особенностей фитопатогенного изолята.

Штамм *Streptomyces* sp. 2.1 также проявил сравнительно низкую ингибирующую активность. Степень его воздействия варьировала в пределах 8,5–36,0 %, при этом максимальная активность (36,0 %) была отмечена в отношении изолята *A. alternata* 1/56. В отношении остальных изолятов степень ингибирования составляла 10,0–23,5 %.

Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о существенных различиях в антагонистической активности исследованных микроорганизмов в отношении представителей рода *Alternaria*. Наиболее выраженный ингибирующий эффект был установлен у штамма *T. asperellum* UzA-4, который полностью подавлял рост всех исследованных фитопатогенных изолятов. Высокая эффективность данного штамма, вероятно, обусловлена комплексным действием нескольких механизмов биоконтроля, включающих микопаразитизм, конкуренцию за питательные вещества и пространство, а также синтез гидролитических ферментов и антифунгальных вторичных метаболитов. Аналогичные механизмы антагонизма для представителей рода *Trichoderma* неоднократно описаны в литературе [13, 6, 17, 21].

Следует отметить, что абсолютное ингибирование роста всех исследованных изолятов *Alternaria* свидетельствует о широком спектре антагонистической активности штамма *T. asperellum* UzA-4. Однако данный результат был получен исключительно в условиях *in vitro*, где взаимодействие микроорганизмов происходит в контролируемой среде и не отражает всей сложности природных экосистем. В почве и ризосфере эффективность биоконтрольных

агентов может зависеть от множества факторов, включая состав микробного сообщества, физико-химические свойства почвы, температуру, влажность и физиологическое состояние растения-хозяина.

Штаммы *B. safensis* FVPP 3/11 и *Bacillus licheniformis* sh6.25 также проявили выраженную антагонистическую активность, однако уровень ингибирования существенно варьировал в зависимости от исследуемого фитопатогенного изолята. Подобные различия могут быть обусловлены неодинаковой чувствительностью отдельных штаммов *Alternaria* к синтезируемым бактериями липопептидам, гидролитическим ферментам и другим биологически активным соединениям [11]. Кроме того, различные изоляты фитопатогенов могут отличаться скоростью роста, толщиной клеточной стенки и интенсивностью образования защитных метаболитов, что также влияет на эффективность антагонистического взаимодействия.

Штаммы *Streptomyces* sp. 2.1 и *Streptomyces* sp. 7 характеризовались значительно более низкой антифунгальной активностью. Несмотря на то, что представители рода *Streptomyces* являются известными продуцентами антибиотиков и других антимикробных соединений, эффективность отдельных штаммов существенно зависит от условий культивирования, состава питательной среды, продолжительности инкубации и особенностей синтеза вторичных метаболитов [7, 14, 24]. Поэтому полученные результаты не свидетельствуют об отсутствии биоконтрольного потенциала данных изолятов, а указывают на необходимость дальнейшей оптимизации условий их культивирования и дополнительного изучения механизмов антагонистического действия. Полученные результаты согласуются с опубликованными данными других исследователей, согласно которым представители родов *Trichoderma* и *Bacillus* являются одними из наиболее эффективных агентов биологического контроля фитопатогенных грибов, включая представителей рода *Alternaria* [6, 11, 15, 17, 19, 23]. Вместе с тем научная ценность настоящего исследования заключается в сравнительной оценке антагонистической активности местных штаммов микроорганизмов, выделенных на территории Республики Узбекистан, что позволяет определить наиболее перспективные культуры для последующего создания отечественных биологических препаратов.

Следует учитывать, что настоящее исследование представляет собой первичный скрининг антагонистической активности *in vitro*. Поэтому полученные результаты следует рассматривать как первый этап отбора перспективных штаммов. Для окончательной оценки их практической эффективности необходимы дальнейшие исследования, включающие молекулярную идентификацию наиболее чувствительных изолятов *Alternaria*, изучение механизмов антагонизма, определение способности продуцировать биологически активные соединения, оценку фитотоксичности, а также испытания в тепличных и полевых условиях.

Заключение

В результате проведённого исследования установлено, что антагонистическая активность исследованных микроорганизмов в отношении фитопатогенных грибов рода *Alternaria* существенно различалась. Среди всех испытанных штаммов наиболее высокой биологической активностью характеризовался *T. asperellum* UzA-4, который обеспечивал полное ингибирование роста всех исследованных изолятов *Alternaria* в условиях *in vitro*.

Штаммы *B. safensis* FVPP 3/11 и *B. licheniformis* sh6.25 проявили умеренную антагонистическую активность, тогда как исследованные представители рода *Streptomyces* характеризовались сравнительно низкой эффективностью.

Полученные результаты позволяют рассматривать штамм *T. asperellum* UzA-4 как наиболее перспективный кандидат для дальнейших исследований в качестве биологического агента защиты растений против фитопатогенных грибов рода *Alternaria*. Вместе с тем следует учитывать, что настоящая работа выполнена исключительно в условиях *in vitro*, поэтому полученные данные отражают только начальный этап отбора перспективных микроорганизмов.

Для подтверждения практической эффективности исследуемых штаммов необходимы дальнейшие исследования, включающие изучение механизмов антагонистического действия, определение способности к синтезу биологически активных соединений, оценку безопасности и фитотоксичности, а также проведение тепличных и полевых испытаний. Выполнение указанных исследований позволит объективно оценить возможность практического применения наиболее активных штаммов при разработке отечественных биологических препаратов для защиты сельскохозяйственных культур.

Благодарность

Авторы выражают благодарность Институту микробиологии Академии наук Республики Узбекистан за предоставленную возможность проведения исследований и создание необходимых условий для выполнения экспериментальной работы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственной бюджетной программы научных исследований Института микробиологии Академии наук Республики Узбекистан.

Список литературы

1. Азимова Н.Ш. Штамм *Bacillus safensis* FVPP 3/11 для защиты сельскохозяйственных растений от фитопатогенных грибов / Н.Ш. Азимова, Х.М. Хамидова, Х.Х. Каримов, И.М. Халилов, Н.С. Хайтбаева, Ф.Б. Кобилов, М.М. Назиров, И.Х. Мардонов // Патент на изобретение. – 2026.
2. Ганнибал Ф.Б. Мониторинг альтернариозов сельскохозяйственных культур и идентификация грибов рода *Alternaria*: методическое пособие / Ф.Б. Ганнибал; под ред. М.М. Левитина. – Санкт-Петербург: ГНУ ВИЗР Россельхозакадемии, 2011. – 70 с.
3. Н.Ш. Азимова, Х.М. Хамидова, И.М. Халилов, С.Н. Еланский, Е.М. Чудинова, Х.Х. Каримов, К.С. Маманазарова, Ф.Б. Кобилов. Антагонистический потенциал выделенных в Узбекистане бактерий родов *Bacillus* и *Pseudomonas* и грибов рода *Trichoderma* в отношении *Phytophthora infestans* // Микология и фитопатология. – 2024. – Т. 58, № 1. – DOI: 10.31857/S0026364824010049.
4. Равшанов Б. Выделение фитопатогенных грибов из клубней картофеля и оценка антагонистической активности микроорганизмов в отношении выделенных фитопатогенов / Б. Равшанов, Х. Каримов, Х. Хамидова, Н. Азимова // Вестник Национального университета Узбекистана. – 2025. – № 3.

5. Халмуминова Г.К. Виды рода *Alternaria* в Узбекистане / Халмуминова Г.К., Содигов Б.С., Камилов Ш.Г // Вестник аграрной науки Узбекистана. – 2018. – № 4.
6. Alfiky A. Deciphering *Trichoderma*–Plant–Pathogen Interactions for Better Development of Biocontrol Applications / Alfiky A., Weisskopf L // *Journal of Fungi*. – 2021. – Т. 7, № 1. – DOI: 10.3390/jof7010061.
7. Barka E.A. Taxonomy, Physiology, and Natural Products of Actinobacteria / E.A. Barka, P. Vatsa, L. Sanchez, N. Gaveau-Vaillant, C. Jacquard, H. Klenk, C. Clément, Y. Ouhdouch, G.P. van Wezel // *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. – 2016. – Т. 80, № 1. – DOI: 10.1128/mmbr.00019-15.
8. Caulier S. Overview of the antimicrobial compounds produced by members of the *Bacillus subtilis* group / Caulier S., Nannan C., Gillis A., Licciardi F., Bragard C., Mahillon J // *Frontiers in Microbiology*. – 2019. – Т. 10. – DOI: 10.3389/fmicb.2019.00302.
9. Chung K.R. Stress Response and Pathogenicity of the Necrotrophic Fungal Pathogen *Alternaria alternata* / Chung K. R // *Scientifica*. – 2012. – Т. 2012. – DOI: 10.6064/2012/635431.
10. Dang, H.X. The *Alternaria* genomes database: a comprehensive resource for a fungal genus comprised of saprophytes, plant pathogens, and allergenic species / Dang H.X., Pryor B., Peever T.L., Lawrence C. B // *BMC Genomics*. – 2015. – Т. 16. – DOI: 10.1186/s12864-015-1430-7.
11. Fira D. Biological control of plant pathogens by *Bacillus* species / Fira D., Dimkić I., Berić T., Lozo J., Stanković S // *Journal of Biotechnology*. – 2018. – Т. 285. – DOI: 10.1016/j.jbiotec.2018.07.044.
12. Garg S. *Alternaria* Blight of Tomato: A Review of Disease and Pathogen Management Approaches / Garg S., Kumar D.R., Yadav S., Kumar M., Yadav J // *Acta Scientific Agriculture*. – 2020. – Т. 4, № 11.
13. Harman G.E. *Trichoderma* species–Opportunistic, avirulent plant symbionts / Harman G.E., Howell C.R., Viterbo A., Chet I., Lorito M // *Nature Reviews Microbiology*. – 2004. – Т. 2, № 1. – DOI: 10.1038/nrmicro797.
14. Hu L. Enhancement of Mycelial Growth and Antifungal Activity by Combining Fermentation Optimization and Genetic Engineering in *Streptomyces pratensis* S10 / Hu L., Sun Y., Jia R., Dong X., Shen X., Wang Y // *Microorganisms*. – 2017. – Т. 5, № 8. – DOI: 10.3390/microorganisms50801943.
15. Islam S. Isolation and Identification of Plant Growth Promoting Rhizobacteria from Cucumber Rhizosphere and Their Effect on Plant Growth Promotion and Disease Suppression / Islam S., Akanda A.M., Prova A., Islam M.T., Hossain M.M // *Frontiers in Microbiology*. – 2016. – Т. 7. – DOI: 10.3389/fmicb.2016.01360.
16. Khaitbaeva N. Study of Phytotoxic Properties of Pathogenic Fungi in Eggplants / N. Khaitbaeva, N. Azimova, J. Sherkulova, X. Khamidova, Kh. Karimov, R. Kodirova, Z. Zufarova // *International Journal of Multidisciplinary and Current Research*. – 2023. – Т. 11, № 2. – DOI: 10.14741/ijmcr/v.11.2.1.

17. Mao T. Pepper growth promotion and Fusarium wilt biocontrol by *Trichoderma hamatum* MHT1134 / Mao T., Chen X., Ding H., Chen X., Jiang X // *Biocontrol Science and Technology*. – 2020. – Т. 30, № 11. – DOI: 10.1080/09583157.2020.1803212.
18. Meena M. *Alternaria* Toxins: Potential Virulence Factors and Genes Related to Pathogenesis / Meena M., Gupta S.K., Swapnil P., Zehra A., Dubey M.K., Upadhyay R. S // *Frontiers in Microbiology*. – 2017. – Т. 8. – DOI: 10.3389/fmicb.2017.01451.
19. Rios Velasco C. Identification and antagonistic activity in vitro of *Bacillus* spp. and *Trichoderma* spp. isolates against common phytopathogenic fungi / C. Rios Velasco, J.M. Caro Cisneros, D.I. Berlanga Reyes, M.F. Ruiz Cisneros, J.J. Ornelas Paz, M.Á. Salas Marina, V.M. Guerrero Prieto // *Revista Mexicana de Fitopatología*. – 2016. – Т. 34, № 1. – DOI: 10.18781/R.MEX.FIT.1507-1.
20. Schmey T. *Alternaria* diseases on potato and tomato / Schmey T., Tominello-Ramirez C.S., Brune C., Stam R // *Molecular Plant Pathology*. – 2024. – Т. 25, № 3. – DOI: 10.1111/mpp.13435.
21. Shavkiev J. Some volatile metabolites produced by the antifungal-*Trichoderma asperellum* UZ-A4 micromycete / Shavkiev J., Kholmamatovich K.H., Ismoilovna T.B., Azimovab N.S., Nazirbekov M.K., Khamidova K.M // *International Journal of Phytopathology*. – 2022. – Т. 11, № 3.
22. Thomma B.P.H.J. *Alternaria* spp.: from general saprophyte to specific parasite / Thomma B.P.H. J // *Molecular Plant Pathology*. – 2003. – Т. 4, № 4. – DOI: 10.1046/j.1364-3703.2003.00173.x.
23. Valeria Ruiz V. Regulation, Biosynthesis, and Extraction of *Bacillus*-Derived Lipopeptides and Its Implications in Biological Control of Phytopathogens / V. Valenzuela Ruiz, A. Gándara-Ledezma, M.F. Villarreal-Delgado, E.D. Villa-Rodríguez, F.I. Parra-Cota, G. Santoyo, L.J. Gómez-Godínez, L.A. Cira Chávez, S. de los Santos-Villalobos // *Stresses*. – 2024. – Т. 4, № 1. – DOI: 10.3390/stresses4010007.
24. Vurukonda S.S.K.P. Plant growth promoting and biocontrol activity of *Streptomyces* spp. as endophytes / Vurukonda S.S.K.P., Giovanardi D., Stefani E // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2018. – Т. 19, № 4. – DOI: 10.3390/ijms19040952.

References

1. Azimova N.Sh., Khamidova Kh.M., Karimov Kh.Kh., Khalilov I.M., Khajtbaeva N.S., Kobilov F.B., Nazirov M.M., Mardonov I.Kh. [Bacillus safensis FVPP 3/11 Strain for Protection of Agricultural Plants from Phytopathogenic Fungi] // *Patent na izobretenie*. – 2026. (In Russ.)
2. Gannibal F.B. [Monitoring of Alternariosis in Agricultural Crops and Identification of Alternaria Fungi: Methodological Guide] / F.B. Gannibal; pod red. M.M. Levitina. – Sankt-Peterburg: GNU VIZR Rossel'khozakademii, 2011. – 70 s (In Russ.)
3. Azimova N.Sh.Kh.M. [Antagonistic Potential of Bacillus and Pseudomonas Bacteria and Trichoderma Fungi Isolated in Uzbekistan Against Phytophthora infestans] // *Mikologiya i fitopatologiya*. – 2024. – Т. 58, № 1. – DOI: 10.31857/S0026364824010049. (In Russ.)

4. Ravshanov B. [Isolation of Phytopathogenic Fungi from Potato Tubers and Assessment of Antimicrobial Activity of Microorganisms Against Isolated Phytopathogens] / B. Ravshanov, Kh. Karimov, Kh. Khamidova, N. Azimova // Vestnik Natsional'nogo universiteta Uzbekistana. – 2025. – № 3. (In Russ.)
5. Khalmuminova G.K. [Alternaria Species in Uzbekistan] / Khalmuminova G.K., Sodirov B.S., Kamilov Sh.G // Vestnik agrarnoj nauki Uzbekistana. – 2018. – № 4. (In Russ.)
6. Alfiky A. Deciphering Trichoderma–Plant–Pathogen Interactions for Better Development of Biocontrol Applications / Alfiky A., Weisskopf L // Journal of Fungi. – 2021. – T. 7, № 1. – DOI: 10.3390/jof7010061.
7. Barka E.A. Taxonomy, Physiology, and Natural Products of Actinobacteria / E.A. Barka, P. Vatsa, L. Sanchez, N. Gaveau-Vaillant, C. Jacquard, H. Klenk, C. Clément, Y. Ouhdouch G.P. van Wezel // Microbiology and Molecular Biology Reviews. – 2016. – T. 80, № 1. – DOI: 10.1128/mmbr.00019-15.
8. Caulier S. Overview of the antimicrobial compounds produced by members of the *Bacillus subtilis* group / Caulier S., Nannan C., Gillis A., Licciardi F., Bragard C., Mahillon J // Frontiers in Microbiology. – 2019. – T. 10. – DOI: 10.3389/fmicb.2019.00302.
9. Chung K.R. Stress Response and Pathogenicity of the Necrotrophic Fungal Pathogen *Alternaria alternata* / Chung K. R // Scientifica. – 2012. – T. 2012. – DOI: 10.6064/2012/635431.
10. Dang H.X. The *Alternaria* genomes database: a comprehensive resource for a fungal genus comprised of saprophytes, plant pathogens, and allergenic species / Dang H.X., Pryor B., Peever T.L., Lawrence C. B // BMC Genomics. – 2015. – T. 16. – DOI: 10.1186/s12864-015-1430-7.
11. Fira D. Biological control of plant pathogens by *Bacillus* species / Fira D., Dimkić I., Berić T., Lozo J., Stanković S // Journal of Biotechnology. – 2018. – T. 285. – DOI: 10.1016/j.jbiotec.2018.07.044.
12. Garg S. *Alternaria* Blight of Tomato: A Review of Disease and Pathogen Management Approaches / Garg S., Kumar D.R., Yadav S., Kumar M., Yadav J // Acta Scientific Agriculture. – 2020. – T. 4, № 11.
13. Harman G.E. *Trichoderma* species–Opportunistic, avirulent plant symbionts / Harman G.E., Howell C.R., Viterbo A., Chet I., Lorito M // Nature Reviews Microbiology. – 2004. – T. 2, № 1. – DOI: 10.1038/nrmicro797.
14. Hu L. Enhancement of Mycelial Growth and Antifungal Activity by Combining Fermentation Optimization and Genetic Engineering in *Streptomyces pratensis* S10 / Hu L., Sun Y., Jia R., Dong X., Shen X., Wang Y // Microorganisms. – 2023. – T. 11, № 8. – DOI: 10.3390/microorganisms11081943.
15. Islam S. Isolation and Identification of Plant Growth Promoting Rhizobacteria from Cucumber Rhizosphere and Their Effect on Plant Growth Promotion and Disease Suppression / Islam S., Akanda A.M., Prova A., Islam M.T., Hossain M.M // Frontiers in Microbiology. – 2016. – T. 7. – DOI: 10.3389/fmicb.2016.01360.

16. Khaitbaeva N. Study of Phytotoxic Properties of Pathogenic Fungi in Eggplants / N. Khaitbaeva, N. Azimova, J. Sherkulova, X. Khamidova, Kh. Karimov, R. Kodirova, Z. Zufarova // International Journal of Multidisciplinary and Current Research. – 2023. – Т. 11, № 2. – DOI: 10.14741/ijmcr/v.11.2.1.
17. Mao T. Pepper growth promotion and Fusarium wilt biocontrol by Trichoderma hamatum MHT1134 / Mao T., Chen X., Ding H., Chen X., Jiang X // Biocontrol Science and Technology. – 2020. – Т. 30, № 11. – DOI: 10.1080/09583157.2020.1803212.
18. Meena M. Alternaria Toxins: Potential Virulence Factors and Genes Related to Pathogenesis / Meena M., Gupta S.K., Swapnil P., Zehra A., Dubey M.K., Upadhyay R. S // Frontiers in Microbiology. – 2017. – Т. 8. – DOI: 10.3389/fmicb.2017.01451.
19. Rios Velasco C. Identification and antagonistic activity in vitro of Bacillus spp. and Trichoderma spp. isolates against common phytopathogenic fungi / C. Rios Velasco J.M. Caro Cisneros D.I. Berlanga Reyes M.F. Ruiz Cisneros J.J. Ornelas Paz, M.Á. Salas Marina V.M. Guerrero Prieto // Revista Mexicana de Fitopatología. – 2016. – Т. 34, № 1. – DOI: 10.18781/R.MEX.FIT.1507-1.
20. Schmey T. Alternaria diseases on potato and tomato / Schmey T., Tominello-Ramirez C.S., Brune C., Stam R // Molecular Plant Pathology. – 2024. – Т. 25, № 3. – DOI: 10.1111/mpp.13435.
21. Shavkiev J. Some volatile metabolites produced by the antifungal-Trichoderma asperellum UZ-A4 micromycete / Shavkiev J., Kholmamatovich K.H., Ismoilovna T.B., Azimovab N.S., Nazirbekov M.K., Khamidova K.M // International Journal of Phytopathology. – 2022. – Т. 11, № 3.
22. Thomma B.P.H.J. Alternaria spp.: from general saprophyte to specific parasite / Thomma B.P.H. J // Molecular Plant Pathology. – 2003. – Т. 4, № 4. – DOI: 10.1046/j.1364-3703.2003.00173.x.
23. Valeria Ruiz V. Regulation, Biosynthesis, and Extraction of Bacillus-Derived Lipopeptides and Its Implications in Biological Control of Phytopathogens / V. Valenzuela Ruiz, A. Gándara-Ledezma M.F. Villarreal-Delgado E.D. Villa-Rodríguez, F.I. Parra-Cota, G. Santoyo L.J. Gómez-Godínez, L.A. Cira Chávez, S. de los Santos-Villalobos // Stresses. – 2024. – Т. 4, № 1. – DOI: 10.3390/stresses4010007.
24. Vurukonda S.S.K.P. Plant growth promoting and biocontrol activity of Streptomyces spp. as endophytes / Vurukonda S.S.K.P., Giovanardi D., Stefani E // International Journal of Molecular Sciences. – 2018. – Т. 19, № 4. – DOI: 10.3390/ijms19040952.

ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Статья поступила в редакцию: 28.07.2026

Статья принята к публикации: 16.08.2026

Статья опубликована: 07.09.2026

УДК 631.6+581.5+333.3

DOI: 10.32743/UniChem.2026.147.9.23313

Применение почвопокровных и средообразующих растений-галофитов как альтернатива улучшения засоленных почв осушенного дна Аральского моря

Матжанова Холида Казакбаевна

канд. биол. наук

доц., зав. лабораторией Каракалпакский научно-исследовательский институт естественных наук Каракалпакского отделения Академии наук Республики Узбекистан

Республика Узбекистан, Каракалпакстан, г. Нукус

E-mail: kholida_mk@mail.ru

Орел Марина Михайловна

ст. науч. сотр., Каракалпакский научно-исследовательский институт естественных наук

Каракалпакского отделения Академии наук Республики Узбекистан

Республика Узбекистан, Каракалпакстан, г. Нукус

E-mail: orel_mm@mail.ru

The use of ground cover and habitat-forming halophyte plants as an alternative for improving saline soils of the dried bottom of the Aral sea

Matjanova Kholida Kazakbaevna

PhD in Biology, Associate Professor

Head of the laboratory of the Karakalpak Research Institute of Natural Sciences Karakalpak

Branch of the Academy of Sciences

Republic of Uzbekistan, Karakalpakstan, Nukus

Orel Marina Mikhailovna

Senior researcher

of the Karakalpak Research Institute of Natural Sciences Karakalpak branch of the Academy of

Sciences

Republic of Uzbekistan, Karakalpakstan, Nukus

Аннотация

Усыхание Аральского моря привело к масштабной трансформации природных экосистем Южного Приаралья, сопровождающейся усилением процессов засоления почв, деградацией растительного покрова и формированием новых источников солепылевого

загрязнения. В этих условиях особую актуальность приобретает применение местных видов растений-галофитов, обладающих почвозащитными и средообразующими свойствами. Исследование основано на анализе литературных данных, результатов полевых наблюдений и опыта фитомелиорации деградированных территорий Приаралья.

Установлено, что на осушенном дне Аральского моря преобладают засоленные почвы хлоридного типа, при этом содержание солей в глинистых и суглинистых почвах составляет 0,8–4,5 %, а в песчаных и супесчаных – 0,1–0,8 %. Доминирующее положение в растительном покрове занимают галофиты, выполняющие важные средообразующие функции, включая закрепление поверхности почвы, снижение дефляции, уменьшение переноса солепылевых аэрозолей и создание условий для последующего формирования устойчивых растительных сообществ. Показано, что использование саксаула (*Haloxylon ammodendron*, *H. persicum*), а также местных видов джужгуна (*Calligonum* spp.), тамарикса (*Tamarix* spp.), терескена (*Krascheninnikovia ceratoides*) и солянок (*Xylosalsola richteri*) является эффективным направлением биологической рекультивации деградированных земель. Подтверждена целесообразность применения местных галофитных видов в качестве основы экологически устойчивых технологий восстановления засоленных почв осушенного дна Аральского моря и снижения негативных последствий экологического кризиса региона.

