

Information about the authors

Ardak Bissenbayevna Jumagazyieva* – PhD, Head of the Microbiology Laboratory, JSC «Scientific Center for anti-infectious drugs», Republic of Kazakhstan; e-mail: r_dawa@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8610-7321>.

Zhanar Alibayevna Iskakbayeva – Deputy Head of the Microbiology Laboratory JSC «Scientific Center for anti-infectious drugs», Republic of Kazakhstan; e-mail: zhanara_07_74@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7428-0074>.

Ulan Yerzhanuly Zhantikeyev – PhD-student of the Department of «Materials Science, Nanotechnology and Engineering Physics», Kazakh National Technical University after K.I. Satpaev, Republic of Kazakhstan; e-mail: nurlybekov.ulan@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1200-2340>.

Kalampyr Sunakbayeva Bexeitova – PhD, researcher of the Laboratory of Engineering Profile, Kazakh National Technical University after K.I. Satpaev, Republic of Kazakhstan; e-mail: kalampyr.bexeitovas@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5014-9407>.

Seitkhan Azat – Professor, Head of the Laboratory of Engineering Profile, Kazakh National Technical University after K.I. Satpaev, Republic of Kazakhstan; e-mail: s.azat@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9705-7438>.

Поступила в редакцию 06.01.2026

Поступила после доработки 03.03.2026

Принята к публикации 05.03.2026

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-1\(21\)-78](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-1(21)-78)

МРНТИ: 31.25.15



Н.Е. Жабаета^{1*}, Ш.Н. Жумагалиева¹, Ж.А. Абилов¹, А.Д. Газизов²

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби,

050040, Республика Казахстан, г. Алматы, проспект аль-Фараби, 71

²Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды

050060, Республика Казахстан, г. Алматы, проспект аль-Фараби, 75В

*e-mail: nurai_zhabaeva@mail.ru

БЕНТОНИТ И ГУМИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА: СОСТАВ, СВОЙСТВА И МЕДИЦИНСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Аннотация. В статье представлен систематический обзор состава, физико-химических свойств и биологической активности бентонитовых глин, включая бентониты Таганского месторождения, а также гуминовых веществ и их применения в медицине. Актуальность работы обусловлена уникальными адсорбционными и регенеративными свойствами этих природных материалов, что определяет их перспективность в детоксикации и терапии различных патологий. Проанализированы литературные данные о минералогическом составе бентонита (преимущественно монтмориллонита), его набухающих и сорбционных характеристиках, а также о химическом составе гуминовых и фульвокислот. Рассмотрены основные направления медицинского применения: бентонитовые энтеросорбенты для коррекции острых и хронических интоксикаций и диарей, наружные лекарственные формы (гели и мази) для заживления ожогов и ран, а также нутрицевтическое и иммуномодулирующее применение гуминовых веществ. Анализ экспериментальных и клинических данных свидетельствует о синергетическом эффекте совместного использования бентонита и гуминовых комплексов, проявляющемся в повышенной сорбционной способности, пролонгированном действии и снижении токсичности. Полученные данные демонстрируют научную значимость изучения взаимодействия этих природных компонентов и их фармакологического потенциала. Практическая ценность работы заключается в обосновании перспектив разработки природных энтеросорбентов и биологически активных добавок детоксикационного действия.

Ключевые слова: бентонит, монтмориллонит, Таганское месторождение, гуминовые вещества, гуминовые кислоты, адсорбция, энтеросорбент, детоксикация.

Введение

Бентонитовые глины и гуминовые вещества давно привлекают внимание исследователей как природные вещества с уникальными адсорбционными и биологическими свойствами. Восточно-Казахстанский регион, включая Таганское месторождение Зайсанской впадины, относится к числу наиболее изученных объектов смектитового сырья. По данным минералого-геохимических исследований, содержание монтмориллонита в продуктивных горизонтах достигает 90-98 %, что определяет высокие сорбционные и набухающие свойства глин [1-2]. Бентониты активно изучаются как низкочастотные сорбенты для очистки загрязнённой среды и в инженерных барьерах [3]. В медицине природные глины используются как энтеросорбенты и целебные «лечебные глины» (пелотерапия) при отравлениях, дисбактериозах, кожных заболеваниях и ранних инфекциях [4]. Параллельно растёт интерес к гуминовым веществам – натуральным полимерам из гумуса, известными своими антиоксидантными, противовоспалительными и иммуностимулирующими эффектами. Современные обзоры подчёркивают их потенциал в качестве нутрицевтиков и фармацевтических агентов для различных патофизиологических состояний [5]. В связи с этим целью настоящего обзора стало рассмотрение состава и свойств Таганского бентонита и гуминовых веществ, а также обобщение данных об их применении в медицине.

Состав и свойства бентонита.

Бентонит – природный неорганический полимер, содержащий глинистые минералы группы смектитов, который образуется в результате изменения вулканического пепла при его взаимодействии с водой. Термин «бентонит» был предложен W.C. Knight в 1898 году после выявления соответствующих глин в районе Форт-Бентона (окрестности Rock River, штат Вайоминг, США). Для бентонитовых глин характерны выраженные набухающие, адсорбционные и коллоидно-дисперсные свойства [6].

Бентонитовые глины широко распространены во многих странах мира, включая Россию, США, Францию, Германию, Японию и Венгрию. Казахстан также располагает значительными запасами бентонитового сырья, представляющего интерес для различных отраслей промышленности и медицины [7].