Abstract

The desiccation of the Aral Sea has resulted in a large-scale transformation of the natural ecosystems of the Southern Aral Sea region, accompanied by intensified soil salinization, degradation of vegetation cover, and the emergence of new sources of salt-dust pollution. Under these conditions, the use of native halophytic plant species with soil-protective and ecosystem-forming properties has become particularly relevant. This study is based on the analysis of published literature, field observations, and the experience of phytomelioration of degraded lands in the Aral Sea region.

The results showed that chloride-type saline soils predominate on the dried seabed of the Aral Sea. The salt content ranges from 0.8 to 4.5 % in clay and loamy soils and from 0.1 to 0.8 % in sandy and sandy loam soils. Halophytes dominate the vegetation cover and perform important ecosystem-forming functions, including soil surface stabilization, reduction of wind erosion, mitigation of salt-dust aerosol transport, and the creation of favorable conditions for the subsequent development of stable plant communities. The study demonstrated that the use of saxaul (*Haloxylon ammodendron*, *H. persicum*), as well as native species of *Calligonum* spp., *Tamarix* spp., *Krascheninnikovia ceratoides*, and *Xylosalsola richteri*, represents an effective approach to the biological reclamation of degraded lands. The findings confirm the feasibility of using native halophytic species as the basis for environmentally sustainable technologies aimed at restoring saline soils on the dried Aral Sea bed and mitigating the adverse environmental consequences of the regional ecological crisis.

Библиографическое описание: Матжанова Х.К., Орел М.М. Применение почвопокровных и средообразующих растений-галофитов как альтернатива улучшения засоленных почв осушенного дна Аральского моря // *Universum: химия и биология* : электрон. научн. журн. 2026. 9(147). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23313>

Ключевые слова: Аральское море, осушенное дно Аральского моря, галофиты, фитомелиорация, засоленные почвы, экологическое восстановление, рекультивация почв, опустынивание.

Keywords: Aral Sea, desiccated seabed, halophytes, phytomelioration, saline soils, ecological restoration, soil reclamation, desertification.

Введение

В последние годы, в связи с усыханием Аральского моря, произошло изменение экологической обстановки и природных условий в Южном Приаралье. Поэтому, на данных территориях изменился почвенно-растительный комплекс: почвы стали засоленными, а среди растительности стали преобладать галофиты. Засоленность глинистых и суглинистых почв колеблется в пределах — 0,8–4,5 % песчаные и супесчаные засолены меньше — 0,1–0,8 %, при этом преобладают хлоридные соли [6, с. 14–17; 7, с. 279–281].

Галофитный тип растительности на всей территории Южного Приаралья приобретает тенденцию к повсеместному распространению, и большинство видов является средообразующими. Изучение и применение средообразующих галофитов имеет важное значение для предотвращения негативных последствий экологических изменений и эффективной оптимизации процессов рассоления почв. В последние десятилетия значительное внимание мирового научного сообщества уделяется изучению галофитов природной флоры и возможностям их использования для восстановления и улучшения состояния засоленных почв. Исследования Н. Lieth, М. Moschenko и М. Lohmann [9, с. 104; 10, с. 104; 11, с.104] были посвящены оценке использования галофитов в различных климатических условиях в рамках экологических и экофизиологических исследований. Потенциал галофитных растений для рекультивации засоленных территорий и устойчивого землепользования рассмотрен в работах Mishra Avinash и Bhakti Tanna [12, с. 8289], а также J. Jed Brown, Edward P. Glenn и S.E. Smith [8, с. 73–80].

Опыт предотвращения переноса солепылевых аэрозолей и восстановления деградированных засоленных земель в южном Приаралье был начат в 1980-х гг. и продолжается до настоящего времени. На бывшем дне Аральского моря семенами саксаула в 2018 году уже засеяно около 110 тыс. гектаров. И предполагается освоить 500 тыс. га высохшего дна. В конечном итоге, в течение 10–12 лет лесными насаждениями можно покрыть все высохшее дно моря [4, с. 36–37].

Основным направлением работ стало создание защитных фитомелиоративных насаждений с использованием преимущественно саксаула (*Haloxylon ammodendron*, Н. persicum), а также других местных галофитных и ксерофитных видов, включая джужгун (*Calligonum* spp.), тамарикс (*Tamarix* spp.), терескен (*Krascheninnikovia ceratoides*) и солянки (*Xylosalsola richteri*) (Рис. 1).



Рисунок 1. Искусственная лесопосадка из саксаула

Несмотря на имеющиеся исследования и опыт работы в данной области, вопросы применения растений-освоителей, выполняющих почвопокровные и средообразующие функции на засоленных обширных территориях дна Аральского моря, до настоящего времени остаются недостаточно изученными. Это определяет актуальность поиска и выявления перспективных видов растений, пригодных для использования деградированных земель. Перспективные виды должны характеризоваться высокой устойчивостью к экстремальным условиям среды и одновременно выполнять ключевые экосистемные функции: способствовать закреплению почвы, снижению уровня её засоления, повышению плодородия и сохранению биоразнообразия [5, с. 31–37].

Объекты и методы исследований

Объектами исследований являлась галофильная и ксерофильная растительность, произрастающая на вновь образованных территориях, южной части осушенного дна Аральского моря на заложенных экологических профилях — 4 на Муйнакском (Учсайском) и 8 на Кабанбайском (рис. 1).



Рисунок 2. Районы исследования

Исследования проводились на протяжении 25 лет — с 2000 по 2025 гг. В работе были использованы экологические, геоботанические, наземно-экспедиционные, полустационарные наблюдения и мониторинг, лабораторные, флористические методы. Видовая принадлежность растений определялась по базе данных POWO (Plants of the World Online — Растения мира он-лайн).

Геоботаническим исследованиям подверглись: однолетние почвопокровные галофитные виды и многолетние средообразующие виды, перспективные для рекультивации засоленных земель, а также эдификаторные виды пустынных экосистем, обеспечивающие закрепление почвы, снижение дефляции и формирование благоприятных условий для последующего заселения территории другими видами растений.

Для определения степени засоления и химического состава почв использовали лабораторное оборудование, прошедшее предварительную проверку и калибровку в соответствии с установленными требованиями. Для высушивания почвенных образцов использовали сушильный шкаф ТГУ-01-200, для взвешивания почвенных образцов — аналитические весы CZBL 303.

Почвенные образцы отбирали из генетических горизонтов в корнеобитаемом слое в соответствии с принятой методикой отбора почвенных проб. Образцы очищали от растительных остатков и крупных включений, высушивали до воздушно-сухого состояния в сушильном шкафу, измельчали и просеивали через сито с размером ячеек 1 мм. Для химического анализа готовили водные вытяжки в установленном соотношении 1:5 почва–вода. После перемешивания и отстаивания вытяжку фильтровали и использовали для определения содержания водорастворимых солей. Определение состава и содержания водорастворимых солей проводили по методике Е. Аринушкиной [1, с. 275], с учетом рекомендаций В. Ковды [2, с. 304]. Ионы хлора определялись аргентометрическим методом,

сульфаты — гравиметрическим, ионы кальция и магния — комплексонометрическим (Трилон Б — этилендиаминтетрауксусная кислота), карбонат и бикарбонат-ионы — титрованием серной кислотой в присутствии индикаторов фенолфталеина и метилоранжа. Натрий и калий — по разнице суммы анионов и катионов. Содержание суммы солей контролировали по сухому остатку.

Цель исследования — научное обоснование применения почвопокровных и средообразующих растений-галофитов для улучшения засоленных почв осушенного дна Аральского моря.

Результаты исследования и их обсуждение

Продолжающиеся негативные последствия усыхания Аральского моря определяют необходимость разработки и внедрения, эффективных мер, направленных на стабилизацию экологической обстановки и восстановление нарушенных экосистем. Одной из первоочередных задач является закрепление подвижных песков и рекультивация вновь сформировавшихся засоленных территорий осушенного дна Аральского моря (Аралкум). Среди существующих методов восстановления наиболее перспективными являются биологическая мелиорация, фитовосстановление и фитозакрепление, основанные на использовании устойчивых к засолению и аридным условиям растений, способных закреплять почву, снижать интенсивность дефляции и улучшать её экологическое состояние.

Такие средообразующие растения, как *Haloxylon ammodendron* и *Tamarix hispida* хорошо изучены и широко применяются в облесении пустынных, засоленных деградированных почв на территории Аралкума.

К числу средообразующих видов, перспективных для рекультивации засоленных земель, помимо вышеупомянутых, относятся также эдификаторные виды пустынных экосистем — *Calligonum caput-medusae*, *Halostachys caspica*, *Nitraria schoberi*, *Kalidium capsicum*, обеспечивающие закрепление почвы, снижение дефляции и формирование благоприятных условий для последующего заселения территории другими видами растений.

Однако, постоянно меняющиеся климатические условия, с усиленной аридизацией, обуславливают появление новых природных территорий, с меняющимися почвенно-эдафическими, гидрологическими характеристиками требуют поиска новых видов растений, способных произрастать и адаптироваться к данным условиям.

Исследованиями установлено, что в естественных условиях засоленной пустыни Аралкум первыми поселяются пионерные виды — однолетние галофиты, которые выполняют почвозащитную функцию, частично дают расселяющий эффект и создают благоприятные условия для последующего заселения другими видами растений. К таким почвозащитным (почвозакрепляющим) однолетним галофитам, обеспечивающим формирование первичного растительного покрова на осушенном дне Аральского моря, относятся *Salicornia persica*, *Spirobassia hirsuta*, *Bassia hyssopifolia*, *Climacoptera aralensis*, *C. olgae*, *C. crassa*, *Atriplex pratovii*, *Petrosimonia sibirica*. В таблице 1 приведен перечень растений и их возможности по улучшению состояния почв.

Таблица 1.

Почвопокровные растения и их экологическая роль

№	Вид	Экологические функции
1	<i>Salicornia persica</i>	Образует плотные заросли на солончаках, эффективно покрывает поверхность почвы
2	<i>Spirobassia hirsuta</i>	Один из основных пионерных видов осушенного дна, формирует значительный растительный покров
3	<i>Bassia hyssopifolia</i>	Хорошо покрывает поверхность почвы, снижает дефляцию
4	<i>Climacoptera aralensis</i>	Пионерный однолетний галофит, формирует сплошной покров
5	<i>Climacoptera olgae</i>	Аналогично, участвует в формировании напочвенного покрова
6	<i>Climacoptera crassa</i>	Формирует растительный покров на засоленных почвах
7	<i>Atriplex pratovii</i>	Может выступать как почвопокровный вид при высокой плотности, но обычно рассматривается как пионерный галофит
8	<i>Petrosimonia sibirica</i>	Формирует плотные сезонные сообщества на солончаках

Авторы данной статьи в своих исследованиях [3, с. 1–10] предлагают использовать и создавать на локальных засоленных территориях растения, применяя комплексные посадки, состоящие из почвопокровных травянистых галофитов, таких как: *Salicornia persica*, *Spirobassia hirsuta*, *Bassia hyssopifolia*, *Climacoptera aralensis*, *C. olgae*, *C. crassa*, *Atriplex pratovii*, *Suaeda acuminata*, *S. prostrata*, *Aeluropus littoralis*, *Alhagi pseudalhagi*, *Petrosimonia sibirica*, а также, средообразующих солеустойчивых древесно-кустарниковых – *Haloxylon ammodendron*, *Halostachis belangeriana*, *Tamarix hispida*, *T. ramosissima*, *Calligonum aralense*, *C. arborescens*, *C. caput-medusae* (рис. 2).

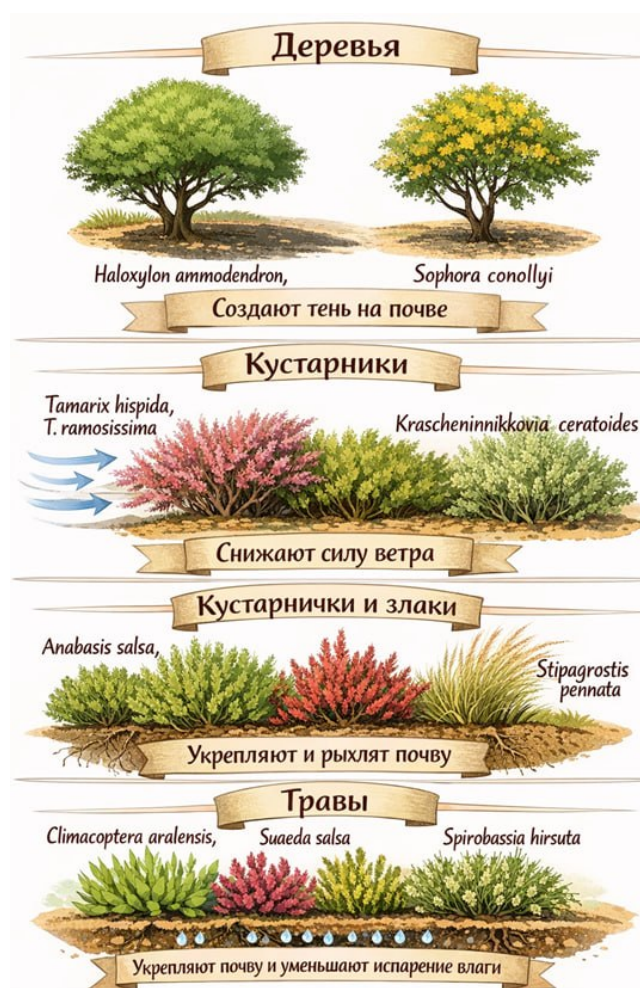


Рисунок 3. Ярусное расположение экобиоморф солеустойчивых растений

Этим способом предлагается совместное выращивание травянистых и солеустойчивых древесно-кустарниковых растений. Отличительной особенностью способа является то, что для повышения эффективности рассоления и предотвращения повторного засоления засоленный участок, на котором выращивают вначале травянистые, представляющие 1-ярус растения, а затем — древесно-кустарниковые. При этом создается комплекс многоярусных растений, которые создают биокаркас из растительности, улучшая почвенные (травы), климатические экологические условия (деревья и кустарники) окружающей среды.

Заключение

Таким образом, положительный эффект фитомелиорации осушенного дна Аральского моря достигается за счет применения научно обоснованных методов посадки и использования подобранного ассортимента видов растений, обладающего высокой практической значимостью, что обеспечивает эффективное закрепление песков, восстановление засоленных и нарушенных ландшафтов, а также способствует улучшению экологического состояния территории. На основе вышеизложенного, пришли к следующим выводам:

1. Фитомелиорация осушенного дна Аральского моря наиболее эффективна при использовании пионерных солеустойчивых видов растений и ярусного размещения растений различных жизненных форм.

2. Применение комплекса галофитных и псаммофитных растений способствует формированию устойчивого растительного покрова (биокаркаса), обеспечивающего закрепление песков и восстановление нарушенных ландшафтов.

3. Создание устойчивых растительных сообществ улучшает почвенно-экологические условия: снижает испарение влаги, уменьшает температуру приземного воздуха, способствует очищению атмосферы и восстановлению окружающей среды.

4. Разработанный перечень видов растений обладает высокой практической ценностью и может быть рекомендован для проведения фитомелиоративных мероприятий и рекультивации засоленных территорий осушенного дна Аральского моря.

Список литературы

1. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – Москва: Изд-во МГУ, 1970. – 275 с.
2. Ковда В.А. Проблемы борьбы с опустыниванием и засолением орошаемых почв. – М.: Изд-во Колос, 1984. – 304 с.
3. Матжанова Х.К., Орел М.М. Динамика биоразнообразия жизненных форм растений осушенного дна Аральского моря // Наукосфера. Биологические науки. – 2022. – № 5. URL: <http://nauko-sfera.ru> (дата обращения: 25.06.2026).
4. Новицкий З.Б. Лес оживляет осушенное дно Арала // Сельское хозяйство Узбекистана. Ташкент. – 2003. – № 10.
5. Орел М.М., Матжанова Х.К., Турманова О.К., Алламбергенова Р., Дилманова Н. Подбор деревьев и кустарников, устойчивых к почвенно-климатическим условиям Южного Приаралья для улучшения деградированных земель // Вестник ККО АН РУз. – 2021. – № 3.
6. Орел М.М., Темирбеков Р. Аймуратов Р. Галофильная растительность – как показатель условий засоления почв Каракалпакстана // Вестник ККО АН РУз. – 2025. – № 3.
7. Отенова Ф. Почвенные условия в исследуемых территориях Южного Приаралья // Материалы VI междунар. науч.-теоретич. конференции «Актуальные вопросы естественных наук». – 2025.
8. Brown, J.J., Glenn, E.P., Smith, S.E. Feasibility of Halophyte Domestication for High-Salinity Agriculture. In: Khan, M.A., Böer, B., Öztürk, M., Al Abdessalaam, T.Z., Clüsener-Godt, M., Gul, B. (eds) Sabkha Ecosystems. Tasks for Vegetation Science. – Springer, Dordrecht [Электронный ресурс]. – 2014. – Т. 47. – DOI: 10.1007/978-94-007-7411-7_5.
9. Lieth H., Moschenko M., Lohmann M., Koyro H.W., Hamdy A. Halophyte Uses in Different Climates // I. Ecological and Ecophysiological Studies. In: Lieth H., Ed., Progress in Biometeorology. – 1999.
10. Lieth H., Moschenko M., Lohmann M., Koyro H.W., Hamdy A. Halophyte Uses in Different Climates // II. Ecological and Ecophysiological Studies. In: Lieth H., Ed., Progress in Biometeorology, Backhuys, Leiden. – 2000.

11. Lieth H., Moschenko M., Lohmann M., Koyro H.W., Hamdy A. Halophyte Uses in Different Climates // III. Ecological and Ecophysiological Studies. In: Lieth H., Ed., Progress in Biometeriology, Backhuys, Leiden. – 2001.
12. Mishra A., Tanna B. Halophytes: Potential Resources for Salt Stress Tolerance Genes and Promoters // Frontiers in Plant Science. – 2017. – Т. 8. – DOI: 10.3389/fpls.2017.00829.

References

1. Arinushkina E.V. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv // M.: Izd. MGU. – 1970.
2. Kovda V.A. Problemy bor'by s opustynivaniem i zasoleniem oroshaemykh pochv // M.: Izd. Kolos. – 1984.
3. Matjanova Kh.K., Orel M.M. Dinamika bioraznoobraziya zhiznennykh form rastenii osushennogo dna Aral'skogo morya. Naukosfera. Biologicheskie nauki. 2022;5(1):1–10. Available at: – URL: <http://nauko-sfera.ru> (дата обращения: 27.07.2026). (In Russ.)
4. Novitskii Z.B. Les ozhivlyaet osushennoe dno Arala. Sel'skoe khozyaistvo Uzbekistana. Tashkent. 2003;(10):36–37. (In Russ.)
5. Orel M.M., Matzhanova Kh.K., Turmanova O.K., Allamberganova R., Dilmanova N. Podbor derevyev i kustarnikov, ustoychivyykh k pochvenno-klimaticheskim usloviyam Yuzhnogo Priaralya dlya uluchsheniya degradirovannykh zemel // Vestnik KKO AN RUz. – 2021. – № 3.
6. Orel M.M., Temirbekov R., Aimuratov R. Galofil'naya rastitel'nost' kak pokazatel' uslovii zasoleniya pochv Karakalpakстана. Vestnik KKO AN RUz. 2025;3(280):14–17. (In Russ.)
7. Otenova F. Pochvennye usloviya v issleduemyykh territoriyakh Yuzhnogo Priaralya // Materialy VI mezhdunarodnoy nauchno-teoreticheskoy konferentsii «Aktualnye voprosy estestvennykh nauk». – 2025.
8. Brown J.J., Glenn E.P., Smith S.E. Feasibility of Halophyte Domestication for High-Salinity Agriculture. In: Khan M.A., Böer, B., Öztürk, M., Al Abdessalaam T.Z., Clüsener-Godt, M., Gul, B. (eds) Sabkha Ecosystems. Tasks for Vegetation Science, vol 47. Springer, Dordrecht – 2014. – DOI: 10.1007/978-94-007-7411-7_5.
9. Lieth H., Moschenko M., Lohmann M., Koyro H.W. and Hamdy A. Halophyte Uses in Different Climates. I. (1999). Ecological and Ecophysiological Studies. In: Lieth H., Ed., Progress in Biometeriology, Backhuys, Leiden. P. 3–5. (104p).
10. Lieth H., Moschenko M., Lohmann M., Koyro H.W. and Hamdy A. Halophyte Uses in Different Climates. II. (2000). Ecological and Ecophysiological Studies. In: Lieth H., Ed., Progress in Biometeriology, Backhuys, Leiden. P. 3–5. (104p).
11. Lieth H., Moschenko M., Lohmann M., Koyro H.W. and Hamdy A. Halophyte Uses in Different Climates. III. (2001). Ecological and Ecophysiological Studies. In: Lieth H., Ed., Progress in Biometeriology, Backhuys, Leiden. P. 3–5. (104p).
12. Mishra A and Tanna B (2017) Halophytes: Potential Resources for Salt Stress Tolerance Genes and Promoters. Front. Plant Sci. 8:829. doi: 10.3389/fpls.2017.00829.

Статья поступила в редакцию: 15.08.2026

Статья принята к публикации: 25.08.2026

Статья опубликована: 07.09.2026

УДК 591.9+551.4

DOI: 10.32743/UniChem.2026.147.9.23341

Территориальная дифференциация фауны Tettigoniidae в горных ландшафтах центрального Узбекистана: сравнительный анализ Ургута и хребта Нуратау

Тураева Зухра Ражабоевна

докторант (DSc)

Ферганский государственный университет

Республика Узбекистан, г. Фергана

ORCID: 0009-0005-0435-8899

E-mail: z_turaeva78@mail.ru

Territorial differentiation of Tettigoniidae fauna in the mountain landscapes of central Uzbekistan: a comparative analysis of Urgut and the Nuratau range

Turayeva Zukhra Rajaboevna

DSc doctoral researcher

Fergana State University

Republic of Uzbekistan, Fergana

Аннотация

Цель исследования — сравнительно оценить видовой состав, экологическую структуру, количественные учётные данные и полноту выявления фауны Tettigoniidae в горной местности Ургута и на хребте Нуратау. Полевые исследования проводили в 2018, 2025 и 2026 гг.; на каждой территории выполнено по три выезда. Учёты стандартизировали на трансекте 50 × 2 м при 60-минутном активном наблюдении и 100 взмахам энтомологическим сачком. Регистрировали всех обнаруженных особей, а в коллекцию отбирали только ограниченное число ваучерных экземпляров, необходимых для подтверждения определения. В Ургуте учтена 241 особь восьми видов, на Нуратау — 159 особей десяти видов; общий объём составил 400 регистраций. Восемь общих видов обусловили высокое качественное сходство фаун по коэффициенту Жаккара ($J = 0,80$). Выборочная rarefaction при $k = 1, 2$ и 3 выездах дала для Ургута соответственно 7,00; 8,00 и 8,00 вида, для Нуратау — 7,67; 9,33 и 10,00 вида. Скорректированная оценка Chao2 составила 8,00 и 10,17, Jackknife-1 — 8,00 и 11,33 соответственно. *Gampsocleis glabra* и *Glyphonotus thoracicus* зарегистрированы только в материалах Нуратау. Результаты показывают, что применённый протокол обеспечил почти полное выявление локальных комплексов, однако малое число выездов не позволяет

Библиографическое описание: Тураева З.Р. Территориальная дифференциация фауны Tettigoniidae в горных ландшафтах центрального Узбекистана: сравнительный анализ Ургута и хребта Нуратау // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 9(147). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23341>

интерпретировать различия как статистически доказанные. Практическая значимость работы состоит в создании стандартизированной основы для повторного мониторинга горных биотопов и приоритетного контроля специализированных видов.

Abstract

The study aimed to compare the species composition, ecological structure, quantitative records, and inventory completeness of Tettigoniidae in the mountainous area of Urgut and the Nuratau Range. Field surveys were conducted in 2018, 2025, and 2026, with three visits to each territory. Sampling effort was standardized using a 50×2 m transect, 60 minutes of active observation, and 100 sweep-net strokes. All observed individuals were recorded, whereas only a limited number of voucher specimens required for taxonomic verification were collected. We recorded 241 individuals and eight species in Urgut and 159 individuals and ten species in Nuratau, for a total of 400 records. Eight shared species produced high qualitative similarity according to the Jaccard coefficient ($J = 0.80$). Sample-based rarefaction at $k = 1, 2$, and 3 visits yielded 7.00, 8.00, and 8.00 expected species for Urgut and 7.67, 9.33, and 10.00 for Nuratau. Bias-corrected Chao2 estimates were 8.00 and 10.17, while Jackknife-1 estimates were 8.00 and 11.33, respectively. *Gampsocleis glabra* and *Glyphonotus thoracicus* occurred only in the Nuratau material. The standardized protocol provided nearly complete inventories of both local assemblages, although the limited number of visits precludes treating the difference as statistically confirmed. The results provide a reproducible baseline for monitoring mountain habitats and prioritizing specialized species.