На территории Казахстана выявлен ряд месторождений бентонитовых глин, включая Шардаринское месторождение (Южный Казахстан), месторождения впадины Каракия на полуострове Мангышлак, Кушмурунское и Верхне-Убаганское месторождения (Костанайская область), а также Андреевское месторождение в области Жетысу. Кроме того, в восточных и южных регионах Казахстана распространены месторождения цеолитов. В Восточном Казахстане залежи природных алюмосиликатов Приманракской группы относятся к отложениям мелового и палеогенового возраста. В южной части Зайсанской впадины расположены Таганское, Манракское и Динозавровое месторождения бентонитов, а также Тайжугзенское месторождение цеолитов [8].

Природные бентонитовые глины и цеолиты Восточного Казахстана обладают рядом практических преимуществ, среди которых:

- высокие адсорбционные характеристики, подтверждённые результатами исследований;
- доступность сырьевой базы и близость к потребителям;
- сравнительно низкая себестоимость по отношению к реагентам, применяемым в технологиях очистки сточных вод;
- устойчивость к климатическим факторам при транспортировке, хранении и использовании.

Таганское месторождение бентонитов расположено на территории Восточно-Казахстанской области в пределах Зайсанской впадины. Геологоразведочные исследования показали, что глины данного месторождения относятся преимущественно к натриевым бентонитам и характеризуются высокой степенью дисперсности, значительной набухающей способностью и высоким содержанием обменных ионов натрия [2, 7, 9].

Для более полной оценки сырьевого потенциала бентонитовых глин необходимо учитывать различия в их минералогическом составе и физико-химических свойствах в различных регионах Казахстана. Сравнительный анализ глин различных месторождений показывает, что их свойства могут существенно различаться в зависимости от содержания смектитовой фазы, примесных минералов и состава обменных катионов. Так, бентониты

Таганского месторождения характеризуются высоким содержанием монтмориллонита и устойчивостью гидродисперсий, что обеспечивает формирование стабильных коллоидных систем и выраженные тиксотропные свойства суспензий [10-12].

В отличие от них, глины месторождений Келеса и Урангая могут содержать повышенные количества кварца и других минеральных примесей, что влияет на устойчивость водных дисперсий и их реологические свойства [10].

Для бентонитов Кызылординских месторождений характерна более выраженная склонность к седиментации, что связано с особенностями минералогического состава и природой обменных катионов. Эти различия оказывают влияние на сорбционные свойства глин и перспективность их использования при создании сорбционных материалов и медицинских технологий [10].

Таблица 1 – Сравнительная характеристика бентонитовых глин Казахстана [10-12]

Месторождение	Тип бентонита	Основные катионы	Минералогические особенности	Особенности гидродисперсий
Таганское	преимущественно щелочной	Na^+ , Ca^{2+}	высокое содержание монтмориллонита	высокая устойчивость и тиксотропия
Келес	смешанный	Ca^{2+}	присутствие кварца и примесей	склонность к осаждению
Урангай	смешанный	Ca^{2+}	вариабельный состав	менее стабильные дисперсии
Кызылординские месторождения	щелочноземельный	Ca^{2+} , Mg^{2+}	различное содержание смектитов	повышенная седиментация

Природный (необогатённый) бентонит является многокомпонентной минеральной системой и может содержать кварц, кристобалит, полевые шпаты, цеолиты и различные глинистые минералы. Основным компонентом бентонита является монтмориллонит – минерал диоктаэдрического типа, относящийся к группе смектитов. Именно монтмориллонит в значительной степени определяет набухание и адсорбцию бентонитовых глин. Для медицинских и фармацевтических целей, как правило, требуется очищенная (обогатённая) монтмориллонитовая фаза, которую получают путём соответствующей переработки природного бентонитового сырья [13]. Бентониты относятся к высокодисперсным системам; их состав в обобщённом виде может быть представлен формулой: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Структуру и физико-химические характеристики бентонитовых глин определяет монтмориллонит как основной порообразующий компонент. Минералы группы монтмориллонита (смектиты) проявляют ряд свойств, характерных для природных наноструктурированных частиц, что обусловлено их слоистой организацией и развитой поверхностью [14].

Монтмориллонит представляет собой слоистый алюмосиликат со структурой типа 2:1, в которой два тетраэдрических кремнекислородных слоя окружают один октаэдрический слой (алюминия/магния). В результате изоморфных замещений ($\text{Si}^{4+} \rightarrow \text{Al}^{3+}$ в тетраэдрических слоях и $\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Mg}^{2+}$ в октаэдрическом слое) формируется суммарный отрицательный заряд кристаллических пакетов. Этот заряд компенсируется межслоевыми катионами (например, Li^+ , Na^+ , Ca^{2+}), которые способны обмениваться на другие органические и неорганические катионы. Указанная особенность обуславливает гидрофильность, способность к набуханию и высокую адсорбционную активность монтмориллонита [13, 15].