Ключевые слова: Orthoptera, Tettigoniidae, горная фауна, территориальная дифференциация, коэффициент Жаккара, стандартная трансекта, мониторинг.

Keywords: Orthoptera, Tettigoniidae, mountain fauna, territorial differentiation, Jaccard coefficient, standardized transect, monitoring.

Введение

Центральный Узбекистан представляет собой биогеографический регион соприкосновения долины Зарафшана, хребта Нуратау и Зарафшанского хребта, где на небольших расстояниях сменяются пустынные, адыровые и горные ландшафты. Мозаичное сочетание рельефа, экспозиции, увлажнения и растительных ярусов, с одной стороны, обеспечивает связь между комплексами подвижных насекомых, а с другой — формирует локальные микрорефугиумы для экологически специализированных видов. Представители Tettigoniidae чувствительны к вертикальной структуре растительности, режиму увлажнения и сохранности открытых ксеротермных участков, поэтому являются информативным объектом для регистрации фаунистических изменений в горных ландшафтах.

Эколого-географические закономерности распространения прямокрылых Центральной Азии теоретически обоснованы в работах Ф.Н. Правдина [2], Ф.Н. Правдина и Л.Л. Мищенко [3], а также М.Г. Сергеева [5, 11]. Эти источники показывают связь состава фауны с ландшафтной зональностью, субстратом и растительностью. Вместе с тем для Ургута и Нуратау недостаточно данных, в которых видовой состав сопоставлялся бы при одинаковой единице учёта, полевые регистрации отделялись от числа коллекционных ваучеров,

а межтерриториальное сходство выражалось количественным показателем. Этот пробел определил необходимость преобразовать разрозненные фаунистические списки в проверяемую сравнительную модель.

Научная гипотеза исследования состояла в том, что фауны Ургута и Нуратау принадлежат к общему региональному фонду, однако различия высотно-растительной мозаики могут проявляться в территориальной дифференциации отдельных экологически специализированных видов. Цель работы — оценить видовой состав, экологический спектр и качественное сходство комплексов Tettigoniidae двух территорий на основе стандартизированных полевых регистраций и ваучерных материалов. Задачи включали уточнение списка видов; разграничение полевых регистраций и ваучеров; сопоставление данных по высотным поясам; расчёт коэффициента Жаккара; анализ возможных экологических причин территориальных различий; определение приоритетных видов и биотопов для мониторинга. Научная новизна работы заключается в первом сопоставлении фаунистических комплексов Ургута и Нуратау при одинаковом усилии учёта, строгом разграничении всех полевых наблюдений и ваучерных экземпляров, а также в совместном применении коэффициента Жаккара, выборочной rareфакции, Chao2 и Jackknife-1 для оценки сходства и полноты выявления видов.

Материалы и методы

Районы исследования и схема полевых работ

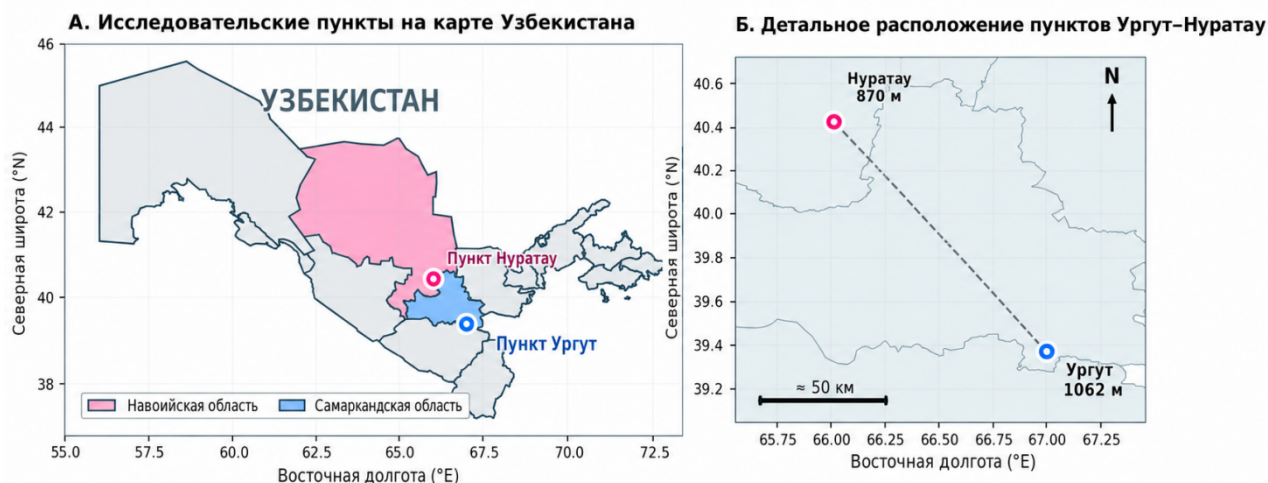
Исследовательский пункт Ургут расположен в Самаркандской области по координатам 39°22'17,04" с. ш., 66°59'53,09" в. д., на высоте 1062 м; пункт Нуратау — в Навоийской области по координатам 40°25'30,42" с. ш., 66°00'45,55" в. д., на высоте 870 м. На каждой территории в 2018, 2025 и 2026 гг. выполнено по одному выезду, всего шесть выездов. Наблюдения в Ургуте проводили 11.06.2018, 08.07.2025 и 30.05.2026, на Нуратау — 08.06.2018, 09.07.2025 и 29.05.2026. Учёты выполняли с 09:00 до 12:00 при отсутствии сильного ветра и осадков [7, 6]. Координаты, высота и стандартный протокол учёта приведены в таблице 1, географическое положение пунктов — на рисунке 1.

Таблица 1.

Исследовательские пункты и стандартный протокол учёта

Территория	Координаты	Высота	Полевые выезды	Учёт за один выезд
Ургут	39°22'17,04" с. ш.; 66°59'53,09" в. д.	1062 м	11.06.2018; 08.07.2025; 30.05.2026	50 × 2 м; 60 мин; 100 взмахов
Нуратау	40°25'30,42" с. ш.; 66°00'45,55" в. д.	870 м	08.06.2018; 09.07.2025; 29.05.2026	50 × 2 м; 60 мин; 100 взмахов

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ПУНКТЫ УРГУТ И НУРАТАУ НА КАРТЕ УЗБЕКИСТАНА



Система координат: WGS 84 (EPSG:4326). Административные границы: открытые данные GeoJSON на основе OpenStreetMap.

Рисунок 1. Пространственная привязка исследовательских пунктов: А — положение Ургута и Нуратау на карте Узбекистана; Б — детализированное взаимное расположение пунктов с указанием высоты. WGS 84 (EPSG:4326)

Учёт, сбор и идентификация

При каждом выезде проводили 60-минутный активный учёт вдоль трансекты длиной 50 м и шириной 2 м, а также выполняли 100 взмахов энтомологическим сачком. Длина рукоятки сачка составляла 1200 мм, глубина мешка — 700 мм, диаметр обруча — 300 мм. Особей регистрировали визуально, по акустическим сигналам и с помощью сачка. Полевой показатель отражает не абсолютную плотность популяции, а относительное число регистраций при стандартизированном усилии наблюдения. Применяли категории: 1–3 особи — очень редкий, 4–10 — редкий, 11–20 — обычный, 21–100 — многочисленный, но не образующий скоплений. Эти обозначения относятся исключительно к стандартному 60-минутному учёту [1, 10, 4]. Итоговую категорию вида в таблице 4 определяли по максимальному числу всех особей, отмеченных за один стандартизированный учёт; число изъятых ваучеров при классификации не использовали.

Для снижения воздействия на естественные популяции в коллекцию отбирали не всех обнаруженных особей. Как правило, сохраняли по одному ваучерному экземпляру каждого вида, а для многочисленных видов — не более семи. Следовательно, число полевых регистраций и число ваучеров представляют биологически и методически разные показатели. Ваучеры 2018 г. хранятся в коллекции Института зоологии Академии наук Республики Узбекистан. Ваучерные материалы 2025–2026 гг. переданы на кафедру биологии Наманганского государственного университета и хранятся в коллекции кафедры. Стадию развития каждой отмеченной особи фиксировали в полевом протоколе; в результатах приведены суммарные значения для имаго и нимф. Виды определяли по морфологическим признакам [2, 4, 5], номенклатуру проверяли по Orthoptera Species File [8].

Анализ данных

Качественное сходство территорий рассчитывали по коэффициенту Жаккара: $J = a/(a + b + c)$, где a — число видов, общих для двух территорий, b и c — число видов, зарегистрированных только на одной из них. В настоящем материале $a = 8$, $b = 0$ и $c = 2$; $J = 8/(8 + 0 + 2) = 0,80$. Для оценки неполноты выявления три полевых выезда рассматривали как независимые единицы выборки и применяли выборочную рарефикацию по встречаемости, скорректированную оценку Chao2 и Jackknife первого порядка (Jackknife-1). Оценки рассчитывали по следующим формулам:

$$S_{\text{Chao2}} = S_{\text{obs}} + \frac{m - 1}{m} \times \frac{Q_1(Q_1 - 1)}{2(Q_2 + 1)}$$

$$S_{\text{Jack1}} = S_{\text{obs}} + Q_1 \frac{m - 1}{m}$$

Здесь S_{obs} — наблюдаемое число видов; m — число полевых выездов; Q_1 — число видов, отмеченных только в одном выезде; Q_2 — число видов, отмеченных в двух выездах. Поскольку три выезда ограничивают статистическую мощность, результаты интерпретировали не как строго доказанное различие видового богатства, а как осторожную оценку полноты выявления.

Результаты

Видовое богатство и сходство территорий

В Ургуте зарегистрировано восемь, на Нуратау — десять видов Tettigoniidae. Восемь видов являлись общими; значение $J = 0,80$ указывает на высокое сходство состава фауны. *Gampsocleis glabra* и *Glyphonotus thoracicus* в списке Нуратау выделяются как дополнительные фаунистические элементы. Этот результат не доказывает, что фауна Нуратау в целом достоверно богаче; он показывает лишь выявление двух дополнительных видов при использованной схеме наблюдений. Сравнительное число видов по территориям представлено на рисунке 2.

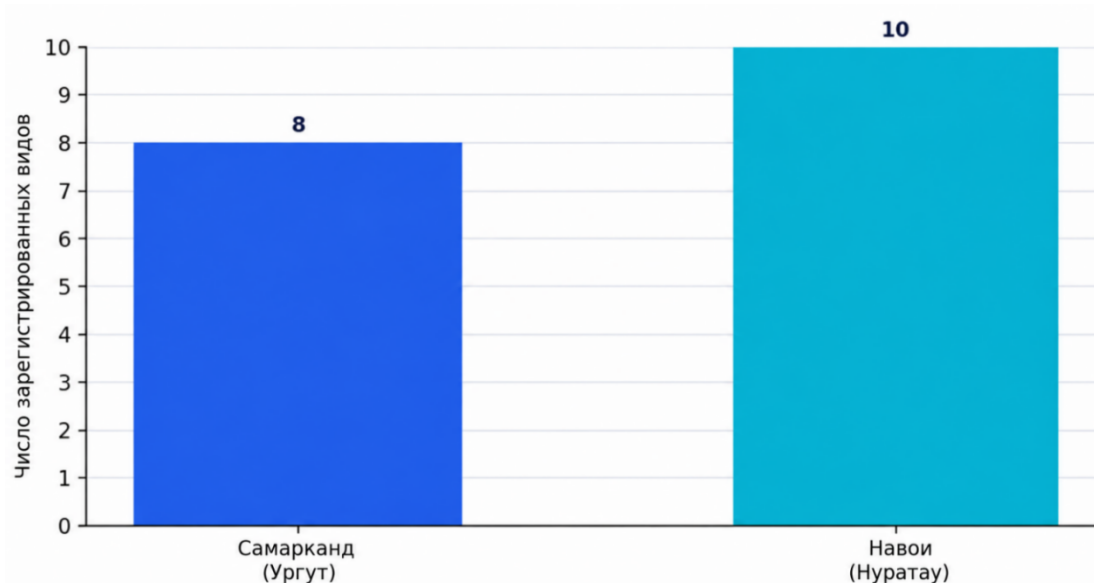


Рисунок 2. Число видов *Tettigoniidae*, зарегистрированных на исследованных территориях. Диаграмма носит описательный характер и не отражает статистической значимости различий

Количественные регистрации и высотные пояса

В стандартизированных учётах зарегистрировано 400 особей: 241 в Ургуте (60,25 %) и 159 на Нуратау (39,75 %). По годам в Ургуте учтено 79, 80 и 82 особи, на Нуратау — 53, 55 и 51 особь. Наибольшие суммарные значения отмечены у *Tettigonia caudata* (89), *T. viridissima* (85), *Platycleis intermedia* (75), *Decticus verrucivorus* (69) и *D. albifrons* (66). На эти пять видов приходилось 96,0 % всех регистраций; остальные пять видов представлены 16 регистрациями (4,0 %). Этот показатель является не индексом доминирования, а характеристикой концентрации регистраций при стандартизированном полевом протоколе. Все количественные данные по видам, территориям и выездам обобщены в таблице 2.

Таблица 2.

Число особей, зарегистрированных по видам и полевым выездам

Вид	Ургут 2018	Ургут 2025	Ургут 2026	Нуратау 2018	Нуратау 2025	Нуратау 2026	Всего
<i>Tettigonia caudata</i>	19	18	18	12	11	11	89
<i>Tettigonia viridissima</i>	18	19	18	10	10	10	85
<i>Decticus verrucivorus</i>	14	15	16	8	8	8	69
<i>Decticus albifrons</i>	14	12	13	10	9	8	66
<i>Platycleis intermedia</i>	14	12	13	11	13	12	75
<i>Conocephalus fuscus</i>	0	2	2	0	1	1	6
<i>Ruspolia nitidula</i>	0	1	1	0	0	1	3

Вид	Ургут 2018	Ургут 2025	Ургут 2026	Нуратау 2018	Нуратау 2025	Нуратау 2026	Всего
<i>Phaneroptera falcata</i>	0	1	1	0	1	0	3
<i>Gampsocleis glabra</i>	0	0	0	1	1	0	2
<i>Glyphonotus thoracicus</i>	0	0	0	1	1	0	2
Всего	79	80	82	53	55	51	400

Статистическая оценка видового богатства

По результатам редификации ожидаемое число видов для Ургута составило в среднем 7,00 при одном, 8,00 при двух и 8,00 при трёх выездах; для Нуратау — соответственно 7,67; 9,33 и 10,00. В Ургуте $Q_1 = 0$ и $Q_2 = 3$; $Chao2 = 8,00$, $Jackknife-1 = 8,00$. На Нуратау $Q_1 = 2$ и $Q_2 = 3$; $Chao2 = 10,17$, $Jackknife-1 = 11,33$. Выравнивание редификационной кривой Ургута после двух выездов указывает на близкую к полной выявленности восьми видов в рамках данной схемы. Значение $Jackknife-1$ для Нуратау показывает, что помимо десяти наблюдаемых видов сохраняется вероятность выявления приблизительно ещё одного вида. Наблюдаемое и оценённое видовое богатство обобщено в таблице 3.

Таблица 3.

Видовое богатство, редификация и оценки на основе встречаемости

Территория	Sobs	Редификация $k=1$	$k=2$	$k=3$	Q_1	Q_2	$Chao2$	$Jackknife-1$
Ургут	8	7,00	8,00	8,00	0	3	8,00	8,00
Нуратау	10	7,67	9,33	10,00	2	3	10,17	11,33

Стадии развития и экологический спектр

Из общего числа регистраций 355 (88,75 %) относились к имаго, 45 (11,25 %) — к нимфам. Обнаружение имаго в мае–июле свидетельствует о высокой активности взрослых особей в сроки исследований, однако трёх сезонных дат недостаточно для описания полного фенологического цикла видов. В экологическом спектре неподвижные тамнобионты и факультативные хортобионты представлены тремя видами каждая группа, герпетобионты-геофилы и специализированные фитофилы — двумя видами каждая. Такое соотношение показывает, что изученная фауна объединяет виды, связанные с растительными ярусами, и обитателей сухой подстилки и каменистых микробиотопов. Эколого-фаунистическая характеристика видов приведена в таблице 4, распределение по жизненным формам — на рисунке 3. Общий вид исследовательских и ваучерных материалов представлен на рисунке 4.

Таблица 4.

Эколого-фаунистическая характеристика видов Tettigoniidae

Вид	Жизненная форма	Категория по максимуму за один учёт	Месяцы имаго	Зоогеографическая группа
<i>Tettigonia caudata</i>	Неподвижный тамнобионт	Обычный	Май–июль	Плюрирегиональный
<i>Tettigonia viridissima</i>	Неподвижный тамнобионт	Обычный	Май–июль	Плюрирегиональный
<i>Decticus verrucivorus</i>	Герпетобионт-геофил	Обычный	Май–июль	Транспалеарктический
<i>Decticus albifrons</i>	Герпетобионт-геофил	Обычный	Май–июль	Транспалеарктический
<i>Platycleis intermedia</i>	Факультативный хортобионт	Обычный	Май–июль	Древнесредиземноморский
<i>Conocephalus fuscus</i>	Специализированный фитофил	Очень редкий	Май, июль	Древнесредиземноморский
<i>Ruspolia nitidula</i>	Факультативный хортобионт	Очень редкий	Май, июль	Транспалеарктический
<i>Phaneroptera falcata</i>	Специализированный фитофил	Очень редкий	Май, июль	Плюрирегиональный элемент Восточного полушария
<i>Gampsocleis glabra</i>	Факультативный хортобионт	Очень редкий	Май–июль	Древнесредиземноморский
<i>Glyphonotus thoracicus</i>	Неподвижный тамнобионт	Очень редкий	Май–июль	Элемент горной фауны Центральной Азии

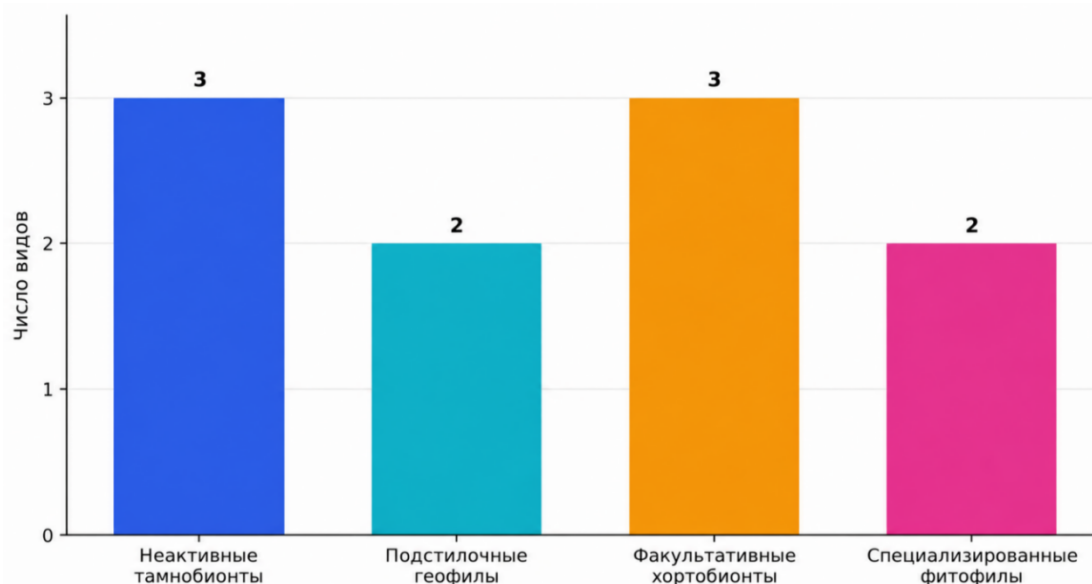


Рисунок 3. Распределение зарегистрированных видов Tettigoniidae по экологическим жизненным формам

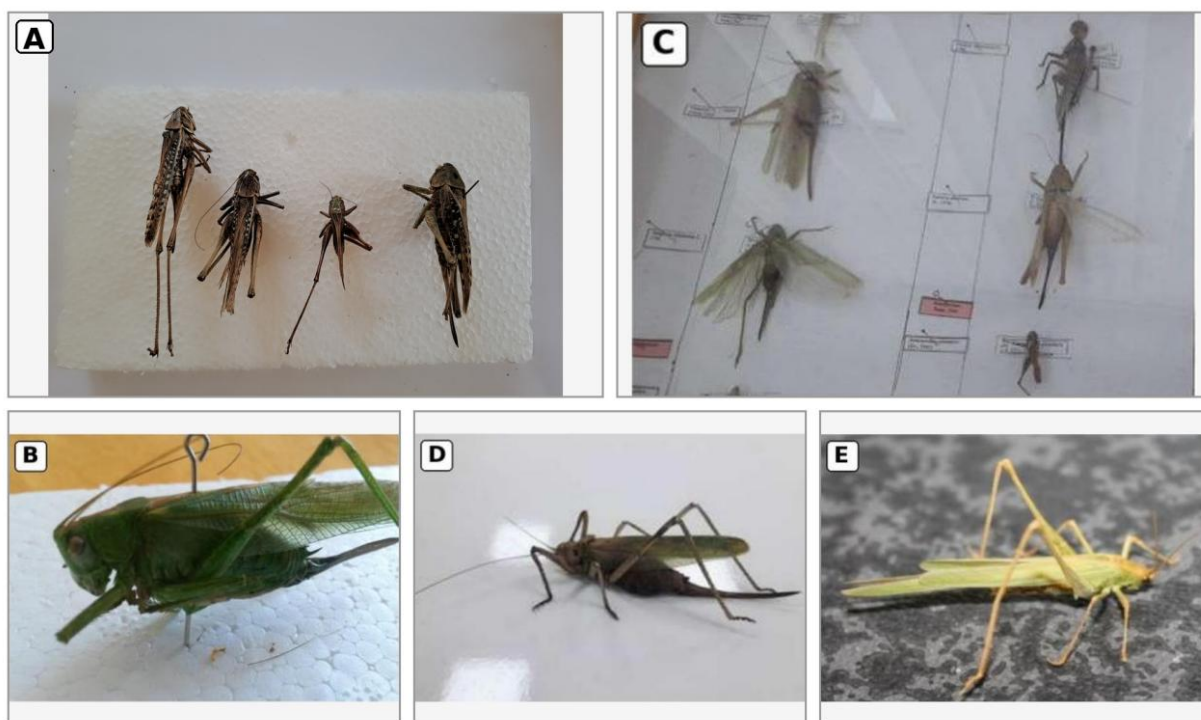


Рисунок 4. Исследовательские и ваучерные материалы: А — коллекционные экземпляры; В — *Tettigonia viridissima*; С — коллекционные экземпляры *Tettigoniidae*; D — *Glyphonotus thoracicus*; E — *Phaneroptera falcata*. Фото З.Р. Тураевой

Обсуждение

Значение коэффициента Жаккара 0,80 показывает, что комплексы Ургута и Нуратау имеют общий региональный состав фауны. Высокая доля представителей *Tettigonia*, *Decticus* и *Platycleis* на обеих территориях согласуется с наличием непрерывного сочетания растительного яруса, сухих лугов и подстилочных микробиотопов. Это соответствует эколого-географическим представлениям о ведущей роли ландшафтной зональности и структуры микробиотопов в распространении прямокрылых Центральной Азии [2, 3, 5]. Прямое количественное сопоставление с соседними хребтами не проводили, поскольку опубликованные региональные сведения получены при неодинаковом и, как правило, неопisanном усилии учёта; поэтому литературу использовали для эколого-географической, а не для формальной статистической интерпретации.

Регистрация *Gampsocleis glabra* и *Glyphonotus thoracicus* в материалах Нуратау является наиболее заметным фаунистическим различием двух территорий. *G. glabra* — представитель специализированного комплекса открытых степных и ксеротермных лугов; его чувствительность к фрагментации местообитаний подтверждена современными исследованиями [9]. *G. thoracicus* как элемент горной фауны Центральной Азии подчёркивает значение каменистых склонов и кустарниково-травяных мозаик [8]. Эти данные не позволяют заключить, что оба вида широко распространены по всему Нуратау, но обосновывают необходимость отдельного контроля открытых ксеротермных и каменистых микробиотопов.

Отсутствие регистраций этих двух видов в Ургуте не является прямым доказательством их экологического отсутствия. Необнаружение может быть связано с высотой, экспозицией, высотой растительности, микроклиматом, антропогенной нагрузкой или сезонной

активностью. Поэтому в статье используется формулировка «не зарегистрирован в проведённых наблюдениях», а не «отсутствует». Такая осторожная интерпретация предотвращает искусственное усиление причинных выводов при малой выборке и формирует проверяемые гипотезы для дальнейших исследований.