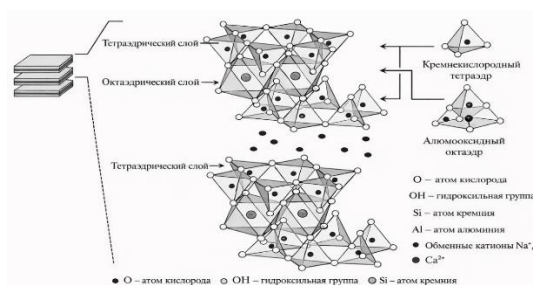


Рисунок 1 – Молекулярная (слоистая) структура монтмориллонита [16]

Свойства монтмориллонита существенно зависят от природы катионов межслоевого пространства (прежде всего Na^+ и Ca^{2+}). В промышленности широко распространены натриевая и кальциевая формы монтмориллонита, которые отличаются физико-химическими характеристиками и, соответственно, областями применения.

Натриевый монтмориллонит способен поглощать значительное количество воды и существенно увеличивать объём, проявляя высокую степень набухания. Благодаря выраженным коллоидно-реологическим свойствам он широко применяется в различных технологических процессах, включая буровые растворы и герметизирующие материалы [15].

Кальциевый монтмориллонит характеризуется меньшей набухающей способностью по сравнению с натриевой формой, однако может демонстрировать высокую адсорбционную активность по отношению к ряду растворённых соединений, что делает его перспективным компонентом сорбционных материалов, включая направления, связанные с детоксикационными технологиями [13, 17].

Классификация бентонитов по катионному составу, физико-химическим свойствам и направлениям применения приведена в таблице 2, что позволяет наглядно сопоставить основные типы бентонитовых глин и обосновать различия в их функциональном назначении.

Таблица 2 – Классификация бентонитов [18,19]

Тип бентонита	Химический состав	Физико-химические свойства	Области применения	Особенности
Щелочные бентониты	Монтмориллонит, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Многократное набухание в водных средах	Буровые растворы, связующие, катализаторы	Эффективны для получения энтеросорбентов
Щёлочноземельные бентониты	Монтмориллонит с высоким содержанием щёлочноземельных катионов Ca^{2+} и Mg^{2+}	Высокая адсорбционная и каталитическая активность	Фильтрация, очистка, рафинирование масел	Экологичность, высокая сорбционная ёмкость
Смешанные бентониты	Комбинация щелочных и щёлочноземельных катионов	Промежуточные свойства	Различные области в зависимости от состава	Сочетают свойства обеих групп

В соответствии с представленной классификацией Таганский бентонит относится преимущественно к щелочному типу бентонитовых глин, что определяет его высокую способность к набуханию, выраженные сорбционные свойства и значительную катионообменную ёмкость. Совокупность указанных характеристик делает данный вид бентонита перспективным для применения в медицинских и фармацевтических технологиях, включая разработку энтеросорбентов и биологически активных добавок детоксикационного действия.

Применение бентонита в медицине и фармации

Благодаря сочетанию высокой сорбционной способности, ионообменных свойств и биосовместимости бентонит получил широкое распространение в медицинской практике. Одним из наиболее изученных направлений является использование бентонита в качестве энтеросорбента для детоксикации организма при острых и хронических интоксикациях различного происхождения, включая пищевые отравления, микотоксикозы и воздействие тяжёлых металлов [4, 19].

Пероральное применение бентонита основано на его способности связывать токсичные вещества непосредственно в желудочно-кишечном тракте, предотвращая их всасывание в системный кровоток. Экспериментальные и прикладные исследования показали, что монтмориллонит эффективно адсорбирует микотоксины, бактериальные эндотоксины, вирусные частицы, а также ионы тяжёлых металлов, что делает его перспективным средством профилактики и коррекции интоксикационных состояний [20, 21].

Сорбционные свойства монтмориллонита по отношению к микотоксинам обусловлены его слоистой структурой типа 2:1, наличием отрицательного заряда слоёв и межслоевых обменных катионов, что определяет высокую удельную поверхность и катионообменную способность минерала. Взаимодействие микотоксинов с природным и модифицированным монтмориллонитом реализуется через совокупность физико-химических механизмов, вклад которых зависит от природы токсина и способа модификации глины. В частности, связывание

микотоксинов может происходить за счёт электростатических взаимодействий, водородных связей, гидрофобных эффектов, а также фиксации молекул на поверхности и в межслоевом пространстве минерала (интеркаляция). В результате снижается биодоступность токсинов в желудочно-кишечном тракте. Таким образом, монтмориллонит рассматривается как перспективный природный и модифицируемый сорбент для связывания микотоксинов [22].

Экспериментальные исследования также подтверждают высокую эффективность монтмориллонитовых глин при связывании различных микотоксинов. Показано, что кальциевая форма монтмориллонита способна эффективно адсорбировать афлатоксин В₁ в желудочно-кишечном тракте, снижая его биодоступность и токсическое воздействие на организм. Механизм защитного действия основан на адсорбции молекул токсина на активных поверхностях и в межслоевом пространстве минерала, что приводит к уменьшению концентрации свободного афлатоксина в кишечнике и снижению его всасывания в системный кровоток. Установлено, что модификация монтмориллонита органическими соединениями, такими как L-карнитин и холин, позволяет значительно повысить сорбционную ёмкость глины по отношению к афлатоксину. Частичная замена межслоевых катионов изменяет полярность поверхности минерала и создаёт более благоприятные условия для взаимодействия с гидрофобными молекулами токсина, что повышает эффективность его связывания [23].