Тот факт, что 96,0 % регистраций приходится на пять видов, отражает количественную неравномерность состава фауны. Стратегия отбора ваучеров не подменяет это соотношение: полевой учёт характеризует интенсивность регистрации, тогда как ваучер обеспечивает возможность таксономической проверки. Их разграничение является методическим преимуществом работы, поскольку исключает ошибочный вывод о редкости вида на основании малого числа коллекционных экземпляров.

Ограничения исследования определяют границы интерпретации результатов. Трёх выездов на каждой территории недостаточно для надёжной асимптотической оценки видового богатства и доверительных интервалов; растительный покров, влажность и антропогенная нагрузка количественно не измерялись; исторические GPS-треки маршрутов отсутствуют. Поэтому рисунок 1 достоверно отражает координаты и высоту исследовательских пунктов, но не содержит реконструированных маршрутов и границ биотопов. Поэтому работа представляет не окончательную популяционную оценку, а проверяемую базовую модель для последующего стандартизированного мониторинга. Её значение состоит в объединении списка видов, усилия учёта, ваучерных материалов и экологической интерпретации в единой системе.

Заключение и практические рекомендации

Фауны Tettigoniidae Ургута и Нуратау характеризуются высоким качественным сходством: выявлено восемь общих видов, $J = 0,80$. В Ургуте зарегистрирована 241 особь восьми видов, на Нуратау — 159 особей десяти видов. Дополнительные регистрации *Gampsocleis glabra* и *Glyphonotus thoracicus* на Нуратау являются основным фаунистическим сигналом территориальной дифференциации. Рарефакция и Chao2 показывают близкое к полному выявление восьми видов в Ургуте; на Нуратау выявленность также близка к полной, однако Jackknife-1 сохраняет вероятность обнаружения приблизительно ещё одного вида. На пять видов приходится 96,0 % из 400 регистраций, что указывает на количественную неравномерность комплекса. Поскольку оценки основаны только на трёх выездах, их следует рассматривать не как доказательство статистически значимого различия видового богатства, а как количественную исходную основу мониторинга.

Дальнейший мониторинг рекомендуется проводить ежемесячно с мая по июль, выполняя по три повтора в каждый срок. В каждом повторе необходимо сохранять трансекту 50×2 м, 60-минутный активный учёт и 100 взмахов сачком. Приоритетными участками должны быть открытые ксеротермные луга для *G. glabra* и каменистые склоны с кустарниково-травяной мозаикой для *G. thoracicus*. Следует отдельно фиксировать дату, время, GPS-координаты, температуру, влажность, высоту и проективное покрытие растительности, стадию, пол, общее число регистраций и число отобранных ваучеров. После формирования не менее чем трёхлетнего ряда по единому протоколу станет возможным надёжное применение оценок вероятности обнаружения, рарефакции и видового богатства.

Список литературы

1. Бей-Биенко Г.Я. Руководство по учёту саранчовых. – Л.: Изд-во АН СССР, 1932. – 195 с.
2. Правдин Ф.Н. Экологическая география насекомых Средней Азии. Ортоптероиды. – М.: Наука, 1978. – 270 с.
3. Правдин Ф.Н., Мищенко Л.Л. Формирование и эволюция экологических фаун насекомых в Средней Азии. – М.: Наука, 1980. – 156 с.
4. Сабиров С.К., Тураева З.Р., Холматов Б.Р. Методы сбора прямокрылообразных насекомых и подготовки коллекций // Зоологическая наука Узбекистана: современные проблемы и перспективы развития. – 2019.
5. Сергеев М.Г. Закономерности распространения прямокрылых насекомых Северной Азии. – Новосибирск: Наука, 1986. – 237 с.
6. Ургутский район [Электронный ресурс]. // Национальная энциклопедия Узбекистана [Электронный ресурс]. URL: <https://milliycha.uz/kr/urgut-tumani/> (дата обращения: 13.08.2026).
7. Эсонкулова Д.С. Природно-географические особенности хребта Нуратау. – 2025. – Т. 3, № 1. – С. 8–11. – DOI: 10.5281/zenodo.14769205.
8. Cigliano M.M., Braun H., Eades D.C., Otte D. Orthoptera Species File [Электронный ресурс]. URL: <https://orthoptera.speciesfile.org/> (дата обращения: 12.08.2026).
9. Hawlitschek O. et al. The genomics of isolated populations of *Gampsocleis glabra* // Insects. – 2023. – Т. 14, № 12. – Art. 946. – DOI: 10.3390/insects14120946.
10. McCravy K.W. McCravy K.W. A review of sampling and monitoring methods for beneficial arthropods in agroecosystems // Insects. – 2018. – Т. 9, № 4. – Art. 170. – DOI: 10.3390/insects9040170.
11. Sergeev M.G. Distribution patterns of grasshoppers and their kin over the Eurasian Steppes // Insects. – 2021. – Т. 12, № 1. – DOI: 10.3390/insects12010077.

References

1. Bej-Bienko G.Ya. [Manual on Locust Survey and Counting]. – L.: Izd-vo AN SSSR, 1932. – 195 s (In Russ.)
2. Pravdin F.N. [Ecological Geography of Insects in Central Asia. Orthopteroids]. – M.: Nauka, 1978. – 270 s (In Russ.)
3. Pravdin F.N., Mishchenko L.L. [Formation and Evolution of Ecological Insect Faunas in Central Asia]. – M.: Nauka, 1980. – 156 s (In Russ.)
4. Sabirov S.K., Turaeva Z.R., Kholmatov B.R. [Methods of Collection of Orthoptera Insects and Preparation of Collections] // Zoologicheskaya nauka Uzbekistana: sovremennyye problemy i perspektivy razvitiya. – 2019. (In Russ.)
5. Sergeev M.G. [Patterns of Distribution of Orthoptera Insects in Northern Asia]. – Novosibirsk: Nauka, 1986. – 237 s (In Russ.)

6. [Urgut District] // Natsional'naya entsiklopediya Uzbekistana (data obrashcheniya: 13.08.2026). – 2026. – URL: <https://milliycha.uz/kr/urgut-tumani/>. (In Russ.)
7. Esonkulova D.S. [Natural-Geographic Features of the Nuratau Ridge]. – 2025. – Т. 3, № 1. – С. 8–11. – DOI: 10.5281/zenodo.14769205 (In Russ.)
8. Cigliano M.M., Braun H., Eades D.C., Otte D. Orthoptera Species File – URL: <https://orthoptera.speciesfile.org/> (дата обращения: 12.08.2026).
9. Hawlitschek O. et al. The genomics of isolated populations of *Gampsocleis glabra* // *Insects*. – 2023. – Т. 14, № 12. – Art. 946. – DOI: 10.3390/insects14120946.
10. McCravy K.W. McCravy K.W. A review of sampling and monitoring methods for beneficial arthropods in agroecosystems // *Insects*. – 2018. – Т. 9, № 4. – Art. 170. – DOI: 10.3390/insects9040170.
11. Sergeev M.G. Distribution patterns of grasshoppers and their kin over the Eurasian Steppes // *Insects*. – 2021. – Т. 12, № 1. – DOI: 10.3390/insects12010077.

ARTICLES IN ENGLISH

CHEMISTRY

ORGANIC CHEMISTRY

УДК 661.185:661.683

DOI: 10.32743/UniChem.2026.147.9.23353

Synthesis and spectroscopic characterization of thiourea-based TGF-8 modifier and its interaction mechanism with liquid glass

Murodov Doston

*PhD Student in Chemical Technology
Bukhara State Technical University
Uzbekistan, Bukhara
E-mail: Doston_ximik@mail.ru*

Синтез и спектроскопическая характеристика модификатора на основе тиомочевина ТГФ-8 и механизм его взаимодействия с жидким стеклом

Муродов Достон
докторант, PhD

*Бухарский государственный технический университет
Республика Узбекистан, г. Бухара*

Abstract

This study investigates the synthesis of a novel TGF-8 modifier derived from thiourea, glycerin, and formaldehyde, along with its chemical structure analysis using FTIR spectroscopy (Shimadzu). The synthesis was carried out by reacting thiourea with glycerin at 110–120 °C, monitoring ammonia evolution, followed by polycondensation with formaldehyde. Spectral analysis confirmed the presence of NH₂, C=S, C–N and OH functional groups within the TGF-8 modifier; these groups play a crucial role in enhancing the adhesion (stickiness) and flexibility of the resulting compound. Furthermore, the interaction mechanism between the TGF-8 modifier (added in the range of 2–8 %) and the sodium silicate liquid-glass matrix, with a silicate modulus ranging from

Библиографическое описание: Муродов Д. Синтез и спектроскопическая характеристика модификатора на основе тиомочевина ТГФ-8 и механизм его взаимодействия с жидким стеклом // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 9(147). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23353>

For citation: Murodov D. Synthesis and spectroscopic characterization of thiourea-based TGF-8 modifier and its interaction mechanism with liquid glass // Universum: Chemistry and Biology : electronic scientific journal. 2026. No. 9(147). Available at: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23353>

2.1 to 3.2, was examined. The composition $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2.6\text{SiO}_2$ modified with 6 % TGF-8 was found to be optimal, achieving the highest adhesion strength (approximately 2.99 N/cm²). Experimental results demonstrate that the modification process leads to the formation of stable and durable chemical bonds between the oligomer's functional groups and the silicate chains. These findings represent a significant advancement in improving the rheological properties of modified liquid glass for modern high-performance composite applications in the construction and woodworking industries.

Аннотация

В данном исследовании рассматривается синтез нового модификатора ТГФ-8 на основе тиомочевины, глицерина и формальдегида, а также анализ его химической структуры методом ИК-спектроскопии (Shimadzu). Синтез проводился путём взаимодействия тиомочевины и глицерина при температуре 110–120 °С с последующим контролем выделения аммиака и поликонденсацией с формальдегидом. Спектральный анализ подтвердил наличие функциональных групп NH_2 , $\text{C}=\text{S}$, $\text{C}-\text{N}$ и OH в составе модификатора ТГФ-8; эти группы играют решающую роль в повышении адгезии (липкости) и гибкости получаемого соединения. Кроме того, был исследован механизм взаимодействия модификатора ТГФ-8 (добавляемого в количестве 2–8 %) с матрицей жидкого стекла на основе силикатов натрия с силикатным модулем от 2,1 до 3,2. Установлено, что оптимальной является композиция $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,6\text{SiO}_2$ с 6 % содержанием ТГФ-8, обеспечивающая максимальную прочность адгезии (около 2,99 Н/см²). Экспериментальные результаты демонстрируют, что процесс модификации приводит к образованию стабильных и прочных химических связей между функциональными группами олигомера и силикатными цепями. Полученные результаты представляют значительное достижение в улучшении реологических свойств модифицированного жидкого стекла для современных высокопроизводительных композитных приложений в строительной и деревообрабатывающей промышленности.

Keywords: thiourea, oligothiourethane, oligomer, glycerin, spectral analysis, composition, sodium silicate, adhesion, polymer.

Ключевые слова: тиомочевина, тиюретан, олигомер, глицерин, спектральный анализ, композиция, силикат натрия, адгезия, полимер.

Introduction

Currently, the global demand for adhesive materials based on liquid glass (aqueous sodium silicate solutions) is experiencing significant growth across various industrial sectors, particularly in construction, packaging, woodworking, and the paper industry. Its widespread industrial application is primarily attributed to its environmental safety, cost-effective production, and ease of processing. The anticipated high efficiency of such materials is directly dependent on their mechanical stability, adhesive strength, and rheological properties. However, the practical utilization of unmodified liquid glass is hindered by its inherent brittleness, poor moisture resistance, and insufficient

adhesion to various substrates. To overcome these limitations, the chemical modification of silicate systems using organic oligomers has emerged as one of the most promising research frontiers today [9; 13; 15].

Among organic modifiers, compounds containing nitrogen, oxygen, and sulfur—specifically oligomers based on thiourea and glycerin—hold particular significance. Modifiers synthesized from thiourea exhibit unique characteristics, possessing the ability to form covalent bonds with the silicate matrix. The incorporation of thiourea-formaldehyde resins into the liquid glass system not only enhances the hydrophobicity of the resulting coatings but also significantly improves their mechanical flexibility and adhesive strength [5; 11].

In recent years, significant attention has been focused on the development of multi-component modifiers that exert a complex influence on the silicate structure. The incorporation of polyhydric alcohols, specifically glycerin, into the structure of thiourea-based modifiers allows for the formation of more branched and flexible molecular chains. Such structural modification is expected to act as an 'internal plasticizer,' reducing the internal stresses of the rigid silicate framework and enhancing the rheological properties of the entire system [4; 10; 16].

The objective of this research is to synthesize a novel TGF-8 modifier based on thiourea, glycerin, and formaldehyde, and to investigate its influence on the properties of liquid glass. The chemical structure of the synthesized TGF-8 modifier was characterized using FTIR spectroscopy (Shimadzu) to identify the functional groups responsible for the modification process. Furthermore, the interaction mechanism between the modifier and the silicate matrix was analyzed to evaluate adhesive strength and structural stability. The research findings provide a scientific foundation for developing high-performance modified silicate binders tailored for contemporary industrial requirements.

Materials and Methods

2.1. Materials and Reagents

All stages and conditions of the synthesis were performed under rigorous control. Such strict monitoring played a crucial role in ensuring that the final product, TGF-8 – a well-defined oligothiourethane rather than a simple reagent mixture – possessed the desired physicochemical properties, particularly in optimizing its efficiency for industrial applications.

Thiourea (GOST 6344 – 73)

Glycerin (Refined, trihydric alcohol, 98 % purity)

Formaldehyde (Technical grade, GOST 162 – 2016)

Liquid Glass (Sodium Silicate) Characterized by a silicate modulus (M) ranging from 2.1 to 3.2 and a density between 1.36 and 1.48 g/cm³

Sodium Hydroxide – 10 % aqueous solution used for precise pH adjustment of the reaction medium

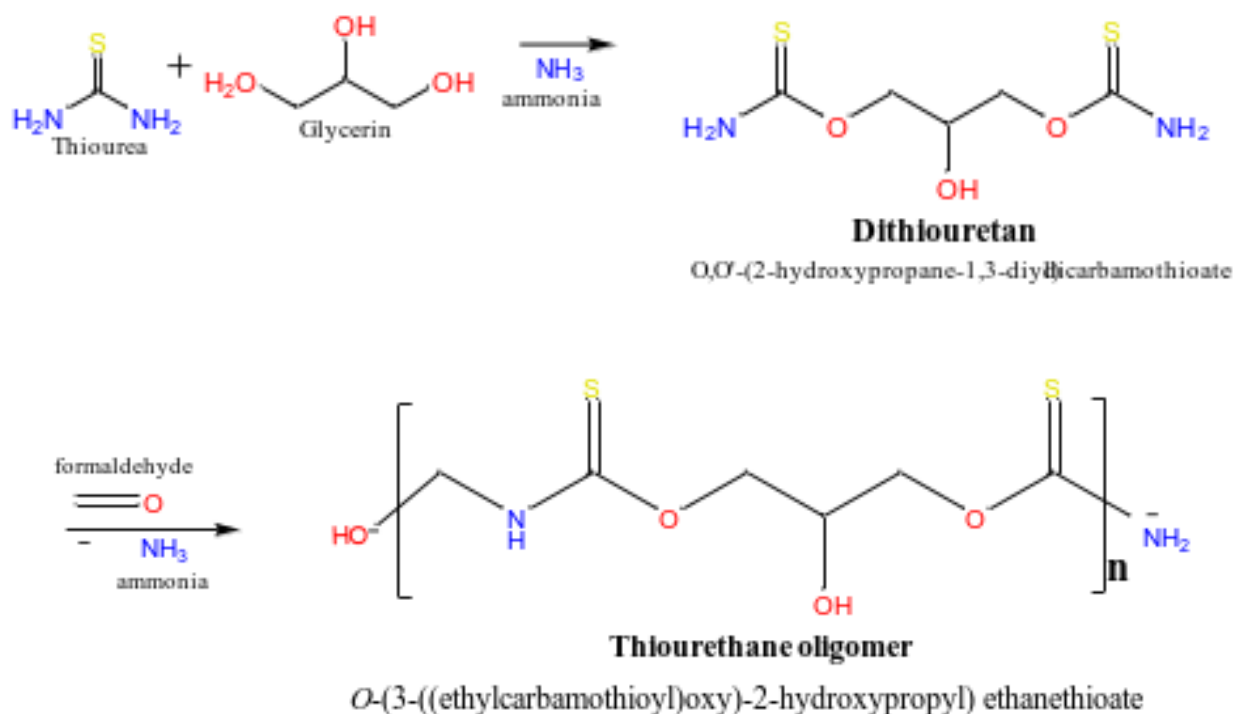
Reflux Condenser – To prevent the evaporation of formaldehyde and other volatile components during the synthesis.

Precision Instruments: A thermometer and a digital pH meter were used to rigorously monitor the reaction temperature and acidity levels, respectively

Mechanical Stirrer: To ensure uniform mixing and a homogenous reaction environment.

2.2. Synthesis of TGF-8 Modifier

A quantity of 126 g of thiourea was placed into a 1-liter three-necked round-bottom flask. The flask was heated to a temperature range of 110–120°C under continuous thermal monitoring. Subsequently, 76 g of glycerin was introduced into the flask dropwise with constant mechanical stirring. During this addition, the reaction mixture's temperature was maintained strictly above 80°C. Once the addition of glycerin was complete, the reaction temperature was re-established at 110–120°C and maintained for 2 hours with continuous stirring. The progression of the reaction was confirmed by the liberation of ammonia NH₃, which was detected using moistened red litmus paper. Upon the completion of the reaction between thiourea and glycerin (indicated by the cessation of ammonia evolution), the temperature was gradually decreased to 80°C. The resulting viscous, brownish adhesive mass was held at this temperature for an additional 30–40 minutes to stabilize the intermediate product before further processing..



In the subsequent stage, the TGF-8 modifier (an oligomer containing thiourethane groups) was synthesized through the reaction of dithiourethane with formaldehyde. The procedure was carried out as follows: a mixture was prepared by adding 15 ml of 10 % NaOH solution to 150 g of a 37.5 % formaldehyde solution to adjust the pH. The previously synthesized dithiourethane was placed into a three-necked flask equipped with a reflux condenser, a dropping funnel, and a thermometer, and then heated to 110°C. With the mechanical stirrer in operation, the formaldehyde-NaOH mixture was introduced into the flask dropwise. During the addition process, the reaction temperature was gradually increased from 110°C to 130°C over a period of 40 minutes. Following the addition, the reaction was maintained at this temperature for 3 hours to ensure complete polycondensation. The resulting oligothiourethane is a white crystalline substance, characterized by poor solubility in water but high solubility in organic solvents.



Figure 1. Oligomer of TGF-8 incorporating a thiourethane moiety, obtained through synthetic procedures

2.3 Modification Process

The modification of liquid glass (sodium silicate) with the TGF-8 modifier is based on the formation of chemical bonds between the inorganic silicate matrix and the organic oligomer. During the modification process, the reactive hydroxyl (-OH) groups of the TGF-8 oligomer undergo polycondensation reactions with the silanol (Si-OH) groups of hydrolyzed sodium silicate. As a result, stable Si-O-C (siloxane-carbon) linkages are formed [6; 8].

Adhesion strength was determined in accordance with GOST 14760-69 (Adhesives -- Methods for the determination of bond strength), using an AMTs-2-20 electronic adhesiometer. Liquid-glass compositions, both unmodified and TGF-8-modified, were applied as a thin, uniform layer (thickness approx. 0.10 – 0.15 mm) onto birch plywood substrates -- a standard substrate for wood-adhesive testing -- and cured at room temperature (20 – 22 degrees C). Prior to testing, all specimens were conditioned at (23 +/- 2) degrees C and (50 +/- 5) % relative humidity for 24 h, following standard laboratory-atmosphere practice (cf. ISO 291).

Each adhesion value reported in this study represents the mean of three independent parallel measurements ($n = 3$) per composition, in line with the statistical protocol adopted for the parent study. The individual replicate readings and their standard deviations are retained in the original laboratory record; a full tabulation of replicate data together with the corresponding standard deviations and 95 % confidence intervals will be presented in an extended follow-up report.

Results

3.1 IR Spectroscopy of the TGF-8 Modifier

The molecular structure and functional groups of the synthesized TGF-8 modifier were investigated by infrared (IR) spectroscopy (Shimadzu) in the range of 500–4000 cm^{-1} . The obtained spectral data (Fig. 2) confirm that the polycondensation reaction between thiourea, glycerol, and formaldehyde proceeded successfully, leading to the formation of new functional groups.

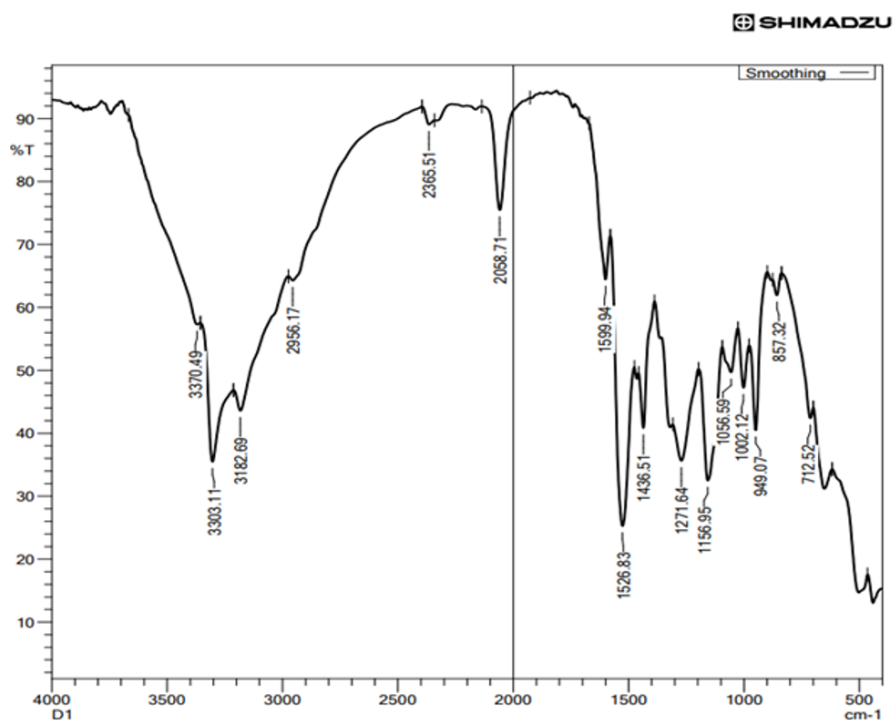


Figure 2. IR spectroscopy of the TGF-8 modifier

3370.49 cm^{-1} and 3303.11 cm^{-1} — These broad absorption peaks correspond to hydrogen bonding in $-\text{OH}$ and $-\text{NH}$ groups; such broad peaks are characteristic of polymers and oligomers, arising from intermolecular hydrogen-bonding interactions. 3182.69 cm^{-1} and 2956.17 cm^{-1} — These peaks are attributed to $\text{C}-\text{H}$ stretching vibrations, specifically of CH and CH_2 groups; the signals indicate the presence of $\text{C}-\text{H}$ bonds within the hydrocarbon framework of the oligomer [7; 17]. The strong absorption peak at 1526.83 cm^{-1} corresponds to the combined deformation and stretching vibrations of the $\text{N}-\text{C}=\text{S}$ system, characteristic of the thiourethane chain. In addition, in the region of 1271.64 cm^{-1} , the stretching vibrations of the thione $\text{C}=\text{S}$ group were identified, representing one of the key centers responsible for the high chemical resistance of the modifier. The formation of the oligomer chain is further confirmed by absorptions at 1056.59 cm^{-1} and 1156.95 cm^{-1} , which correspond to the stretching vibrations of simple ether $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ bonds and primary alcohol $\text{C}-\text{O}$ bonds, respectively, arising from the reaction of glycerol with formaldehyde. The absorption peak at 1002.12 cm^{-1} is attributed to the deformation vibrations of CH groups, particularly characteristic of aliphatic chains, thereby confirming the presence of hydrocarbon structures. Finally, the peak at 857.32 cm^{-1} corresponds to the stretching vibrations of $\text{C}-\text{N}$ bonds, indicating the presence of carbon–nitrogen linkages within thiourea-derived molecules [17].

3.2 Effect of Modifier Concentration on Adhesion

Following the modification of liquid glass with the synthesized TGF-8 oligomer, we compared the adhesion properties of modified and unmodified liquid glass. In addition, the experiments were conducted at different concentrations of the modifier. The results are presented in Fig. 3.

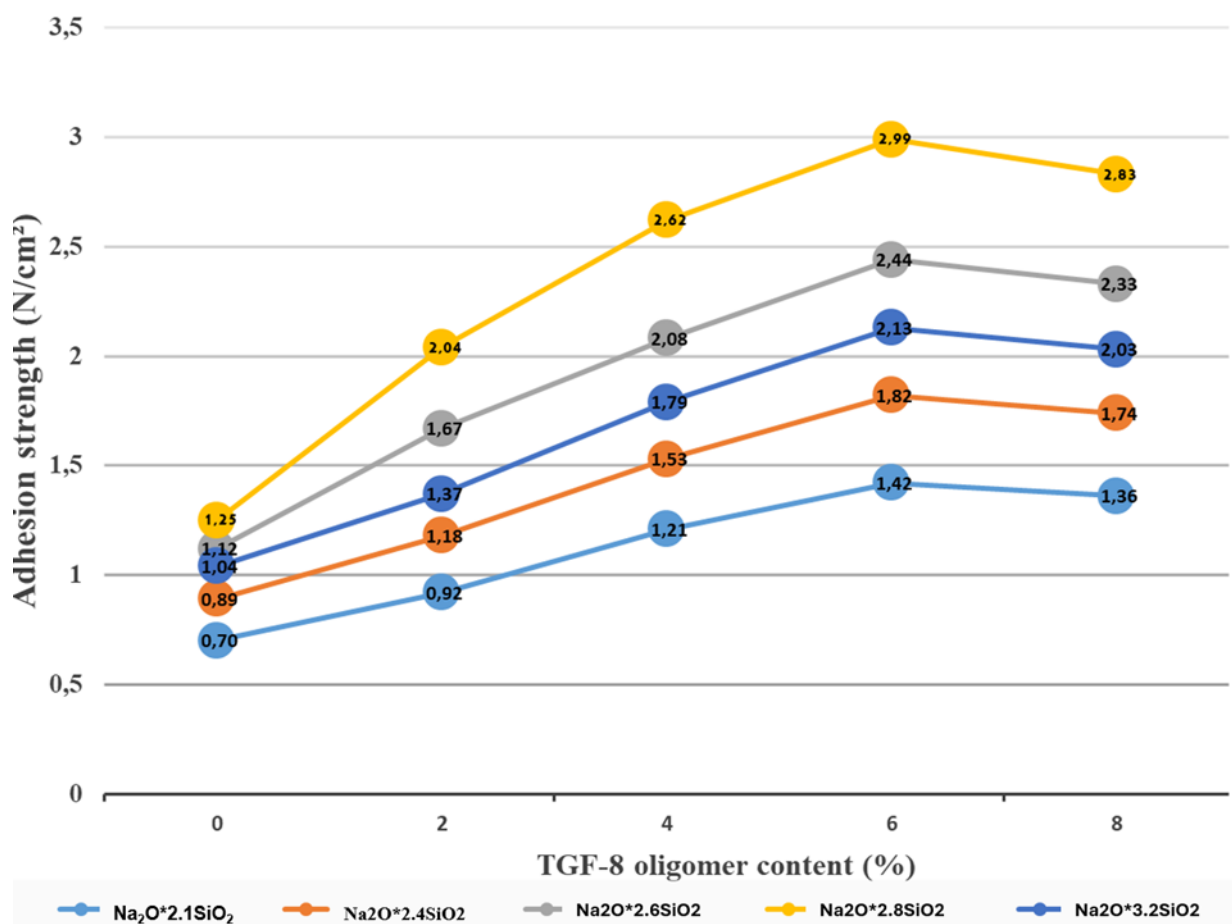


Figure 3. Effect of Modifier Concentration on Adhesion (± 0.02)

During the experiments, liquid glass solutions with $\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2$ ratios ranging from 1:2.1 to 1:3.2 (i.e., silicate modulus from 2.1 to 3.2) were modified by adding the TGF-8 oligomer in amounts between 2 % and 8 %. For each combination, the adhesion strength was measured in comparison with unmodified liquid glass. According to the obtained results, the incorporation of the TGF-8 oligomer significantly enhances the adhesion strength of sodium silicate. In particular, the solution with $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2.6\text{SiO}_2$ (silicate modulus = 2.6) modified with 6 % TGF-8 achieved the optimal adhesion strength value ($\approx 2.99 \text{ N/cm}^2, \pm 0.02$).

Discussion

4.1 Comparison with Literature Data

The adhesion-enhancing effect of TGF-8 observed in this study is consistent with, and quantitatively comparable to, related work on organically modified sodium-silicate systems. Akhmedov, Kamolova and Olimov [1] reported that modifying a 10 % sodium-silicate solution (silicate modulus 2.2) with a related organic oligomeric modifier increased adhesion, measured with the same AMTs-2-20 adhesiometer used in the present work, by a factor of 2.5 – 3.02; the relative enhancement observed for TGF-8 in the present study falls within a comparable range. In an earlier study by the same research group [11], a thiourea-glycerol-based oligomer added at 5 – 15 % to a sodium-silicate wood adhesive (silicate modulus 2.6 – 2.8) raised adhesion strength from 2.28 to 3.15 MPa (a 27.6 % increase) at 10 % modifier content, measured in tensile (pull-off) mode;

because that value is expressed in MPa (tensile mode) rather than in N/cm² (peel mode, GOST 14760-69, as used here), the absolute figures are not directly interconvertible, but the direction and relative magnitude of the improvement are consistent with the present findings. Compared with organofunctional-silane-modified organomineral hybrids, for which Kopietz et al. [6] and Liang et al. [9] report mechanical-property gains of a broadly similar order, the thiourea-formaldehyde route explored here offers a lower-cost, isocyanate- and silane-free alternative based on locally available raw materials. Table 1 summarizes this comparison.

Table 1.

Comparison of TGF-8 adhesion performance with related organic modifiers of sodium silicate reported in the literature

Modifier system	Adhesion metric	Improvement	Ref.
TGF-8 (this study), 6% in Na ₂ O·2.6SiO ₂	Peel adhesion, N/cm ² (GOST 14760-69)	~2.99 N/cm ² (vs. unmodified)	-
Related oligomeric modifier, 8% in 10% sod. silicate (modulus 2.2)	Peel adhesion, AMTs-2-20	2.5-3.02x increase	[1]
Thiourea-glycerol oligomer, 10% in sod. silicate (modulus 2.6-2.8)	Tensile (pull-off), MPa	2.28 to 3.15 MPa (+27.6%)	[11]
Organofunctional silane, organomineral hybrid	Flexural strength	Comparable-order gains	[6; 8]

4.2 Molecular-Level Interaction Mechanism

The IR-confirmed functional groups of TGF-8 -NH₂, -OH, C=S (thiourethane) and C-N -- provide several plausible pathways for interaction with the silicate matrix, consistent with mechanisms proposed for related organic-inorganic silicate systems [1; 8; 13]. First, the residual hydroxyl groups of the glycerol-derived fragments can undergo condensation with silanol (Si-OH) groups generated on hydrolysis of sodium silicate, forming Si-O-C linkages and releasing water; this is the mechanism already outlined in Section 2.3. Second, the polar thiourethane group, in which both the sulfur and the amide nitrogen carry lone electron pairs, is expected to act as a hydrogen-bond acceptor toward residual Si-OH and Si-OH₂⁺ surface sites, supplementing the covalent Si-O-C network with a denser array of secondary interactions. Third, the free -NH₂ groups may coordinate with the polysilicate anions through electrostatic/dipole interactions, consistent with the dipole-dipole mechanism proposed by Akhmedov et al. for a structurally related oligomeric modifier [1].

This combination of covalent (Si-O-C) and non-covalent (hydrogen-bonding, dipole) interactions is consistent with the observed concentration dependence of adhesion (Fig. 3): at low TGF-8 content (below 6 %), an insufficient number of modifier chains are available to bridge the silicate network, while beyond 6 – 8 % excess, unreacted oligomer is proposed to accumulate at the interface, plasticizing rather than reinforcing it, which is consistent with the decrease in adhesion reported at higher modifier loadings in the closely related system studied by Akhmedov et al. [1]. Direct spectroscopic confirmation of Si-O-C bond formation (e.g., by solid-state ²⁹Si NMR or XPS) was not undertaken in the present short communication and is identified as a priority for future work.

Conclusion

In this study, the TGF-8 oligomer based on thiourea was employed as a modifier to improve the adhesion properties of sodium silicate (liquid glass) solutions. Laboratory tests demonstrated that the addition of the TGF-8 oligomer significantly increased the adhesion strength, viscosity, and rheological stability of sodium silicate-based adhesives. When the modifier was introduced into sodium silicate solutions ($x\text{Na}_2\text{O}:y\text{SiO}_2$) at concentrations ranging from 0 to 8 %, the highest adhesion strength (up to 2.99 N/cm²) was observed particularly at 6 % TGF-8. This confirms the formation of bonds between the silicate chains and the multifunctional groups of the oligomer. The presence of $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$, $-\text{N}-\text{C}$, and $-\text{C}=\text{S}$ groups in the synthesized TGF-8 modifier was verified by IR spectroscopy. Moreover, the adhesion of modified liquid glass was found to be superior compared to the unmodified system.

In conclusion, the modification of sodium silicate with the TGF-8 oligomer provides an environmentally friendly, cost-effective approach to obtaining composite materials with enhanced adhesion. This strategy offers a scientific basis for the development of a new generation of silicate-based binder systems with strong potential for widespread application in the composite materials industry.

References

1. Akhmedov V., Kamolova Z., Olimov B.B. Modification method of sodium silicate // *Universum: технические науки*. – 2026. – № 3. – URL: <https://7universum.com/en/tech/archive/item/17116>. (accessed 04.09.2026)
2. Aversa R., Ricciotti L., Perrotta V., Apicella A. Chemorheology of a Si/Al > 3 alkali activated metakaolin paste through parallel differential scanning calorimetry (DSC) and dynamic mechanical analysis (DMA) // *Polymers*. – 2026. – T. 15, № 19. – Art. 3922. – DOI: 10.3390/polym15193922.
3. Aversa R., Ricciotti L., Perrotta V., Apicella A. Thermokinetic and chemorheology of the geopolymerization of an alumina-rich alkaline-activated metakaolin in isothermal and dynamic thermal scans // *Polymers*. – 2026. – T. 16, № 2. – Art. 211. – DOI: 10.3390/polym16020211.
4. Chen Y., Wang J., Xu L., Nie Y., Ye Y., Qian J., Liu F., Zhang L. Effects of Different Plasticizers on the Structure, Physical Properties and Film Forming Performance of Curdlan Edible Films // *Foods*. – 2026. – T. 13, № 23. – Art. 3930. – DOI: 10.3390/foods13233930.
5. Jiang X., Li C., Chi Y., Yan J. TG-FTIR study on urea-formaldehyde resin residue during pyrolysis and combustion // *Journal of Hazardous Materials*. – 2026. – T. 173. – P. 205–210. – DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.08.070.
6. Kopietz M., Wetzel B., Friedrich K. Flexural and fracture mechanical properties of in situ particulate reinforced organomineral hybrid resins modified by organofunctional silanes // *Composites Science and Technology*. – 2019. – T. 174. – P. 169–175.
7. Kovtun G., Casas D., Cuberes T. Influence of Glycerol on the Surface Morphology and Crystallinity of Polyvinyl Alcohol Films // *Polymers*. – 2026. – T. 16, № 17. – Art. 2421. – DOI: 10.3390/polym16172421.

8. Liang Y., Gao A., Sun Y. et al. Mechanism confirmation of organofunctional silanes modified sodium silicate/polyurethane composites for remarkably enhanced mechanical properties // *Scientific Reports*. – 2026. – T. 11. – Art. 9407. – DOI: 10.1038/s41598-021-88893-2.
9. Liu X., Wu Y., Zhang X., Zuo Y. Study on the effect of organic additives and inorganic fillers on properties of sodium silicate wood adhesive modified by polyvinyl alcohol // *BioResources*. – 2015. – T. 10, № 1. – P. 1528–1542.
10. Miao C., Xun X., Dodd L.J., Niu S., Wang H., Yan P., Wang X.-C., Li J., Wu X., Hasell T., Quan Zh.-J. Inverse Vulcanization with SiO₂-Embedded Elemental Sulfur for Superhydrophobic, Anticorrosion, and Antibacterial Coatings // *ACS Applied Polymer Materials*. – 2022. – T. 4, № 7. – P. 4901–4911.
11. Murodov D., Niyozov A., Akhmedov V., Beshimov I. Study of the Changes in Rheological and Adhesive Properties through the Modification of Liquid Glass // *Digital Technologies in Industry (Sanoatda raqamli texnologiyalar)*. – 2025. – T. 3, № 4. – P. 205–210. – DOI: 10.70769/3030–3214.SRT.3.4.2025.27.
12. Puszka A., Sikora J.W. Synthesis and characterization of new polycarbonate-based poly(thiourethane-urethane)s // *Polymers*. – 2026. – T. 14, № 14. – Art. 2933. – DOI: 10.3390/polym14142933.
13. Razgovorov P., Loginova S., Politaeva N., Velmozhina K., Shinkevich P. Modification of Liquid Glasses Is a Key Factor in the Technology of Obtaining Hybrid Compositions and Coatings with Anticorrosive Properties // *Coatings*. – 2026. – T. 13, № 6. – Art. 974. – DOI: 10.3390/coatings13060974.
14. Yin J., Kang A., Kou C. Influences of water glass and sodium methyl silicate combined treatment on recycled coarse aggregate and concrete made with it // *Materials*. – 2026. – T. 18, № 22. – Art. 5223. – DOI: 10.3390/ma18225223.
15. Zhang L. et al. Development of high-performance silicate adhesives modified with organic resins // *International Journal of Adhesion and Adhesives*. – 2019. – T. 95. – Art. 102410.
16. Zhang Y.Y., Glass R.S., Char K., Pyun J. Recent advances in the polymerization of elemental sulphur, inverse vulcanization and methods to obtain functional Chalcogenide Hybrid Inorganic/Organic Polymers (CHIPs) // *Polymer Chemistry*. – 2019. – T. 10. – P. 4078–4105.
17. Zhao Y., Yang S., Zhang J., Xu S., Han J., Ma S. Preparation and Characterization of Fluorinated Acrylate and Epoxy Co-Modified Waterborne Polyurethane // *Polymers*. – 2026. – T. 16, № 18. – Art. 2576. – DOI: 10.3390/polym16182576.

Статья поступила в редакцию: 16.08.2026

Статья принята к публикации: 23.08.2026

Статья опубликована: 07.09.2026

УДК 547.314.2:54 – 44

DOI: 10.32743/UniChem.2026.147.9.23337

Development of a catalyst for the catalytic oxychlorination synthesis of vinyl chloride from ethylene

Omanov Behruzjon Shuhrat o'g'li

doctor of Philosophy of Technical Sciences, Professor, Navoi State University

Republic of Uzbekistan, Navoi

E-mail: omanovbekhruzjon@gmail.com

Olimov Mehroj G'ulom o'g'li

Doctoral student

of the Department of Chemistry, Navoi State University

Republic of Uzbekistan, Navoi

Разработка катализатора для каталитического оксихлорирования этилена с целью синтеза винилхлорида

Оманов Бехрузжон Шухрат угли

д-р техн. наук, проф.

Навоийский государственный университет

Республика Узбекистан, г. Навои

Олимов Меҳроҷ Гулом угли

аспирант кафедры химии

Навоийский государственный университет

Республика Узбекистан, г. Навои

Abstract

This study describes the composition, preparation procedure, and catalytic performance of a multicomponent $\text{KCl} \cdot \text{ZnCl}_2 \cdot \text{CuCl}_2 \cdot \text{CeCl}_3 / \text{HZS}$ catalyst designed for the production of vinyl chloride through catalytic oxychlorination of ethylene. The catalyst contained 5 % KCl , 5 % ZnCl_2 , 10 % CuCl_2 , 3 % CeCl_3 , and 77 % high-silica zeolite. Component quantities were calculated on the basis of 100 g of nominal dry catalyst. When hydrated laboratory precursors were employed, 12.68 g of $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and 4.53 g of $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ were used to provide the required amounts of anhydrous CuCl_2 and CeCl_3 , respectively. The catalyst was prepared by incipient-wetness

Библиографическое описание: Оманов Б.Ш.У., Олимов М.Г.У. Разработка катализатора для каталитического оксихлорирования этилена с целью синтеза винилхлорида // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 9(147). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23337>

For citation: Omanov B.S.O., Olimov M.G.O. Development of a catalyst for the catalytic oxychlorination synthesis of vinyl chloride from ethylene // Universum: Chemistry and Biology : electronic scientific journal. 2026. No. 9(147). Available at: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23337>

impregnation using a solution volume corresponding to the pore volume of the support, followed by staged drying and mild chlorinating activation. Catalytic tests were performed at 230–240 °C, and a vinyl chloride selectivity of 94.7 % was achieved. Since the conversion value was not reported, the product yield could not be determined separately. The observed catalytic performance is attributed to the synergistic interaction between the redox chlorination centers of CuCl_2 , the acidic sites of the high-silica zeolite, and the promotional effects of KCl , ZnCl_2 , and CeCl_3 . The proposed catalytic system demonstrates promising potential for selective vinyl chloride production.

Аннотация

В данной работе представлены состав, способ приготовления и каталитические свойства многокомпонентного катализатора $\text{KCl} \cdot \text{ZnCl}_2 \cdot \text{CuCl}_2 \cdot \text{CeCl}_3 / \text{HZS}$, предназначенного для получения винилхлорида методом каталитического оксихлорирования этилена. Состав катализатора включал 5 % KCl , 5 % ZnCl_2 , 10 % CuCl_2 , 3 % CeCl_3 и 77 % высококремнезёмного цеолита. Количество компонентов рассчитывали на 100 г номинально сухого катализатора. При использовании гидратированных лабораторных прекурсоров применяли 12,68 г $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и 4,53 г $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, что соответствовало требуемому содержанию безводных CuCl_2 и CeCl_3 . Катализатор получали методом пропитки по влагеёмкости с использованием объёма раствора, соответствующего объёму пор носителя, с последующей ступенчатой сушкой и мягкой хлорирующей активацией. Каталитические испытания проводили при температуре 230–240 °C. Селективность по винилхлориду достигала 94,7 %. В связи с отсутствием данных о степени конверсии выход целевого продукта отдельно не рассчитывали. Высокая селективность катализатора объясняется синергетическим взаимодействием окислительно-восстановительных хлорирующих центров CuCl_2 , кислотных центров высококремнезёмного цеолита, а также промотирующим действием KCl , ZnCl_2 и CeCl_3 . Полученная каталитическая система представляет интерес для селективного синтеза винилхлорида.

Keywords: ethylene, vinyl chloride, catalytic oxychlorination, high-silica zeolite, copper(II) chloride, potassium chloride, zinc chloride, cerium(III) chloride, selectivity.

Ключевые слова: этилен, винилхлорид, каталитическое оксихлорирование, высококремнезёмный цеолит, хлорид меди(II), хлорид калия, хлорид цинка, хлорид церия(III), селективность.

Introduction

Vinyl chloride is the main monomer for the production of polyvinyl chloride and is one of the large-volume products of the organochlorine synthesis industry. A technology based on ethylene feedstock is distinguished by efficient utilization of hydrocarbon resources and the possibility of recycling hydrogen chloride into the reaction. In industrial practice, oxychlorination of ethylene often proceeds through the formation of 1,2-dichloroethane; vinyl chloride is then obtained by

dehydrochlorination or thermal cracking [4]. If a bifunctional catalyst combines oxychlorination and dehydrochlorination functions in one system, it becomes possible to lower the process temperature and reduce the number of process stages [11].

Copper(II) chloride is known as an active chlorine carrier in ethylene oxychlorination. Dynamic transitions between copper(II) and copper(I) states in the working catalyst link chlorination of ethylene, oxidation of copper(I) chloride by oxygen, and rechlorination by hydrogen chloride [4; 6; 14; 15]. Potassium chloride forms mixed surface phases with copper chloride and affects reduction kinetics, acidity, and the mobility of copper(I) chloride. Cerium(III) chloride is considered a promoter that modifies the redox balance and thermal stability, while zinc chloride modifies the chloride surface environment and active-phase dispersion [6; 12; 14; 15].

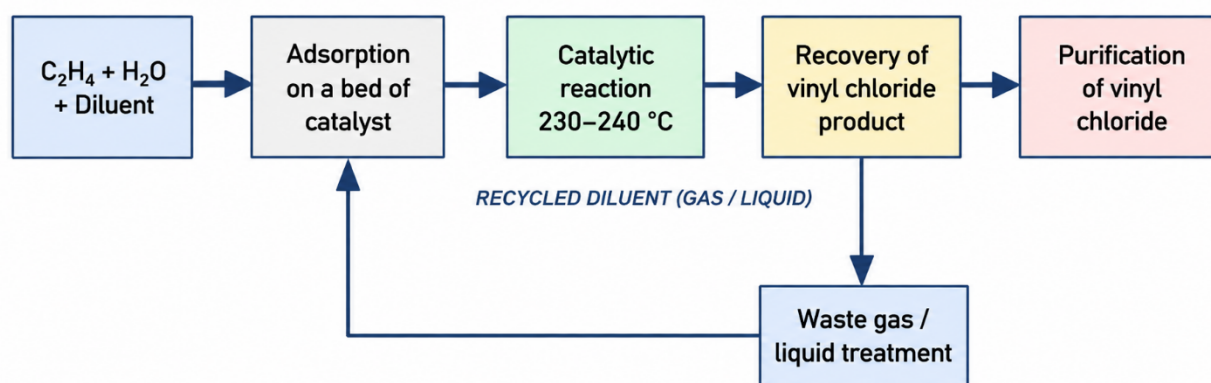
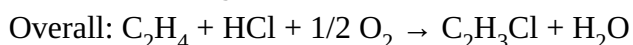
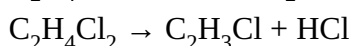
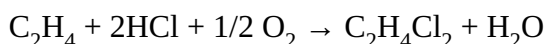


Figure 1. Catalytic oxychlorination scheme for obtaining vinyl chloride from ethylene

Table 1.

Catalytic functions and control parameters

Function	Process role	Main control parameter
Oxychlorination	Formation of a chlorinated C ₂ intermediate from ethylene and hydrogen chloride	Copper oxidation state, oxygen consumption
Dehydrochlorination	Formation of vinyl chloride from the chlorinated intermediate	HZS acidity, contact time
Promotion	Control of selectivity, dispersion, and stability	Amounts of KCl, ZnCl ₂ , and CeCl ₃
Heat management	Limitation of hot spots and deep oxidation	Bed temperature in the 230–240 °C range

The aim of the work is to calculate a catalyst with the mass ratio KCl:ZnCl₂:CuCl₂:CeCl₃:HZS = 5:5:10:3:77, describe the laboratory preparation algorithm, and scientifically discuss the 94.7 % selectivity recorded at 230–240 °C in terms of interactions among the active phases.

Materials and Methods

The catalyst composition was specified on the basis of the final dry mass. Since $5+5+10+3+77$ equals 100, the mass percentages are numerically equal to the component masses for 100 g of catalyst. HZS denotes high-silica zeolite. The support is used in a hierarchical porous form with a Si/Al ratio of at least 25 and is dried at 120 °C to constant mass before impregnation.

Table 2.

Catalyst composition and calculated amounts of laboratory precursors

Component	Mass fraction, %	Dry substance for 100 g	Laboratory precursor for 100 g	For 10 g catalyst
KCl	5	5.00 g	5.00 g KCl	0.500 g KCl
ZnCl ₂	5	5.00 g	5.00 g ZnCl ₂	0.500 g ZnCl ₂
CuCl ₂	10	10.00 g	12.68 g CuCl ₂ ·2H ₂ O	1.268 g CuCl ₂ ·2H ₂ O
CeCl ₃	3	3.00 g	4.53 g CeCl ₃ ·7H ₂ O	0.453 g CeCl ₃ ·7H ₂ O
HZS	77	77.00 g	77.00 g dry HZS	7.700 g dry HZS
Total	100	100.00 g	104.21 g weighed material	10.421 g weighed material

The mass of hydrated salt was determined from $m(\text{hydrate}) = m(\text{anhydrous salt}) \cdot M(\text{hydrate}) / M(\text{anhydrous salt})$. For copper(II) chloride, $10.00 \cdot 170.48 / 134.45 = 12.68$ g; for cerium(III) chloride, $3.00 \cdot 372.58 / 246.48 = 4.53$ g. During drying, the water of crystallization is removed, so 104.21 g of the initial weighed material yields a nominal 100 g of dry catalyst. If anhydrous CuCl₂ and CeCl₃ are used, exactly 10.00 g and 3.00 g, respectively, are required.