Помимо микотоксинов, монтмориллонитовые глины проявляют высокую эффективность при связывании цианобактериальных токсинов. Установлено, что как кальциевые, так и натриевые формы монтмориллонита способны эффективно адсорбировать микоцистин (MC-LR). Процесс адсорбции хорошо описывается моделью Лэнгмюра, что свидетельствует о наличии ограниченного числа активных центров связывания на поверхности минерала. Основными механизмами взаимодействия являются электростатические взаимодействия и образование водородных связей между функциональными группами токсина и активными центрами монтмориллонита [24].

Биологические испытания на модельных организмах (*Hydra vulgaris*, *Lemna minor* и *Caenorhabditis elegans*) показали, что добавление небольших количеств монтмориллонитовых глин (0,05-0,1%) в среду значительно снижает токсическое действие микоцистина, обеспечивая защитный эффект до 60–80 %. Полученные результаты подтверждают перспективность применения монтмориллонитовых сорбентов для детоксикации природных токсинов [24].

Экспериментальные исследования подтверждают эффективность монтмориллонита в качестве энтеросорбента при интоксикациях металлами. В экспериментальной модели острой интоксикации железом у крыс интоксикацию моделировали пероральным введением сульфата железа (FeSO₄) в дозе 100 мг/кг массы тела. После этого животным вводили суспензию монтмориллонита перорально в дозах 0,5; 1,0 и 1,5 г/кг. Через 1 час после введения монтмориллонита определяли концентрацию железа в сыворотке крови. Установлено, что введение монтмориллонита в дозах 0,5 и 1,0 г/кг приводит к статистически значимому снижению уровня железа в сыворотке крови по сравнению с контрольной группой. Полученный эффект объясняется адсорбцией ионов Fe²⁺ на поверхности монтмориллонита и ионообменными процессами в желудочно-кишечном тракте, а также образованием защитного сорбционного слоя на слизистой оболочке кишечника, препятствующего всасыванию железа. Таким образом, монтмориллонит может рассматриваться как перспективный энтеросорбент для детоксикации при острых интоксикациях железом [25].

Особое место в клинической практике занимают препараты диоктаэдрического смектита, широко применяемые для лечения диареи различной этиологии. Установлено, что использование смектитсодержащих энтеросорбентов способствует снижению частоты и продолжительности диарейного синдрома, восстановлению защитного слизистого слоя кишечника и нормализации функции желудочно-кишечного тракта [26]. Эти препараты характеризуются высоким профилем безопасности и могут применяться как у взрослых, так и у детей.

Диосмектит относится к природным алюмосиликатным минералам группы смектитов и характеризуется высокой адсорбционной активностью, обусловленной его слоистой структурой и развитой удельной поверхностью. Благодаря этим свойствам он способен эффективно связывать бактерии, вирусы и их токсины, а также адсорбировать значительное количество воды и электролитов в желудочно-кишечном тракте. Установлено, что диосмектит

усиливает барьерные свойства слизистой оболочки кишечника, стабилизирует мукозный слой и способствует защите эпителиальных клеток от повреждающего действия патогенных факторов. Клинические исследования и метаанализы показывают, что применение диосмектита приводит к сокращению продолжительности диареи, уменьшению частоты и объёма стула, а также ускоряет восстановление функций желудочно-кишечного тракта. При этом препарат характеризуется хорошей переносимостью и высоким профилем безопасности, что подтверждает целесообразность его применения в комплексной терапии кишечных расстройств [27-29].

Особый интерес представляет использование бентонита и бентонитовых комплексов при лечении ожоговых поражений кожи. Экспериментальные модели показали, что бентонит оказывает выраженное регенеративное действие, ускоряя процессы эпителизации и восстановления дермальных структур. Бентонитовый комплекс обладает выраженным противовоспалительным действием. В тканях ожоговых ран отмечено статистически значимое снижение экспрессии провоспалительных цитокинов (IL-1 β , TNF- α), а также ингибирование сигнального пути COX-2/PGE₂, играющего ключевую роль в поддержании воспалительной реакции. При этом уровень противовоспалительного цитокина IL-10, напротив, возрос. Полученные данные указывают на то, что бентонит оказывает не только физико-адсорбционное, но и биологически активное противовоспалительное воздействие на клеточном уровне. [30]. Наружное применение бентонита основано на его способности адсорбировать экссудат, микроорганизмы и продукты воспаления. Бентонитовые гели, пасты и мази образуют на поверхности кожи защитный сорбционный слой, который снижает выраженность воспалительной реакции и создаёт благоприятные условия для репаративных процессов в тканях [30,31].

В последние годы активно развиваются исследования, направленные на создание полимерно-глинистых нанокомпозитов с использованием бентонита. В таких системах бентонит выполняет функцию не только сорбента, но и структурообразующего компонента, повышающего механическую прочность и стабильность лекарственных форм [32].

Современные системы доставки лекарственных веществ, в которых монтмориллонит – основной минералогический компонент бентонита – используется в сочетании с биосовместимыми полимерными матрицами, включая альгинат, хитозан, поливиниловый спирт и желатин. Показано, что формирование полимерно-глинистых гидрогелей и плёночных материалов обеспечивает эффективное включение лекарственных веществ за счёт процессов адсорбции, интеркаляции и иммобилизации в структуре композита. Установлено, что присутствие бентонита в полимерной матрице приводит к замедлению диффузии активных компонентов и позволяет целенаправленно регулировать кинетику их высвобождения. Данный эффект обусловлен ионообменными и сорбционными взаимодействиями между лекарственным веществом и монтмориллонитом, а также усложнением диффузионного пути внутри полимерно-глинистой структуры. В результате такие системы рассматриваются как перспективные основы для разработки лекарственных форм с контролируемым высвобождением [13, 33]. Полимерно-бентонитовые системы рассматриваются как перспективные носители для локальной доставки противовоспалительных, антимикробных и регенеративных препаратов. Такие системы находят применение в лечении ран, ожогов и хронических дерматологических заболеваний [33].