The molar amounts of the salts are KCl = 0.0671 mol, ZnCl₂ = 0.0367 mol, CuCl₂ = 0.0744 mol, and CeCl₃ = 0.0122 mol. Relative to CuCl₂, the nominal molar ratio KCl:ZnCl₂:CuCl₂:CeCl₃ is 0.90:0.49:1.00:0.16. This notation does not represent a separate crystalline compound formula; it denotes the calculated composition of the multicomponent phase loaded onto the HZS surface.

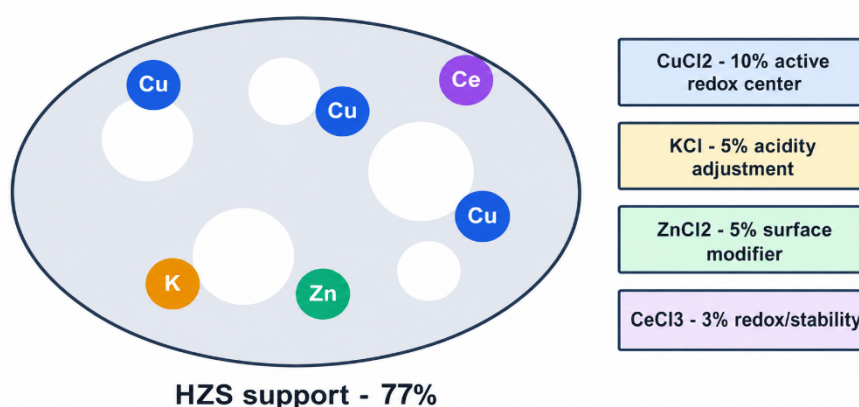


Figure 2. Designed structure of the 5KCl–5ZnCl₂–10CuCl₂–3CeCl₃–77HZS catalyst

The catalyst is prepared by incipient-wetness impregnation. First, HZS is dried at 120 °C for 4 h, cooled in a desiccator, and its water capacity is determined by dropwise wetting. The volume of the impregnation solution should equal the experimentally determined pore volume of the support. For example, if the water capacity is 0.45 mL/g, 34.65 mL of solution is used for 77 g of support. If all salts do not dissolve in this volume, two consecutive impregnation cycles are applied.

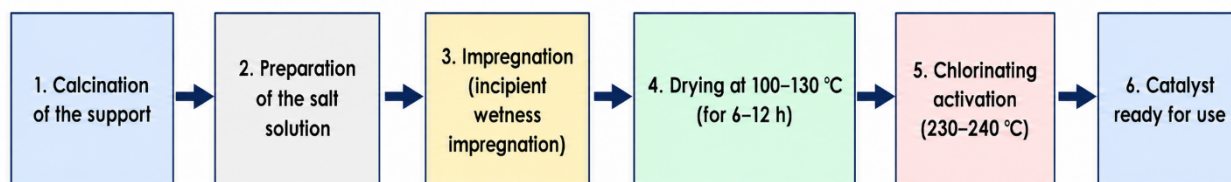


Figure 3. Sequence for preparing the catalyst by incipient-wetness impregnation

Table 3.

Catalyst preparation stages and control criteria

Stage	Operation	Regime	Control criterion
1	Drying and fractionation of HZS	120 °C, 4 h; 100–300 μm	Constant mass, no dust fraction
2	Preparation of salt solution	Deionized water, 50–60 °C, 30 min	Clear solution; no hydrolysis precipitate
3	Incipient-wetness impregnation	Dropwise addition for 20–30 min	Uniform wetting, no free liquid
4	Aging	2 h in a closed vessel	Diffusion of salts into the pores
5	Staged drying	80 °C for 2 h; 120 °C for 6–12 h	Constant mass, no large crystals
6	Activation	180 °C in N ₂ ; diluted HCl/N ₂ at 200–220 °C	Retention of chloride phase and safe off-gas

Strong calcination is not recommended because high temperatures may cause volatilization of chlorides, agglomeration of the copper phase, or changes in the acid sites of HZS. Since ZnCl₂ and CeCl₃ are hygroscopic, weighing should be performed rapidly in a dry atmosphere. Each sample should be prepared at least three times, and the actual mass, solution volume, drying time, and activation time should be recorded for each batch.

Catalytic testing is carried out in a corrosion-resistant fixed-bed microreactor. A 0.5–1.0 g portion of catalyst is diluted with quartz to improve heat transfer. The reactor is first purged with nitrogen, followed by hydrogen chloride and ethylene, and finally oxygen. The test temperature is directly controlled in the catalyst bed using a thermocouple at 230–240 °C. For the direct overall reaction, an initial C₂H₄:HCl:O₂ molar ratio of 1:1.0:0.55 is recommended; if the exact flow rates of the experiment yielding 94.7 % selectivity are available, those values should take precedence in the main protocol.

Table 4.

Catalytic test conditions and analytical methods

Parameter	Test condition or method	Comment
Temperature	230–240 °C	Actual temperature inside the bed

Parameter	Test condition or method	Comment
Catalyst mass	0.5–1.0 g	Diluted with quartz at approximately 1:5
Initial gas ratio	$C_2H_4:HCl:O_2 = 1:1:0.5$	10% oxygen excess relative to the overall equation
Space velocity	1000–3000 h ⁻¹	Recommended range for screening
Product analysis	Gas chromatography	Gas and condensate streams analyzed separately
Stability	At least 24 h; target 100 h	Time dependence of selectivity and conversion

Vinyl chloride is a carcinogenic and highly flammable gas; experiments must be performed only on a hermetically sealed, remotely controlled test rig equipped with continuous gas monitoring. Oxygen is introduced last and, in an emergency, is shut off first. Materials resistant to hydrogen chloride and wet chloride environments, as well as an absorber and neutralization system, are mandatory [7].

Results and Discussion

Table 5.

Main experimental results and their scientific interpretation

Result	Value	Scientific interpretation
Temperature	230–240 °C	Reported catalytic test range
Vinyl chloride selectivity	94.7%	Based on converted ethylene
Fraction of other products	5.3%	Calculated as 100 – 94.7; composition requires clarification
Ethylene conversion	Not provided	Required to calculate product yield
Vinyl chloride yield	Not calculated	Cannot be determined from selectivity without conversion

The calculation showed that the active salts account for 23 mass% of the catalyst, while HZS accounts for 77 mass%. The 10 % $CuCl_2$ content provides the principal reservoir of redox chlorination centers. KCl and $ZnCl_2$, each at 5 %, are expected to have a significant effect on the acid–base properties of the surface and the mobility of the chloride phase. The 3 % $CeCl_3$ content serves as an additional modifier of copper reoxidation and active-phase stability.

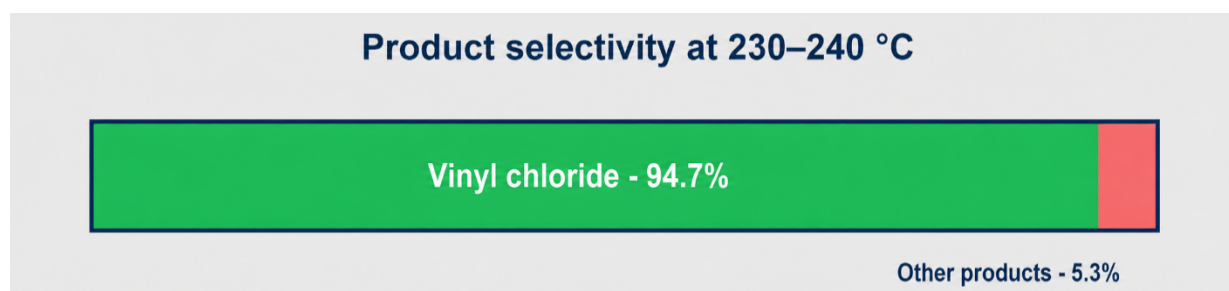


Figure 4. Vinyl chloride selectivity and calculated fraction of other products recorded at 230–240 °C

Table 6.

Functions and potential risks of catalyst components

Component	Mass fraction	Expected catalytic function	Main risk discussed
CuCl ₂	10%	Cu(II)/Cu(I) redox center for ethylene chlorination	Agglomeration and CuCl volatility
KCl	5%	Adjustment of acidity and reduction of copper chloride	Blocking of active sites at excessive amounts
ZnCl ₂	5%	Modification of chloride environment and surface dispersion	Hygroscopicity and pore-mouth blockage
CeCl ₃	3%	Redox balance and structural stability	Hydrolysis and phase change in moisture
HZS	77%	Dispersed support and acid sites for dehydrochlorination	Side products if acidity is too high

The 94.7 % selectivity indicates that most of the converted ethylene was transformed into vinyl chloride. The remaining 5.3 % was calculated as the difference in product selectivity, but its distribution among ethyl chloride, 1,2-dichloroethane, carbon dioxide, or heavy organochlorine compounds was not reported. Therefore, the composition of the side products should be confirmed by gas chromatography and mass spectrometry. Although selectivity itself is high, catalyst productivity cannot be fully evaluated until ethylene conversion is known.

Literature results for high-silica zeolites are not uniform: some CuCl₂/zeolite systems have been less active than alumina-supported samples [13]. The high selectivity observed with the present composition may be associated with the combined promoter effect of KCl, ZnCl₂, and CeCl₃ and the dehydrochlorination function of HZS. This is a mechanistic hypothesis and should be tested using promoter-free and alumina-supported control samples.

The catalytic cycle at copper chloride centers can be represented by three elementary stages. In the first stage, copper(II) chloride chlorinates ethylene and is reduced to copper(I) chloride. In the second stage, copper(I) chloride is converted into copper oxychloride by oxygen. In the third stage, copper oxychloride is rechlorinated by hydrogen chloride, regenerating active copper(II) chloride [4; 6; 14; 15]. The acid sites of HZS may accelerate hydrogen chloride elimination from the formed 1,2-dichloroethane, facilitating vinyl chloride formation at 230–240 °C.

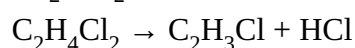
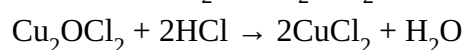
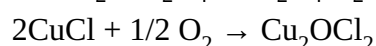
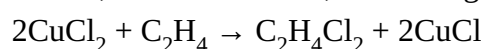


Table 7.

Recommended investigations to verify the selectivity result

Investigation	Measured parameter	Purpose in confirming the 94.7% result
Gas chromatography	Vinyl chloride and all C ₂ products	Recalculate selectivity using a carbon balance
Inductively coupled plasma analysis	Cu, K, Zn, and Ce loading	Verify that the 5:5:10:3:77 composition is retained
X-ray diffraction	HZS crystallinity and large chloride phases	Determine the phase state after impregnation

Investigation	Measured parameter	Purpose in confirming the 94.7% result
X-ray photoelectron spectroscopy	Cu(I)/Cu(II), Ce(III)/Ce(IV), surface Cl	Substantiate the redox mechanism
Electron microscopy and elemental mapping	Distribution of active components	Determine salt islands and pore blockage
Time-on-stream testing	Conversion and selectivity over 24–100 h	Demonstrate activity stability

At the lower end of the temperature range, the dehydrochlorination rate may be insufficient, whereas at the upper end deep oxidation and heavy organochlorine products may increase. The exact temperature at which the 94.7 % selectivity was obtained was not reported; therefore, at least three parallel experiments should be conducted at 230, 235, and 240 °C, with the mean value and standard deviation reported. If conversion is X , vinyl chloride yield equals $0.947X$. This formula illustrates the calculation method, but because conversion is unknown, no numerical yield is reported in this article.

As a control series, 10 % CuCl_2/HZS , 5 % KCl –10 % CuCl_2/HZS , 5 % KCl –5 % ZnCl_2 –10 % CuCl_2/HZS , and the complete composition should be tested. This sequence separates the individual and combined effects of the promoters. The corresponding formulation supported on $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ would also make it possible to determine the actual contribution of HZS.

Conclusion

A catalyst with the mass composition $\text{KCl}:\text{ZnCl}_2:\text{CuCl}_2:\text{CeCl}_3:\text{HZS} = 5:5:10:3:77$ was calculated for the catalytic oxychlorination of ethylene to vinyl chloride. For 100 g of dry catalyst, 5.00 g KCl , 5.00 g ZnCl_2 , 10.00 g CuCl_2 , 3.00 g CeCl_3 , and 77.00 g HZS are required. When hydrated laboratory salts are used, 12.68 g $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and 4.53 g $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ should be taken. Impregnation with a solution equal to the pore volume, staged drying at 80 and 120 °C, and mild chlorinating activation at 180–220 °C are recommended. In catalytic testing at 230–240 °C, vinyl chloride selectivity was 94.7 %. The result was explained by the combined effect of CuCl_2 redox centers, HZS acid sites, and the promoters KCl , ZnCl_2 , and CeCl_3 . The remaining product fraction was calculated as 5.3 %. Because ethylene conversion was not provided, vinyl chloride yield was not calculated; future work should report conversion, carbon and chlorine balances, side-product composition, reproducibility, and long-term stability. Thus, the 5:5:10:3:77 composition represents a promising starting formulation, whose scientific validation should be strengthened by control catalysts and comprehensive instrumental characterization.

References

1. Gianolio D., Muddada N.B., Olsbye U., Lamberti C. Doped- $\text{CuCl}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ catalysts for ethylene oxychlorination: Influence of additives on the nature of active phase and reducibility // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. – 2012. – T. 284. – DOI: 10.1016/j.nimb.2011.08.004.

2. Ma H. Kinetic modeling of dynamic changing active sites in a Mars-van Krevelen type reaction: Ethylene oxychlorination on K-doped $\text{CuCl}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ // *Chemical Engineering Journal*. – 2021. – Т. 407. – DOI: 10.1016/j.cej.2020.128013.
3. Ma H., Fenes E., Qi Y., Wang Y., Rout K.R., Fuglerud T., Chen D. Understanding of K and Mg co-promoter effect in ethylene oxychlorination by operando UV-vis-NIR spectroscopy // *Catalysis Today*. – 2021. – DOI: 10.1016/j.cattod.2020.06.049.
4. Ma H., Wang Y., Qi Y., Rout K.R., Chen D. Critical Review of Catalysis for Ethylene Oxychlorination // *ACS Catalysis*. – 2020. – Т. 10. – DOI: 10.1021/acscatal.0c01698.
5. Muddada N.B. Quantification of copper phases, their reducibility and dispersion in doped- $\text{CuCl}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ catalysts for ethylene oxychlorination. *Dalton Transactions*. – Pp. 8437–8449. – Retrived from: – 2010. – Т. 39. – DOI: 10.1039/C0DT00488J. (дата обращения: 17.08.2026).
6. Muddada N.B., Olsbye U., Caccialupi L., Cavani F., Leofanti G. Influence of additives in defining the active phase of the ethylene oxychlorination catalyst // *Physical Chemistry Chemical Physics*. – 2010. – Т. 12. – DOI: 10.1039/B926502N.
7. Occupational Safety and Health Administration. Standard 29 CFR 1910.1017: Vinyl chloride. – Retrived from: – URL: <https://www.ecfr.gov/current/title-29/part-1910/section-1910.1017> (дата обращения: 17.08.2026).
8. Ohashi T. Deactivation factor of $\text{CuCl}_2\text{-KCl}/\text{Al}_2\text{O}_3$ catalyst for ethylene oxychlorination in a commercial-scale plant // *Applied Catalysis A: General*. – 2020. – Т. 589. – DOI: 10.1016/j.apcata.2019.117205.
9. Qi Y., Fenes E., Ma H., Wang Y., Rout K.R., Fuglerud T., Piccinini M., Chen D. Origin of potassium promotion effects on $\text{CuCl}_2/\text{gamma-Al}_2\text{O}_3$ catalyzed ethylene oxychlorination // *Applied Surface Science*. – 2020. – Т. 521. – DOI: 10.1016/j.apsusc.2020.146310.
10. Rout K.R., Baidoo M.F., Fenes E., Zhu J., Fuglerud T., Chen D. Understanding of potassium promoter effects on oxychlorination of ethylene by operando spatial-time resolved UV-vis-NIR spectrometry // *Journal of Catalysis*. – 2017. – Т. 352. – DOI: 10.1016/j.jcat.2016.12.026.
11. Scharfe M. va boshq. Lanthanide compounds as catalysts for the one-step synthesis of vinyl chloride from ethylene // *Journal of Catalysis*. – 2016. – Т. 344. – DOI: 10.1016/j.jcat.2016.10.026.
12. Sinopec Beijing Research Institute of Chemical Industry. Ethylene oxychlorination catalyst and its preparation method and application. Patent CN100457260C, 2009. – Retrived from: – URL: <https://patents.google.com/patent/CN100457260C/en> (дата обращения: 15.08.2026).
13. Vajglova Z. va boshq. Influence of the support of copper catalysts on activity and 1,2-dichloroethane selectivity in ethylene oxychlorination // *Applied Catalysis A: General*. – 2018. – Т. 556. – DOI: 10.1016/j.apcata.2018.02.012.
14. Zhang W. Promoter doping for tuning the redox behavior of $\text{CuCl}_2/\text{gamma-Al}_2\text{O}_3$ -based catalysts in ethylene oxychlorination // *Chemical Engineering Journal*. – 2023. – Т. 473. – DOI: 10.1016/j.cej.2023.144393.

-
15. Zhang W. Reaction Network and Byproduct Formation in Ethylene Oxychlorination on K-Doped CuCl₂/gamma-Al₂O₃ Catalyst // Industrial and Engineering Chemistry Research. – 2024. – DOI: 10.1021/acs.iecr.4c00875.

BIOLOGICAL AND PHARMACEUTICAL CHEMISTRY

Статья поступила в редакцию: 24.08.2026

Статья принята к публикации: 31.08.2026

Статья опубликована: 07.09.2026

УДК 615.322:543.544

Determination of water-soluble vitamins, flavonoids and amino acids in medicinal plants *Matricaria chamomilla*, *Sophora japonica*, *Mentha piperita* and *Juglans regia* by HPLC and study of acute toxicity in animals

Togayev Azizbek Aliyor ugli
lecturer

Department of Natural Sciences, Independent Researcher
Termez University of Economics and Service
Gulistan State University
Republic of Uzbekistan, Gulistan

Islomov Akmal Khushvaqovich
doctor of Chemical Sciences, Professor
A.S. Sodiqov Institute of Bioorganic Chemistry
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Определение водорастворимых витаминов, флавоноидов и аминокислот в лекарственных растениях *Matricaria chamomilla*, *Sophora japonica*, *Mentha piperita* и *Juglans regia* методом ВЭЖХ и изучение острой токсичности на животных

Тогаев Азизбек Алиёр угли
преподаватель

кафедра естественных наук, независимый исследователь Термезский университет
экономики и сервиса, Гулистанский государственный университет
Республика Узбекистан, г. Гулистан

Исломов Акмал Хушвакович
д-р хим. наук, проф.
Институт биоорганической химии имени А.С. Содикова
Республика Узбекистан, г. Ташкент

Библиографическое описание: Тогаев А.А.У., Исломов А.Х. Определение водорастворимых витаминов, флавоноидов и аминокислот в лекарственных растениях *Matricaria chamomilla*, *Sophora japonica*, *Mentha piperita* и *Juglans regia* методом ВЭЖХ и изучение острой токсичности на животных // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 9(147). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23360>

For citation: Togayev A.A.U., Islomov A.K. Determination of water-soluble vitamins, flavonoids and amino acids in medicinal plants *Matricaria chamomilla*, *Sophora japonica*, *Mentha piperita* and *Juglans regia* by HPLC and study of acute toxicity in animals // Universum: Chemistry and Biology : electronic scientific journal. 2026. No. 9(147). Available at: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23360>

Abstract

The study aimed to quantify water-soluble vitamins, flavonoids, and amino acids in medicinal plant materials of *Matricaria chamomilla*, *Sophora japonica*, *Mentha piperita*, and *Juglans regia* by high-performance liquid chromatography (HPLC), compare the obtained profiles, and assess the acute toxicity of the plant powders in laboratory animals. Vitamins B1, B2, B3, B6, B9, and C, together with dihydroquercetin, rutin, quercetin, salidroside, and rosavin, were determined. The amino-acid profile comprised 20 compounds and was analyzed using an Agilent 1260 II Infinity system equipped with a fluorescence detector (FLD). Acute toxicity was evaluated after a single intragastric administration of the samples to mice at doses of 2000 and 5000 mg/kg followed by 14 days of observation. No deaths were recorded in the tested groups. Total amino-acid contents were 46.912, 41.967, 45.962, and 36.981 mg/g for *Matricaria chamomilla*, *Sophora japonica*, *Mentha piperita*, and *Juglans regia*, respectively. Under the experimental conditions, LD50 exceeded 5000 mg/kg for the investigated powders. The findings characterize the chemical profiles of the studied raw materials and provide a basis for further comparative assessment of their quality and safety.

Аннотация

В исследовании проведено количественное определение водорастворимых витаминов, флавоноидов и аминокислот в лекарственном растительном сырье *Matricaria chamomilla*, *Sophora japonica*, *Mentha piperita* и *Juglans regia* методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), выполнено сравнение полученных профилей, а также оценена острая токсичность порошков исследуемых растений на лабораторных животных. Были определены витамины B1, B2, B3, B6, B9 и C, а также дигидрокверцетин, рутин, кверцетин, салидрозид и розавин. Аминокислотный профиль включал 20 соединений и анализировался с использованием системы Agilent 1260 II Infinity, оснащённой флуоресцентным детектором (FLD). Острую токсичность оценивали после однократного внутрижелудочного введения исследуемых образцов мышам в дозах 2000 и 5000 мг/кг с последующим наблюдением в течение 14 дней. Летальных исходов в исследуемых группах не зарегистрировано. Общее содержание аминокислот составило 46,912; 41,967; 45,962 и 36,981 мг/г для *Matricaria chamomilla*, *Sophora japonica*, *Mentha piperita* и *Juglans regia* соответственно. В условиях проведённого эксперимента значение LD50 для исследуемых порошков превышало 5000 мг/кг. Полученные результаты характеризуют химические профили изученного лекарственного растительного сырья и создают основу для дальнейшей сравнительной оценки его качества и безопасности.

Keywords: medicinal plants, *Matricaria chamomilla*, *Sophora japonica*, *Mentha piperita*, *Juglans regia*, HPLC, amino acids.

Ключевые слова: лекарственные растения, *Matricaria chamomilla*, *Sophora japonica*, *Mentha piperita*, *Juglans regia*, ВЭЖХ, аминокислоты.

Introduction

Matricaria chamomilla, *Sophora japonica*, *Mentha piperita* and *Juglans regia* are medicinal plants with diverse profiles of flavonoids, terpenoids, phenolic compounds and other bioactive constituents. Chamomile is characterized by flavonoids and related phenolic compounds [10, p. 1–8]. *Sophora japonica* is a source of flavonols and other biologically active compounds, with rutin among its characteristic constituents [2, p. 308–316]. Peppermint contains essential-oil components and polyphenolic compounds, while walnut raw materials contain phenolic compounds, flavonoids, naphthoquinones and other secondary metabolites [3, p. 612–616; 4, p. 1–27; 5, p. 1–36; 8, p. 2326–2331; 9, p. 6086–6092].

Juglans regia is of particular interest because green fruits and husks contain phenolic compounds and juglone, whose biological activity has been widely investigated [1, p. 1–14; 6, p. 1–17; 7, p. 1–22; 5, p. 1–36]. The chemical composition of all four plants can vary with plant organ, origin, developmental stage, drying and processing conditions. Therefore, comparative instrumental analysis is needed to characterize the chemical profiles of the selected medicinal raw materials under common analytical conditions.

The aim of this study was to determine water-soluble vitamins, selected flavonoids and bioactive compounds, and amino acids in *Matricaria chamomilla*, *Sophora japonica*, *Mentha piperita* and *Juglans regia* by HPLC, and to assess the acute toxicity of the corresponding plant powders in laboratory animals.

Peppermint is characterized by essential-oil components such as menthol and menthone, whereas its non-volatile fraction includes phenolic acids and flavonoids [3, p. 612–616; 4, p. 1–27]. Walnut raw materials contain phenolic acids, flavonoids and tannins, and their composition differs among leaves, husks and immature fruits [5, p. 1–36; 8, p. 2326–2331; 9, p. 6086–6092].

The selected plants therefore represent complementary chemical matrices. Their comparative analysis can reveal differences in water-soluble vitamins, selected flavonoids and amino-acid profiles that are not apparent from a single plant species. The present work combines these chemical measurements with an acute-toxicity assessment of the corresponding powders.

Main Chemical Markers

The main chemical markers of the four studied medicinal plants are summarized in Table 1. Chamomile is mainly associated with flavonoids and related phenolic compounds; *Sophora japonica* with flavonols; peppermint with monoterpenoids and phenolic acids; and green walnut with naphthoquinones and polyphenols [2, p. 308–316; 3, p. 612–616; 4, p. 1–27; 5, p. 1–36; 8, p. 2326–2331; 9, p. 6086–6092; 10, p. 1–8].

Table 1.

Main chemical markers of *Matricaria chamomilla*, *Sophora japonica*, *Mentha piperita*, and *Juglans regia*

Plant	Main chemical markers
Chamomile (<i>Matricaria chamomilla</i>)	apigenin, apigenin-7-glucoside, luteolin, quercetin, chlorogenic acid, bisabolol derivatives
Japanese pagoda tree (<i>Sophora japonica</i> / <i>Styphnolobium japonicum</i>)	rutin, quercetin, kaempferol, isorhamnetin

Plant	Main chemical markers
Peppermint (<i>Mentha piperita</i>)	menthol, menthone, menthyl acetate, menthofuran, rosmarinic acid
Green walnut (<i>Juglans regia</i>)	juglone, quercetin, kaempferol, phenolic acids, tannins, ascorbic acid

For chamomile, flavonoids and related phenolic compounds predominate; for Japanese pagoda tree, flavonols; for peppermint, monoterpenoids and phenolic acids; and for green walnut, naphthoquinones and polyphenols constitute the principal chemical groups [2, p. 308–316; 3, p. 612–616; 4, p. 1–27; 5, p. 1–36; 8, p. 2326–2331; 10, p. 1–8]. These differences provide the scientific basis for comparative chemical investigation of the four plants. A common feature of chamomile, Japanese pagoda tree, peppermint, and green walnut is their richness in polyphenolic metabolites. However, the composition and dominant components of these polyphenols differ among the plants. In chamomile, apigenin derivatives and chlorogenic acid [10, p. 1–8]; in Japanese pagoda tree, rutin and quercetin [2, p. 308–316]; in peppermint, rosmarinic acid and eriocitrin [4, p. 1–27]; and in green walnut, gallic and ellagic acids, flavonoids, and tannins [5, p. 1–36; 8, p. 2326–2331] are important components. Thus, their combination may produce a broad-spectrum extract containing phenolic compounds from different chemical classes.

Materials and Methods

Plant materials of *Matricaria chamomilla*, *Sophora japonica*, *Mentha piperita* and *Juglans regia* were analyzed by high-performance liquid chromatography (HPLC) for water-soluble vitamins, flavonoids, selected bioactive compounds and amino acids. The samples were dried, powdered and subjected to extraction as described below.

Determination of flavonoids and selected bioactive compounds. A 1.0 g portion of each powdered sample was accurately weighed into a 300 mL flat-bottom flask. Then 50 mL of 70 % ethanol was added. The mixture was equipped with a magnetic stirrer and reflux condenser and heated at 70 °C with intensive stirring for 1 h. The mixture was then stirred at room temperature for 2 h, allowed to stand and filtered. The residue was re-extracted twice with 25 mL of 70 % ethanol. The filtrates were combined and transferred to a 100 mL volumetric flask, and the volume was adjusted to the mark with 70 % ethanol. The resulting solution was centrifuged at 8000 rpm for 20 min, and the supernatant was used for analysis.

Flavonoids and selected bioactive compounds were determined by HPLC using an Agilent 1200 chromatograph equipped with an autosampler and diode-array detector (DAD). Separation was performed on an Eclipse XDB C18 reversed-phase column (5 µm, 4.6 × 250 mm). Identification was performed at 254 and 276 nm. The mobile phase consisted of phosphate buffer and acetonitrile at a flow rate of 0.8 mL/min. The gradient program was: 0–5 min, 95:5; 6–12 min, 70:30; 12–13 min, 50:50; 13–15 min, 95:5. The column temperature was 30 °C and the injection volume was 10 µL. Working standard solutions were injected first, followed by the prepared sample solutions.

Determination of water-soluble vitamins. Water-soluble vitamins were determined by HPLC. A 5–10 g portion of the sample was accurately weighed into a 300 mL flask, and 50 mL of 40 % ethanol was added. The mixture was equipped with a magnetic stirrer and reflux condenser and

heated with intensive stirring for 1 h, followed by stirring at room temperature for 2 h. The mixture was allowed to stand and filtered. The residue was re-extracted twice with 25 mL of 40 % ethanol. The combined filtrates were transferred to a 100 mL volumetric flask and diluted to the mark with 40 % ethanol. The solution was centrifuged at 7000 rpm for 10 min, and the supernatant was used for analysis. The working solutions of the water-soluble vitamin standards were prepared at a concentration of 1 mg/mL by accurately weighing 50.0 mg of each vitamin standard into a 50 mL volumetric flask, dissolving in 40 % ethanol and diluting to the mark. Literature data describe phosphate or acetate buffer systems and acetonitrile as eluents for HPLC determination of water-soluble vitamins; in the present study, an acetate buffer system and acetonitrile were used.

Vitamin analysis was performed on an Agilent 1200 chromatograph equipped with an autosampler and DAD. Separation was carried out on an Eclipse XDB C18 reversed-phase column (5 μ m, 4.6 $\times$ 250 mm). Detection was performed at 250 nm. The flow rate was 0.8 mL/min. The mobile phase consisted of acetate buffer and acetonitrile with the following gradient: 0–5 min, 96:4; 6–8 min, 90:10; 9–15 min, 80:20; 15–17 min, 96:4. The column temperature was 25 $^{\circ}$ C and the injection volume was 5 μ L. Working standard solutions were injected first, followed by the prepared sample solutions.

Determination of amino acids. For isolation of free amino acids, proteins and peptides in the aqueous sample extracts were precipitated in centrifuge vessels. For this purpose, 1 mL of the investigated sample was mixed with 1 mL of 20 % trichloroacetic acid (TCA). After 10 min, the precipitate was separated by centrifugation at 8000 rpm for 15 min. A 0.1 mL aliquot of the supernatant was collected and lyophilized. The hydrolysate was evaporated, and the dry residue was dissolved in a triethylamine-acetonitrile-water mixture (1:7:1) and evaporated. This operation was repeated twice to neutralize the acid. Phenylthiocarbamyl (PTC) derivatives of amino acids were prepared by reaction with phenyl isothiocyanate according to the method of Steven A. Cohen and Daviel. Identification of the amino-acid derivatives was performed by HPLC using an Agilent Technologies 1200 chromatograph equipped with a DAD detector and a Discovery HS C18 column (75 $\times$ 4.6 mm). Solution A consisted of 0.14 M CH₃COONa + 0.05 % triethylamine, adjusted to pH 6.4; solution B was CH₃CN. The flow rate was 1.2 mL/min and detection was performed at 269 nm. The gradient program (%B/min) was: 1–6 % at 0–2.5 min; 6–30 % at 2.51–40 min; 30–60 % at 40.1–45 min; 60–60 % at 45.1–50 min; 60–0 % at 50.1–55 min.

Acute toxicity. Acute toxicity was assessed in laboratory animals after a 10–14-day quarantine period. The animals used were white, outbred laboratory rats (*Rattus norvegicus*), predominantly males, with an initial body-weight range of approximately 180–200 g. Samples were administered once by gavage at 2000 and 5000 mg/kg, and control animals received an equivalent volume of purified water. Animals were monitored hourly on day 1 and daily for 14 days for general condition, activity, respiration, urination and body-weight changes. No mortality was observed during the observation period. The animal experiment was approved by the Ethics Committee for the in vivo Use of Laboratory Animals of the Institute of Bioorganic Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (Protocol No. 1, approved 4 January 2025).

Results and Discussion

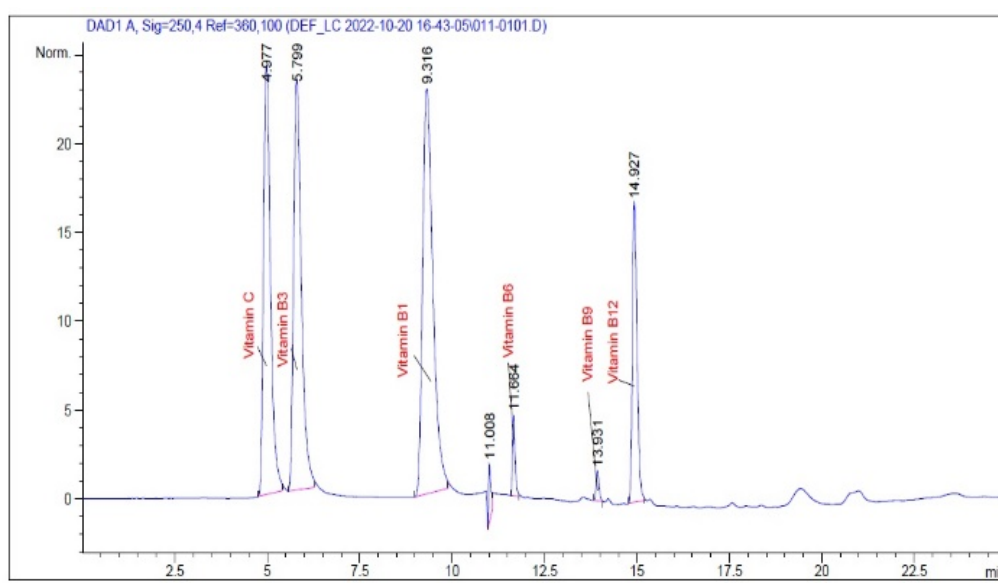


Figure 1. HPLC chromatogram of the water-soluble vitamin standard

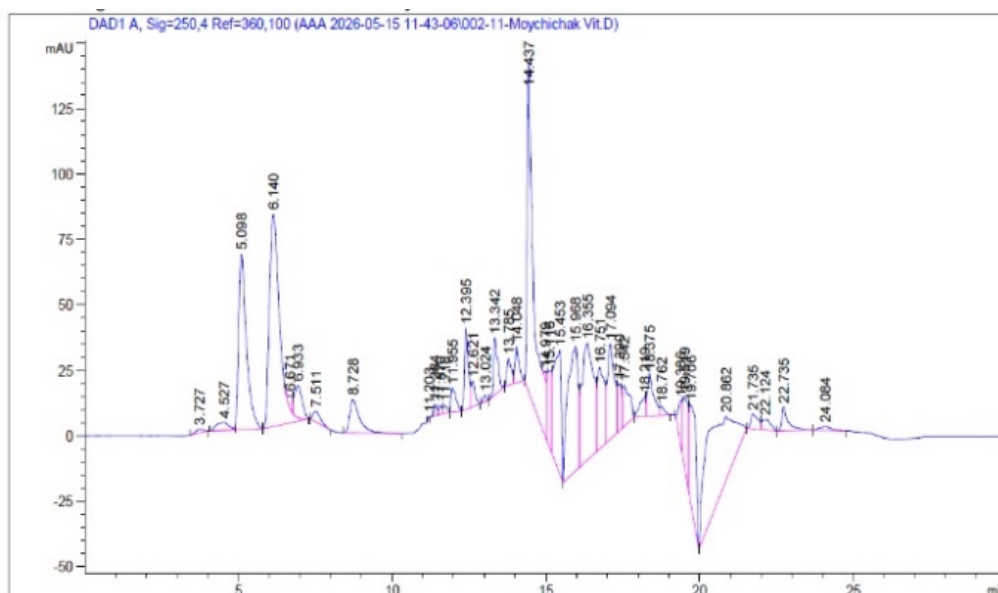


Figure 2. HPLC chromatogram of *M. chamomilla* for water-soluble vitamins

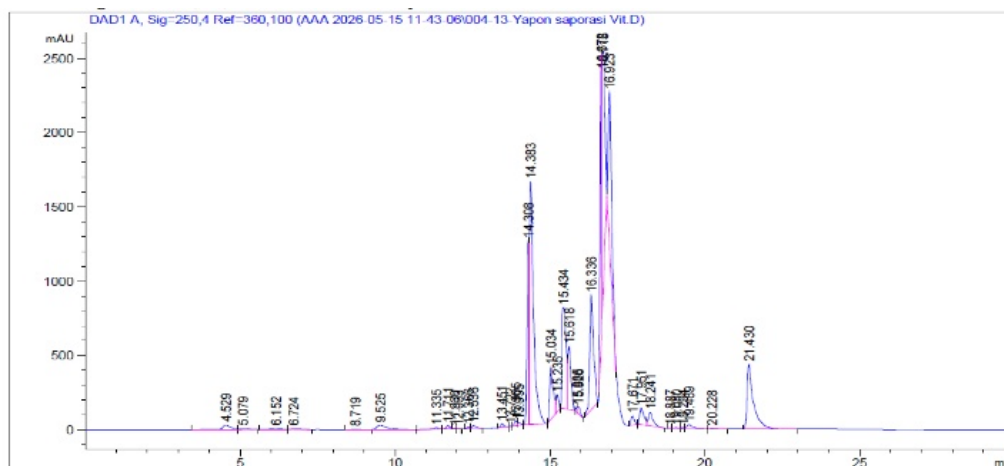


Figure 3. HPLC chromatogram of *S. japonica* for water-soluble vitamins

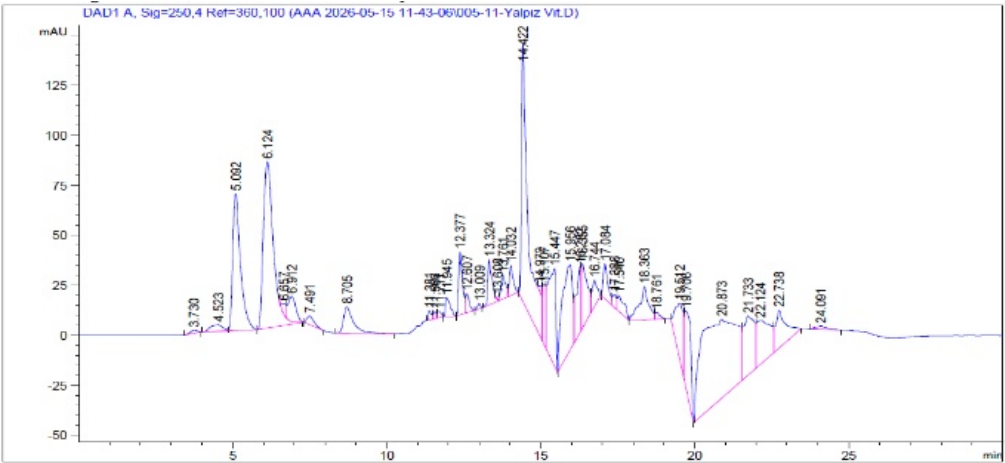


Figure 4. HPLC chromatogram of *M. piperita* for water-soluble vitamins

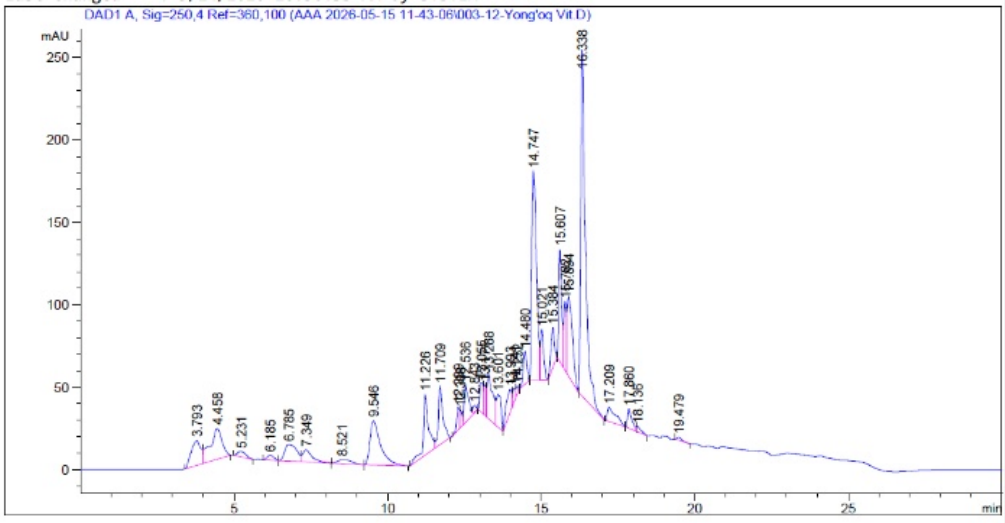


Figure 5. HPLC chromatogram of *J. regia* for water-soluble vitamins

Table 2.
Concentration of water-soluble vitamins in *Matricaria chamomilla*, *Sophora japonica*,
Mentha piperita, and *Juglans regia* (µg/g)

Vitamins	M. chamomilla	S. japonica	M. piperita	J. regia
	Concentration (µg/g)			
B ₁	0	28.56	0	9.61
B ₂	2.65	11.41	3.75	9.88
B ₃	0.65	0.81	0.59	0.29
B ₆	9.87	15.43	9.61	11.66
B ₉	19.32	6.55	17.66	8.88
C	42.56	68.26	39.65	19.88

Table 2 shows that *M. chamomilla* contained B₂ (2.65 µg/g), B₃ (0.65 µg/g), B₆ (9.87 µg/g), B₉ (19.32 µg/g) and C (42.56 µg/g); *S. japonica* contained B₁ (28.56 µg/g), B₂ (11.41 µg/g), B₃ (0.81 µg/g), B₆ (15.43 µg/g), B₉ (6.55 µg/g) and C (68.26 µg/g); *M. piperita* contained B₂ (3.75

$\mu\text{g/g}$), B3 (0.59 $\mu\text{g/g}$), B6 (9.61 $\mu\text{g/g}$), B9 (17.66 $\mu\text{g/g}$) and C (39.65 $\mu\text{g/g}$); and *J. regia* contained B1 (9.61 $\mu\text{g/g}$), B2 (9.88 $\mu\text{g/g}$), B3 (0.29 $\mu\text{g/g}$), B6 (11.66 $\mu\text{g/g}$), B9 (8.88 $\mu\text{g/g}$) and C (19.88 $\mu\text{g/g}$).

Determination of Flavonoids and Selected Bioactive Compounds by HPLC

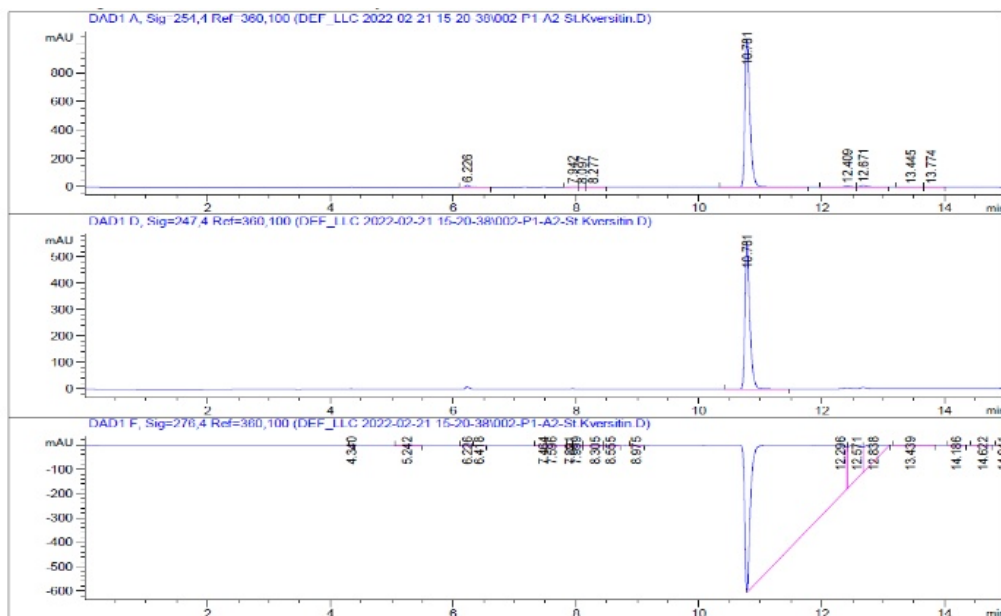


Figure 6. HPLC chromatograms of the flavonoid and bioactive-compound standard

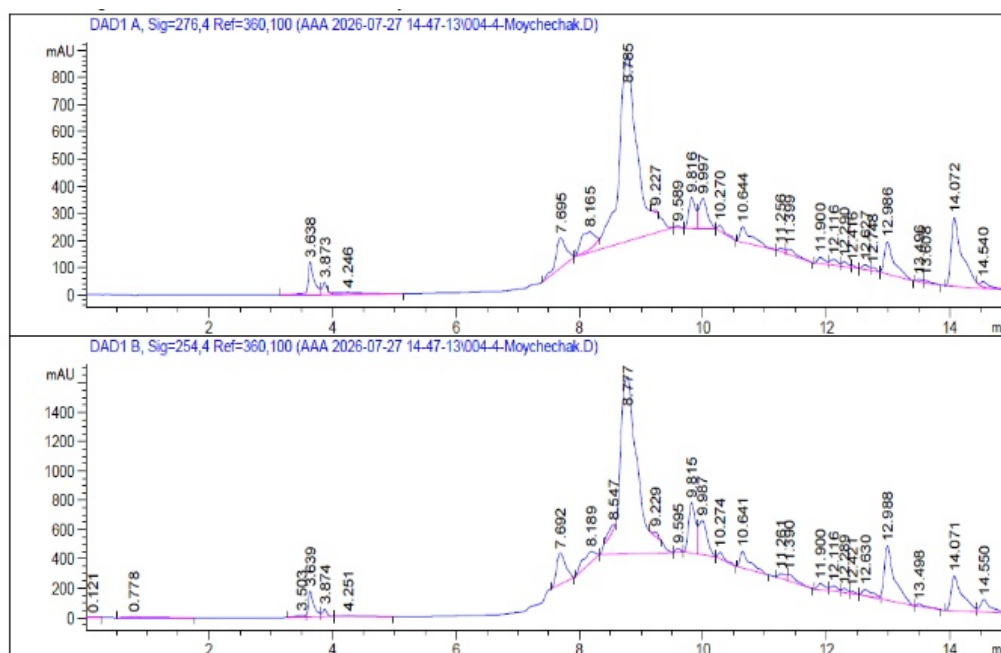


Figure 7. HPLC chromatograms of *M. chamomilla* for flavonoids and bioactive compounds

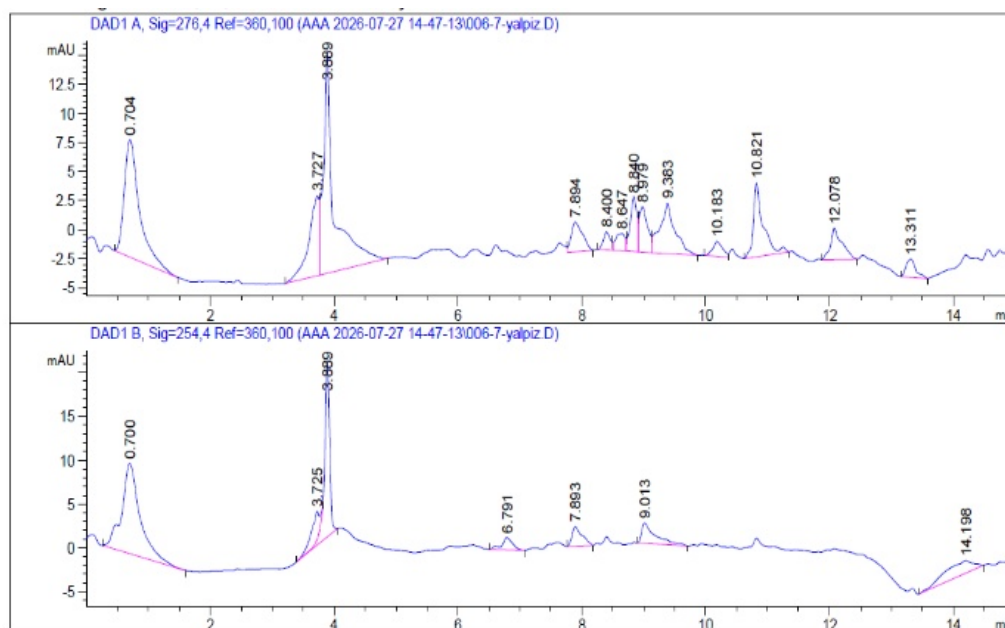


Figure 8. HPLC chromatograms of *S. japonica* for flavonoids and bioactive compounds

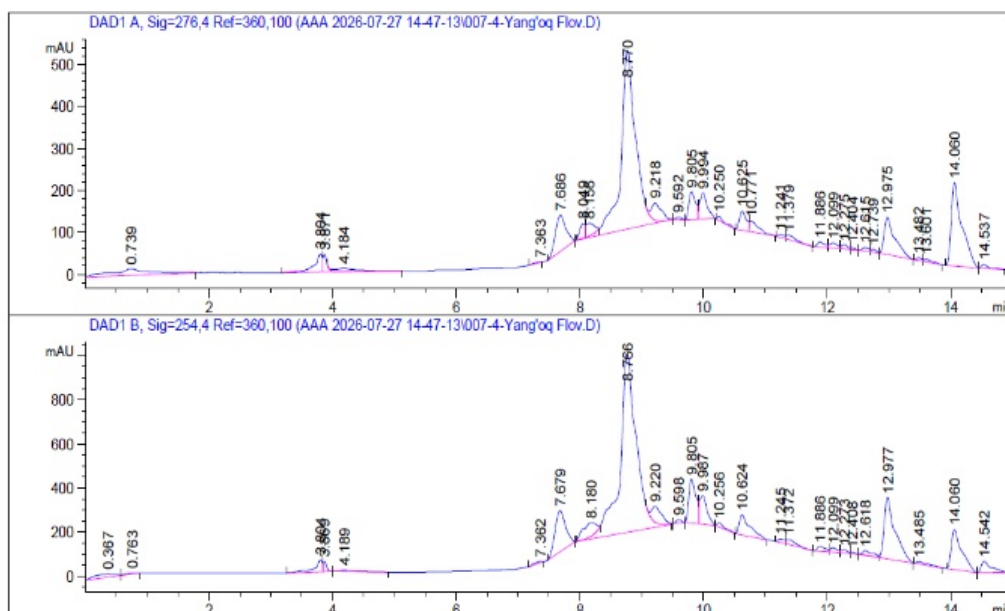


Figure 9. HPLC chromatograms of *M. piperita* for flavonoids and bioactive compounds

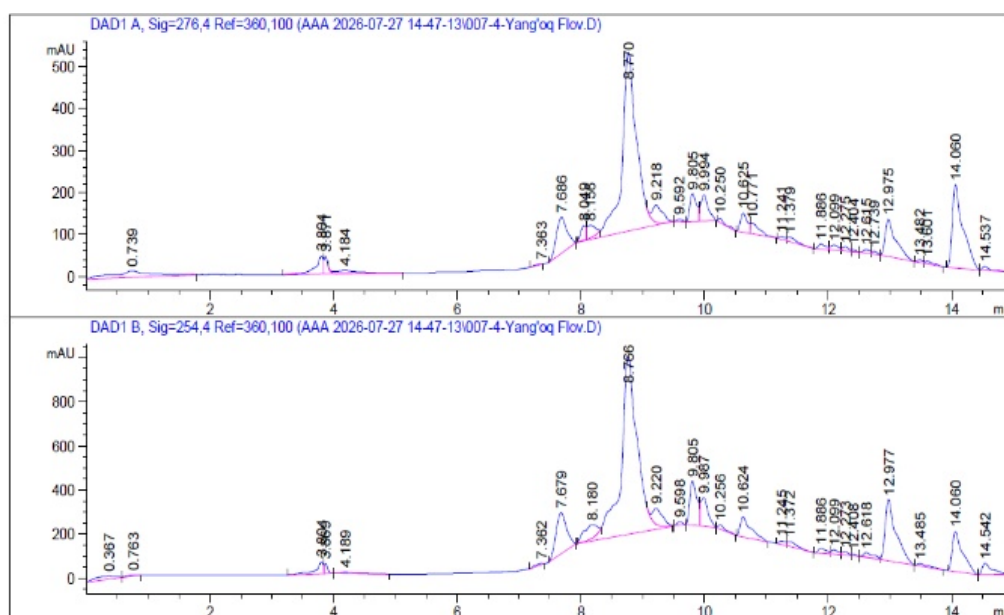


Figure 10. HPLC chromatograms of *J. regia* for flavonoids and bioactive compounds

Table 3.