Несмотря на значительное количество исследований, посвящённых применению бентонита в медицине и фармации, перспективным направлением остаётся создание новых композиционных материалов на его основе с использованием природных биологически активных соединений. В частности, сочетание бентонита с гуминовыми веществами может привести к формированию функциональных сорбционных систем с улучшенными детоксикационными и биологическими свойствами. Однако данные о таких композициях остаются ограниченными, что обуславливает актуальность дальнейших исследований в данном направлении.

Гуминовые вещества: химический состав и свойства

Гуминовые вещества (ГВ) представляют собой сложную группу природных высокомолекулярных органических соединений, образующихся в результате процессов гумусообразования при биохимическом разложении растительных и животных остатков. Они широко распространены в почвах, торфяниках, бурых углях, сапропелях и природных водах и

играют ключевую роль в регуляции биогеохимических процессов и биологической активности природных систем [34].

Гуминовые вещества подразделяются на три основные группы: гуминовые кислоты – соединения с высоким молекулярным весом, содержащие карбоксильные ($-\text{COOH}$) и фенольные ($-\text{OH}$) группы, нерастворимые в воде, но растворимые в кислых или щелочных растворах; фульвокислоты (ФК) – низкомолекулярные, кислородсодержащие и высокобиоактивные соединения, растворимые в воде во всём диапазоне pH; и гумины (Г) – наиболее устойчивые и плохо растворимые компоненты, широко представленные в почвах и содержащие азот, серу и микроэлементы. Средний элементный состав гуминовых веществ характеризуется содержанием углерода 50-60%, водорода 3-6%, кислорода 30-40% и азота 1-5%, а также присутствием минеральных компонентов, таких как кальций, магний, калий и железо. Гуминовые вещества представляют собой высокомолекулярные гетерогенные соединения, формирующиеся в ходе биохимического окисления и гумфикации природного органического вещества [35].

Гуминовые вещества встречаются в различных природных источниках, включая почвы, торфяники, пелоиды и бурые угли. Их химический состав и физико-химические свойства могут существенно различаться в зависимости от геологического происхождения сырья. В научной литературе описаны гуминовые вещества, выделенные из различных природных источников и месторождений, включая пелоиды озера Тузколь, бурые угли Кендирликского, Кумускудукского и Ой-Карагайского месторождений, а также угли Кузнецкого бассейна [36-39].

Сравнительная характеристика гуминовых веществ из различных источников представлена в таблице 3. Как следует из данных, несмотря на сходную структурную организацию и наличие карбоксильных, фенольных и других кислородсодержащих функциональных групп, их содержание, молекулярная структура и реакционная способность могут различаться в зависимости от типа исходного сырья и условий формирования. Эти различия определяют вариативность сорбционных, ионообменных и биологически активных свойств гуминовых веществ.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика гуминовых веществ различных месторождений

Месторождение	Тип природного сырья	Основные характеристики гуминовых веществ	Основные свойства	Источник
Тузколь (Алматинская область, Казахстан)	Пелоиды (лечебные грязи)	Гуминовые вещества представлены гуминовыми и фульвокислотами, содержащими карбоксильные и фенольные функциональные группы	Антиоксидантная активность, биологическая активность, сорбционные свойства	[36]
Кендирликское месторождение (Восточный Казахстан)	Бурый уголь	Высокое содержание гуминовых кислот, развитая ароматическая структура макромолекул	Сорбционная активность, способность к комплексообразованию с ионами металлов	[37]
Кумускудукское месторождение (Карагандинская область Казахстан)	Бурый уголь	Гуминовые вещества с развитой системой кислородсодержащих функциональных групп	Ионообменные и сорбционные свойства, способность связывать тяжелые металлы	[38]
Кузнецкое месторождение (Кемеровская область, Россия)	Бурый уголь	Гуминовые кислоты с выраженной макромолекулярной структурой и высоким содержанием функциональных групп	Высокая реакционная способность, сорбционные и комплексообразующие свойства	[38]
Ой-Карагайское месторождение (Алматинская область, Казахстан)	Бурый уголь	Гуминовые кислоты с ароматическими структурами и кислородсодержащими функциональными группами	Сорбционные и ионообменные свойства	[39]

Как следует из представленных данных, гуминовые вещества различных месторождений обладают сходной структурной организацией и характеризуются наличием карбоксильных, фенольных и других кислородсодержащих функциональных групп. Вместе с тем их содержание, молекулярная структура и реакционная способность могут изменяться в зависимости от типа исходного сырья и условий его формирования. Это определяет различия в сорбционных, ионообменных и биологически активных свойствах гуминовых веществ.

Применение гуминовых веществ в медицине

Разнообразие эффектов ГВ нашло отражение в медицинской практике и биологически активных добавках (БАД). В настоящее время ГК и ФК используются как нутрицевтики и адаптогены для улучшения обмена веществ, детоксикации и иммунной поддержки. Их вводят в состав пищевых добавок с целью стимуляции иммунитета и снятия окислительного стресса (надёжно повышая антиоксидантную защиту организма) [40]. При наличии заболеваний ЖКТ рекомендуют ГВ в виде пероральных препаратов: они нормализуют микробиоту и укрепляют слизистую желудочно-кишечного тракта. Так, на модельном эксперименте было показано, что лечение гуминовыми кислотами облегчает колит у мышей, восстанавливая повреждённую слизистую, снижая воспаление и нормализуя микробиоценоз кишечника [41].

В последние годы особое внимание уделяется применению гуминовых веществ в составе наружных лекарственных форм, что связано с их выраженными противовоспалительными и регенеративными свойствами. Впервые экспериментально оценена эффективность гуминовой кислоты в заживлении ран слизистой оболочки полости рта. Исследование выполнено на модели стандартных эксцизионных ран нёба у крыс линии Wistar, где гуминовую кислоту сравнивали с физиологическим раствором и хлоргексидина глюконатом как традиционным антисептическим средством. Гуминовую кислоту наносили местно в дозе 80 мг/кг ежедневно в течение семи дней с последующим наблюдением в течение трёх недель. Оценку эффективности проводили с использованием морфометрического анализа площади раны и гистологического исследования тканей на различных этапах заживления. Результаты показали, что гуминовая кислота достоверно ускоряет закрытие раневой поверхности уже на первой и второй неделях по сравнению с контрольной группой. На третьей неделе заживление в группе гуминовой кислоты было значительно более выраженным не только по сравнению с физиологическим раствором, но и по сравнению с хлоргексидином. Гистологически это проявлялось снижением выраженности воспалительной инфильтрации, формированием зрелой грануляционной ткани и полноценной эпителизацией раневой поверхности. Авторы связывают выявленный эффект с сочетанием антибактериальных и противовоспалительных свойств гуминовой кислоты, а также её способностью модулировать процессы регенерации тканей [42].

Результаты подтверждают целесообразность использования гуминовых веществ в составе наружных лекарственных форм и согласуются с данными, свидетельствующими о широком применении гуминовых и фульвокислот в виде гелей, кремов и мазей при воспалительных и аллергических поражениях кожи, включая дерматиты, экзему, псориаз и акне. Известно, что фульвокислотосодержащие препараты способствуют ускорению заживления ран, уменьшению зуда и гиперемии, что связывают с их противовоспалительным и регенеративным действием. В экспериментах *in vitro* на линии человеческих кератиноцитов показано, что предварительное воздействие гуминовых кислот снижает экспрессию провоспалительных цитокинов IL-1 β и IL-6 и повышает жизнеспособность клеток при воспалительном стрессе, индуцированном урбанистическими загрязнителями. Установлено, что биологическая активность гуминовых кислот определяется их молекулярным составом и конформационной организацией, что обосновывает перспективы их применения в дерматологии в качестве природных противовоспалительных и защитных средств [43].

Некоторые гуминовые препараты вводят инъекционно, в первую очередь при аутоиммунных и воспалительных заболеваниях суставов. Экспериментальные исследования показали, что гуминовые кислоты обладают выраженным противовоспалительным и иммуномодулирующим действием при аутоиммунных патологиях. В работе, выполненной на модели адьювантно-индуцированного полиартрита у крыс, установлено, что развитие воспаления сопровождается лейкоцитозом, повышением уровня провоспалительных цитокинов и нарушением соотношения Т-лимфоцитарных субпопуляций. Введение гуминовых кислот приводило к снижению выраженности системного воспаления,

нормализации иммунологических показателей и восстановлению баланса клеточного иммунитета [44].

Помимо терапевтических форм, гуминовые вещества используются в фармацевтических препаратах в качестве вспомогательных веществ. Благодаря своему полисахаридоподобному строению и поверхностно-активным свойствам гуминовые вещества применяются при разработке лекарственных носителей. Показано, что гуминовые кислоты могут наноситься на поверхности полимеров для получения наночастиц лекарственных препаратов. Полученные наночастицы гуминовых кислот проявляют фунгицидную активность и представляют интерес для применения в косметической и фармацевтической промышленности. В работе [45] показана возможность получения pH-чувствительных наночастиц на основе гуминовых кислот путём контролируемой протонизации их функциональных групп. Установлено, что изменение кислотности среды приводит к формированию коллоидно стабильных частиц наноразмерного диапазона, биологическая активность которых существенно зависит от конформационного состояния и поверхностного заряда. Экспериментально доказано, что протонированные формы гуминовых кислот проявляют выраженную противогрибковую активность, что подтверждает перспективность использования модифицированных гуминовых кислот в качестве основы для разработки наружных и наноструктурированных лекарственных форм с антимикробным и дерматологическим действием.

В фармацевтической отрасли ГВ рассматриваются как функциональные ингредиенты для создания новых форм лекарств. Благодаря их стабилизирующим, детоксицирующим и мембраностабилизирующим свойствам, создаются препараты на основе гуматов для местного и системного применения. Например, существуют фармпрепараты с гуматами натрия и калия для терапии желудочно-кишечных заболеваний и дерматозов (снимая воспаление и убирая отёк). В состав некоторых БАДов для людей входят экстракты лигнитов и сапропелей как источники гуминовых кислот.