Concentrations of identified flavonoids and selected bioactive compounds in *Matricaria chamomilla*, *Sophora japonica*, *Mentha piperita*, and *Juglans regia* (mg/g)

Compounds	M. chamomilla	S. japonica	M. piperita	J. regia
	Concentration (mg/g)			
Dihydroquercetin	52.55	5.98	3.83	41.3
Rutin	32.41	6.88	11.89	19.58
Quercetin	16.33	1.42	0.55	16.88
Salidroside	9.11	3.59	1.87	6.57
Rosavin	8.49	6.93	3.69	3.49

Table 3 shows that *M. chamomilla* contained dihydroquercetin (52.55 mg/g), rutin (32.41 mg/g), quercetin (16.33 mg/g), salidroside (9.11 mg/g) and rosavin (8.49 mg/g); *S. japonica* contained 5.98, 6.88, 1.42, 3.59 and 6.93 mg/g, respectively; *M. piperita* contained 3.83, 11.89, 0.55, 1.87 and 3.69 mg/g; and *J. regia* contained 41.3, 19.58, 16.88, 6.57 and 3.49 mg/g, respectively.

Determination of Amino Acids by HPLC

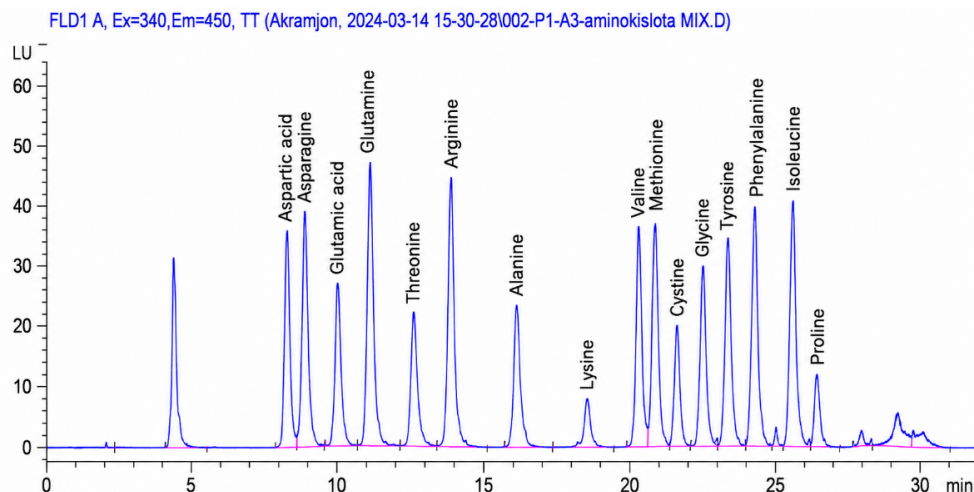


Figure 11. HPLC chromatogram of the amino-acid standard

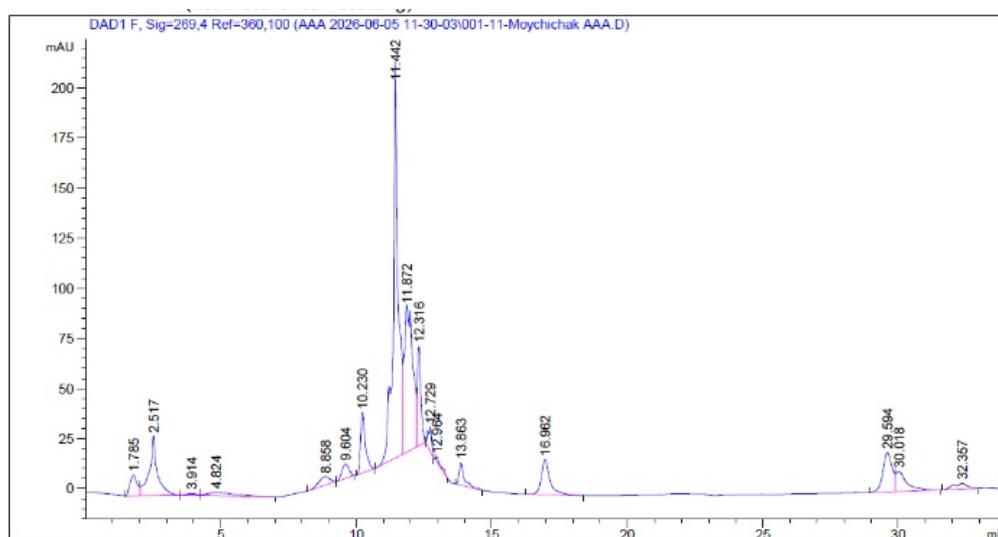


Figure 12. HPLC chromatogram of *M. chamomilla* for amino acids

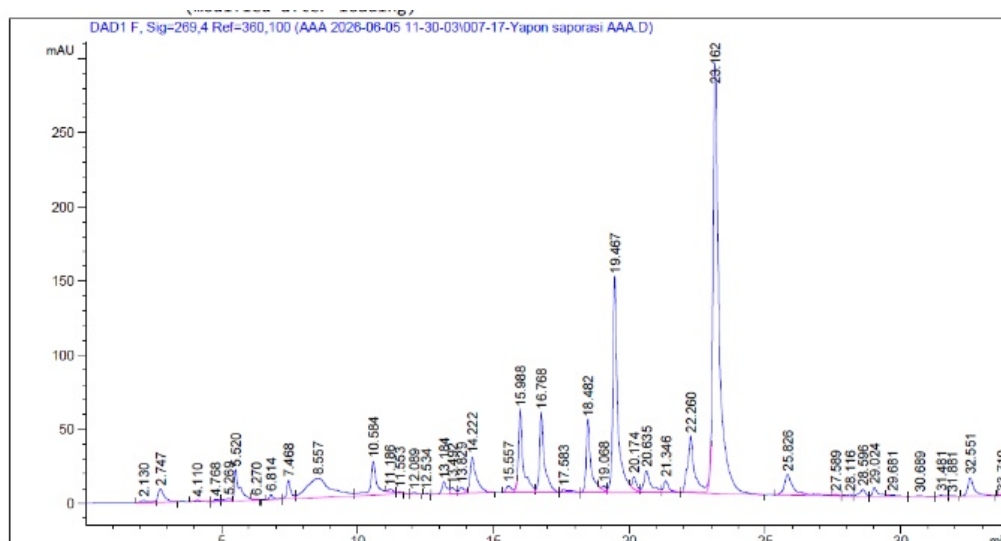


Figure 13. HPLC chromatogram of *S. japonica* for amino acids

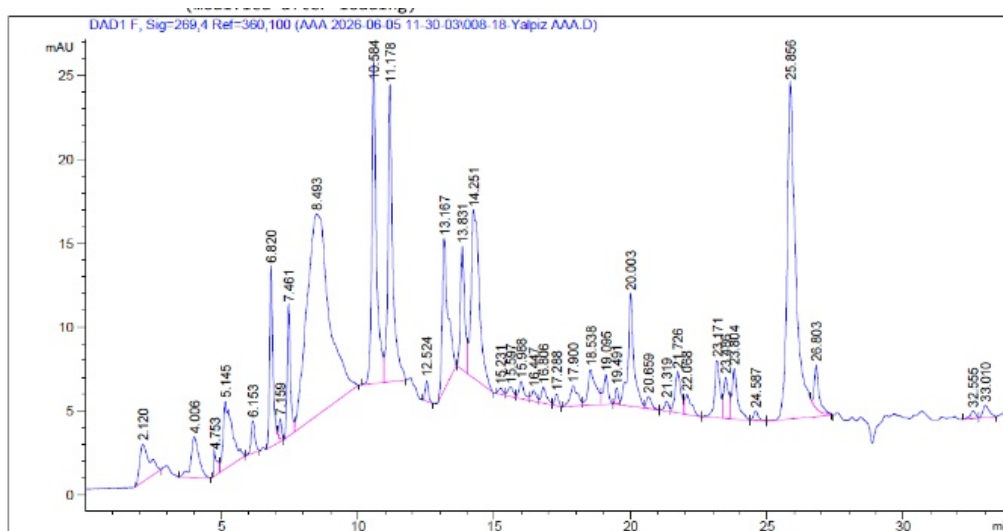


Figure 14. HPLC chromatogram of *M. piperita* for amino acids

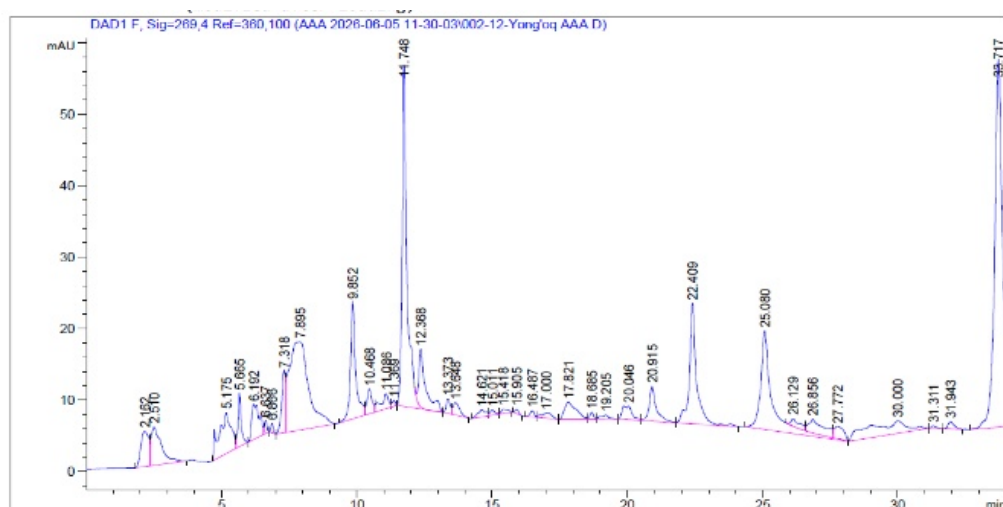


Figure 15. HPLC chromatogram of *J. regia* for amino acids

The results of the amino-acid determination in *Matricaria chamomilla*, *Sophora japonica*, *Mentha piperita*, and *Juglans regia* are presented in Table 4.

Table 4.

Amino-acid contents in *Matricaria chamomilla*, *Sophora japonica*, *Mentha piperita*, and *Juglans regia* (mg/g). The 20 detected amino acids had total contents of 46.912 mg/g in *M. chamomilla*, 41.967 mg/g in *S. japonica*, 45.962 mg/g in *M. piperita* and 36.981 mg/g in *J. regia*

No.	Amino acid	<i>M. chamomilla</i>	<i>S. japonica</i>	<i>M. piperita</i>	<i>J. regia</i>
1.	Aspartic acid	0.606	1.273	0.214	0.121
2.	Glutamic acid	0.805	0.774	0.554	1.746
3.	Serine	3.956	1.837	1.100	0.639
4.	Glycine	1.215	2.510	5.164	0.443
5.	Asparagine	2.440	5.073	11.636	0.897
6.	Glutamine	2.789	1.765	1.667	6.412
7.	Cysteine	5.963	5.254	1.627	10.522
8.	Threonine	0.786	1.219	1.789	1.241
9.	Arginine	1.934	4.395	8.340	0.775
10.	Alanine	0.297	0.334	3.841	0.942

No.	Amino acid	M. chamomilla	S. japonica	M. piperita	J. regia
11.	Proline	12.133	1.577	0.703	1.662
12.	Tyrosine	0.665	0.879	3.575	0.279
13.	Valine	3.107	0.774	1.294	2.103
14.	Methionine	0.469	0.330	0.419	2.582
15.	Histidine	3.912	5.201	1.279	0.353
16.	Isoleucine	1.267	1.517	0.223	1.318
17.	Leucine	2.125	2.894	0.238	2.775
18.	Tryptophan	1.692	2.396	0.199	1.418
19.	Phenylalanine	0.306	0.726	1.390	0.633
20.	Lysine	0.446	1.240	0.710	0.118
Total		46.912	41.967	45.962	36.981

Assessment of Acute Toxicity in Animals

Acute toxicity was evaluated in white, outbred laboratory mice (*Mus musculus*), predominantly males, with an initial body-weight range of 20–21 g after a 10–14-day quarantine period. Samples were administered once by gavage at 2000 and 5000 mg/kg. No mortality occurred during the 14-day observation period; only transient respiratory acceleration, huddling and eye narrowing were observed in mice at 5000 mg/kg. Body weight remained comparable with controls, and LD50 was >5000 mg/kg for the tested powders.

Table 5.

Acute toxicity parameters of *Matricaria chamomilla*, *Sophora japonica*, *Mentha piperita*, and *Juglans regia* powders in mice (n=5); dose values are expressed as 10³ mg/kg

Sample / dose	Sex	Dose, mg/kg, mL	Animals / deaths	Weight day 1(g)	Weight day 7(g)	Weight day 14(g)	LD50
Matricaria chamomilla	Mouse, male	2	5/0	20	22	25	>5000 mg/kg
		5	5/0	21	23	26	
Sophora japonica		2	5/0	20	22	25	
		5	5/0	21	23	26	
Mentha piperita		2	5/0	20	22	25	
		5	5/0	21	23	26	
Juglans regia		2	5/0	20	22	25	
		5	5/0	21	23	26	
Control (water)		0,5 ml	5/0	20	23	26	-

The amino-acid profiles were also distinct. *M. chamomilla* had the highest proline content (12.133 mg/g), *S. japonica* showed relatively high histidine and arginine values, *M. piperita* had the highest asparagine and arginine contents, and *J. regia* showed the highest glutamine and cysteine concentrations. Despite these differences, no mortality was observed at 2000 or 5000 mg/kg, and the estimated LD50 exceeded 5000 mg/kg. Taken together, the HPLC profiles and acute-toxicity data provide a concise comparative characterization of the four plant powders and identify the major chemical features that may be useful for subsequent quality-control studies.

Comparative analysis showed clear differences among the four plants. *S. japonica* had the highest vitamin B1 and vitamin C concentrations, whereas *M. chamomilla* and *M. piperita* contained no detectable B1 under the applied conditions. *M. chamomilla* showed the highest dihydroquercetin concentration (52.55 mg/g) and the highest rutin content among the studied plants, while *J. regia* also had high dihydroquercetin and quercetin values. These differences confirm that the chemical profile of the raw material is strongly plant-specific and support the need for separate standardization of each species.

The chromatographic results also indicate that the four plants cannot be treated as chemically interchangeable raw materials. For water-soluble vitamins, the highest vitamin C value was observed in *S. japonica* (68.26 µg/g), followed by *M. chamomilla* (42.56 µg/g), *M. piperita* (39.65 µg/g) and *J. regia* (19.88 µg/g). Vitamin B9 was relatively high in *M. chamomilla* and *M. piperita*, while B1 was detectable mainly in *S. japonica* and *J. regia*. These differences may be useful for distinguishing the samples during comparative quality assessment. The flavonoid and selected bioactive-compound profile showed a similarly pronounced species effect. Dihydroquercetin was highest in *M. chamomilla* (52.55 mg/g) and *J. regia* (41.3 mg/g), while rutin was highest in *M. chamomilla* (32.41 mg/g) and lower in the other samples. Quercetin reached 16.88 mg/g in *J. regia* and 16.33 mg/g in *M. chamomilla*. Salidroside and rosavin were detected in all four plants, but their concentrations differed, providing additional markers for comparative characterization. The amino-acid data demonstrated complementary patterns rather than a single dominant profile. *M. chamomilla* had a particularly high proline content, whereas *M. piperita* showed high asparagine and arginine values. *S. japonica* showed relatively high aspartic acid, asparagine, arginine and histidine, while *J. regia* was distinguished by glutamine and cysteine. Nevertheless, total amino-acid content remained within the measured range for all four plants, from 36.981 to 46.912 mg/g. The acute-toxicity experiment provided an additional safety characterization. At both tested doses, no mortality was observed in the mouse groups during the 14-day observation period. Transient effects in mice at 5000 mg/kg resolved within approximately 25–30 minutes, and body-weight reduction compared with controls was not observed. Under the conditions of the present experiment, the estimated LD50 therefore exceeded 5000 mg/kg. These observations complement the chemical profiling and provide a consistent basis for further standardization studies of the four medicinal plant powders.

From a quality-control perspective, the combined dataset is useful because each analytical group provides a different level of discrimination. The vitamin profile separates *S. japonica* from the other plants through its relatively high B1 and vitamin C concentrations, while the flavonoid profile distinguishes *M. chamomilla* and *J. regia* through their higher dihydroquercetin and quercetin values. The amino-acid profile adds another independent pattern: proline predominated in *M. chamomilla*, asparagine and arginine were comparatively high in *M. piperita*, and glutamine and cysteine were prominent in *J. regia*. Using these three groups together is therefore more informative than relying on a single marker. The results can serve as baseline comparative data for subsequent work on authentication, standardization and batch-to-batch quality assessment of the investigated raw materials. The acute-toxicity findings should be interpreted within the experimental conditions of the present study. They demonstrate the absence of mortality at the tested doses and support a

preliminary safety characterization, but they do not replace longer-term toxicity or pharmacological studies. This distinction is important when the plant powders are considered for further pharmaceutical or nutraceutical investigation.

Conclusion. The results demonstrated the presence of water-soluble vitamins, various bioactive compounds, and 20 amino acids in *Matricaria chamomilla*, *Sophora japonica*, *Mentha piperita*, and *Juglans regia*. The total amino-acid contents were 46.912, 41.967, 45.962, and 36.981 mg/g, respectively. No mortality was recorded at doses of 2000 and 5000 mg/kg in the acute toxicity tests; under the conditions of the experiment, LD50 was estimated to be >5000 mg/kg. These findings provide a basis for comparative characterization of the chemical composition and preliminary safety profile of the studied medicinal plant raw materials.

References

1. Ahmad T., Suzuki Y.J. Juglone in Oxidative Stress and Cell Signaling // *Antioxidants*. – 2019. – T. 8, № 4. – DOI: 10.3390/antiox8040091.
2. Dorman H.J.D., Deans S.G. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils // *Journal of Applied Microbiology*. – 2000. – T. 88.
3. Grigoleit H.G., Grigoleit P. Pharmacology and preclinical pharmacokinetics of peppermint oil // *Phytomedicine*. – 2005. – T. 12, № 8.
4. Hudz N., Kobylinska L., Pokajewicz K., Horčinová Sedláčková V., Fedin R., Voloshyn M., Myskiv I., Brindza J., Wieczorek P.P., Lipok J. *Mentha piperita*: Essential Oil and Extracts, Their Biological Activities, and Perspectives on the Development of New Medicinal and Cosmetic Products // *Molecules*. – 2023. – T. 28, № 21. – Art. 7444. – DOI: 10.3390/molecules28217444.
5. Jahanban-Esfahlan A., Ostadrahimi A., Tabibiazar M., Amarowicz R. A Comprehensive Review on the Chemical Constituents and Functional Uses of Walnut (*Juglans* spp.) Husk // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2019. – T. 20, № 16. – Art. 3920. – DOI: 10.3390/ijms20163920.
6. Kithi L., Lengyel-Kónya É., Berki M., Bujdosó G. Role of the Green Husks of Persian Walnut (*Juglans regia* L.)—A Review // *Horticulturae*. – 2023. – T. 9, № 7. – Art. 782. – DOI: 10.3390/horticulturae9070782.
7. Li B., Cui C., Zhang C., Liu J., Hao F., Han L., Bai C., Wei S. Traditional Applications, Ethnopharmacology, and Phytochemistry of Walnut Green Husk (*Juglans regia* L.): A Review // *Natural Product Communications*. – 2024. – T. 19, № 6. – DOI: 10.1177/1934578X241262156.
8. Oliveira I., Sousa A., Ferreira I.C.F.R., Bento A., Estevinho L., Pereira J.A. Total phenols, antioxidant potential and antimicrobial activity of walnut (*Juglans regia* L.) green husks // *Food and Chemical Toxicology*. – 2008. – T. 46, № 7. – DOI: 10.1016/j.fct.2008.03.017.
9. Pereira J.A., Oliveira I., Sousa A., Valentão P., Andrade P.B., Ferreira I.C.F.R., Ferreres F., Bento A., Seabra R., Estevinho L. Walnut (*Juglans regia* L.) leaves: phenolic compounds, antibacterial activity and antioxidant potential // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2007. – T. 55.

-
10. Xie X.-Y., Chen F.-F., Shi Y.-P. Simultaneous determination of eight flavonoids in the flowers of *Matricaria chamomilla* by high performance liquid chromatography // Journal of AOAC International. – 2014. – Т. 97, № 3. – DOI: 10.5740/jaoacint.13-029.

UNIVERSUM: ХИМИЯ И БИОЛОГИЯ

Электронный научный журнал

№ 9(147)

Сентябрь 2026 г.

Часть 2

Мнение авторов может не совпадать с позицией редакции.

Издание содержит научную информацию и в соответствии с ч. 4 ст. 1 Федерального закона от 29.12.2010 № 436-ФЗ «О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию» не подлежит классификации (маркировке) по возрастным категориям

Издательство ООО «Юниверсум»

Объём издания: 88 с.

Минимальные системные требования: процессор с частотой от 1,3 ГГц; ОЗУ от 512 МБ; программа для чтения PDF-файлов; доступ к сети Интернет

Дата размещения в сети Интернет: 07.09.2026

Журнал размещается в:

CYBERLENINKA

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
eLIBRARY.RU

Google
scholar

ULRICHSWEB
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

>BASE

СОЦИОНЕТ

OpenAIRE



[Registry of Open Access
Repositories \(ROAR\)](#)