Поскольку гуминовые вещества обладают профилактическим и терапевтическим потенциалом в отношении широкого спектра заболеваний, в настоящее время на рынке представлен ряд пищевых добавок на их основе, предназначенных для применения у человека (см. таблицу 4). Наиболее распространённой формой таких добавок являются капсулы, однако также применяются суспензии, характеризующиеся более высокой биодоступностью и обеспечивающие более удобное введение активных компонентов.

Таблица 4 – Биологически активные добавки на основе гуминовых веществ и их формы выпуска [35]

Название продукта	HA (мг)	FA (мг)	Hu (мг)	Форма применения	Назначение (по данным производителя)	Производитель
Detox Fulvic/Humic Foot Soak	800	50	-	порошок	Детоксикация; минеральная поддержка; уход за кожей	The Natural Edge
Fulvic/Humic Minerals, Inner Vitality	2.2	8.3	-	суспензия	Поддержка желудочно-кишечного тракта; иммуномодулирующее и детоксикационное действие	Morning Star Minerals
HUMAC® Nativ	460	-	180	капсула	Сорбция токсинов; антиоксидантное действие; восполнение микроэлементов	HUMAC®
HUMINIQUM Sirup	20	48	-	сироп	Антиоксидантное и детоксикационное действие; иммунная поддержка	HYMATO PRODUCTS Kft.

Примечание – HA (humic acids) – гуминовые кислоты; FA (fulvic acids) – фульвокислоты; Hu (humins) – гумины.

Совместное применение бентонита и гуминовых веществ в медицине

Совместное применение бентонита и гуминовых веществ представляет значительный интерес для медицинских и фармацевтических исследований, поскольку данные природные компоненты обладают комплементарными физико-химическими и биологическими свойствами.

Бентонит (прежде всего монтмориллонит) – это природная 2:1 алюмосиликатная глина с высокими сорбционными свойствами, обладающая накапливающим и набухающим эффектом благодаря отрицательному заряду слоёв и обменным катионам между ними.[13]

Гуминовые вещества (гуминовые и фульвокислоты) – высокомолекулярные органические комплексы, образующиеся при разложении растительных остатков и широко распространённые в почвах и водах [35]. Следует отметить, что свойства гуминовых веществ могут существенно различаться в зависимости от их природного происхождения (почвы, торф, бурый уголь и др.) и способа их выделения, что необходимо учитывать при анализе их биологических эффектов. Они содержат многочисленные карбоксильные, фенольные и азотсодержащие группы, придающие им биологическую активность (антиоксидантную, иммуномодулирующую, сорбционную). Комбинированное использование бентонита и гуминовых веществ оправдано синергией их функций: бентонит выступает жёсткой матрицей и универсальным сорбентом, а гуминовые вещества – биоактивным компонентом с широким спектром действия.

Совместное введение этих компонентов обычно приводит к значительному повышению общей сорбционной ёмкости по сравнению с их отдельным применением. Например, отмечено, что так называемые глино-гумусовые комплексы обладают большей сорбционной способностью в отношении органических веществ, чем чистые гуминовые соединения или отдельные глинистые минералы [46]. Это объясняется образованием дополнительных комплексов на поверхности бентонита с включением фрагментов гуминовых молекул: в исследованиях природных гуминовых веществ, выделенных из почвенных и природных органоминеральных систем, обнаружено, что полиметиленовые и алкиламмониевые участки гуминовых молекул естественным образом входят в межслоевое пространство монтмориллонита. На молекулярном уровне положительно заряженные фрагменты гуминовых веществ (например, аммониевые группы) электростатически взаимодействуют с отрицательно заряженной силикатной пластинкой бентонита, при этом гидрофобные участки гуминового полимера направлены вдоль поверхности глины [47]. Таким образом, образуются стабилизированные органоминеральные комплексы, усиливающие поглощение и связывание разнообразных токсинов и метаболитов. Механизмы связывания включают электростатические взаимодействия, водородные связи, π – π –стэкинг и гидрофобные эффекты между ароматическими фрагментами гуминовых кислот и поверхностью глины [48]. Обменные катионы монтмориллонита (Li^+ , Na^+ , Ca^{2+} и др.) также могут участвовать в комплексообразовании с органическими анионами гуминовых кислот, что дополнительно стабилизирует композицию [15, 48].

Комбинированные системы бентонит-гуминовые вещества демонстрируют пролонгированный эффект действия и смягчение токсических воздействий. Гуминовый компонент, адсорбированный на бентонитовой матрице, способен постепенно высвобождаться, обеспечивая длительное сорбционное и детоксикационное действие. Бентонит фиксирует гуминовые молекулы и токсины в желудочно-кишечном тракте, уменьшая их абсорбцию и обеспечивая более мягкое действие. Эффективность подобных систем в значительной степени зависит от происхождения гуминовых веществ и используемых глинистых минералов. Так, в одном из исследований [49] был получен композит на основе натриевого гумата, выделенного из природного сырья месторождений Wuhai и Erdos (Внутренняя Монголия, Китай), и активированного натриевого бентонита, исходным сырьём для которого служил кальциевый бентонит того же региона. Полученный гумат-бентонит-полимерный композит показал высокую эффективность удаления тяжёлых металлов из водных растворов, достигая 94,7% для Pb^{2+} , 90,9% для Ni^{2+} и 90,2% для Cd^{2+} .

Экспериментальные исследования на животных также подтверждают детоксикационный потенциал гуминовых веществ. В одном из исследований [50] использовалась коммерческая гуминовая кислота (препарат Enrich Feed, Пакистан), добавляемая в корм бройлеров в концентрациях 0,1–0,3%, что позволило снизить токсическое действие афлатоксина. Было отмечено улучшение биохимических показателей крови, снижение содержания афлатоксина B_1 в печени и уменьшение проявлений токсического поражения организма [50].

В токсикологических исследованиях также изучалась безопасность гуминовых препаратов различного происхождения. Так, в работе [51] исследовался препарат blk.333, представляющий собой смесь гуминовых и фульвовых кислот, полученных из окисленного

лигнита месторождения в Альберте (Канада). Проведённые испытания показали отсутствие генотоксичности и хорошую переносимость препарата при пероральном применении, что подтверждает перспективность гуминовых соединений для медицинских и пищевых применений [51].

Таким образом, комбинированные системы на основе бентонита и гуминовых веществ демонстрируют синергетические преимущества: повышенную сорбционную ёмкость, пролонгированное действие и снижение токсичности благодаря комплексообразованию, ионообменным процессам и многообразию физико-химических взаимодействий между функциональными группами гуминовых веществ и поверхностью глинистых минералов [49-51].

Комплексные системы бентонит-гуминовые вещества перспективны в качестве энтеросорбентов и пищевых добавок. Бентонитовые энтеросорбенты (на основе монтмориллонита) уже применяются в медицине для лечения острых отравлений, диареи и других нарушений ЖКТ благодаря сильной адсорбции токсинов и микробных метаболитов [13]. Дополнение подобных препаратов гуминовыми компонентами может усиливать детоксикационные свойства и нормализовать микрофлору кишечника. Аналоги гуминовых добавок в ветеринарии и пищевой промышленности показали эффективность в связывании пищевых токсинов и восстановлении функций ЖКТ (например, гуматы улучшают кислотно-щелочной баланс и формируют защитную слизистую плёнку в кишечнике, повышая устойчивость к интоксикации). Исследования на животных подтверждают пользу гуминовых веществ при интоксикациях: введение ГК в корм улучшало весовые параметры и снижало смертность кур при действии афлатоксинов [49-51].

На основе сочетания бентонита и гуминовых веществ создаются гибридные адсорбенты, обладающие расширенным спектром действия: они могут связать не только неорганические токсины, но и органические соединения благодаря функциональным группам гуминов, сохраняя при этом адсорбирующие свойства глины. Эти системы уже используются как безопасные БАДы и прототипы лекарственных энтеросорбентов, а их дальнейшая оптимизация (например, улучшение качества сырья, стандартизация экстрактов, разработка новых технологических форм) открывает широкие перспективы в профилактике и терапии различных патологий при минимальных рисках побочных эффектов.

Заключение

В заключение следует отметить, что бентонит, богатый монтмориллонитом, обладает выраженными набухающими и сорбционными свойствами, что делает его эффективным компонентом энтеросорбентов для коррекции острых и хронических интоксикаций. Гуминовые и фульвокислоты демонстрируют антиоксидантные, противовоспалительные и иммуномодулирующие свойства, способствуя нормализации микробиоценоза кишечника и регенерации повреждённых тканей. Совместное применение бентонита и гуминовых препаратов усиливает адсорбцию токсинов и обеспечивает пролонгированный терапевтический эффект при минимальных побочных проявлениях. Таким образом, результаты проведённого анализа литературных данных свидетельствуют о высокой перспективности создания новых адсорбционных лекарственных форм и пищевых добавок на основе бентонит-гуминовых композитов. Такие системы могут быть использованы в терапии и профилактике интоксикаций, а также воспалительных и дерматологических заболеваний, обеспечивая детоксикацию организма и поддержку иммунной функции.

Список литературы

1. Tagan Bentonite Company. Bentonite from Tagan deposit. <https://tagbent.com/> (дата обращения: 16.12.2025).
2. Сапаргалиев Е.М. Особенности генезиса Таганского месторождения бентонитов в Зайсанской впадине / Е.М. Сапаргалиев, М.М. Кравченко // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. – 2007. – № 3. – С. 40-46.
3. Experimental studies on wastewater sorption treatment with subsequent disposal of used sorbents / G.K. Daumova et al // Chemical Engineering Transactions. – 2018. – Vol. 70. – P. 2125-2130. <https://doi.org/10.3303/CET1870355>.
4. Moosavi M. Bentonite Clay as a Natural Remedy: A Brief Review / M. Moosavi // Iranian Journal of Public Health. – 2017. – V. 46. № 9. – P. 1176-1183. <https://doi.org/10.1007/s12272-010-0715-2>.

5. Gvozdeva Y. Biomedical Applications of Humic Substances: From Natural Biopolymers to Therapeutic Agents / Y. Gvozdeva, P. Peneva, P. Katsarov // *Antioxidants* (Basel). – 2025. – Vol. 14. – № 9. – Art. 1139. <https://doi.org/10.3390/antiox14091139>.
6. Eisenhour D.D. Bentonite and Its Impact on Modern Life / D.D. Eisenhour, R.K. Brown // *Elements*. – 2009. – Vol. 5, № 2. – P. 83-88. <https://doi.org/10.2113/gselements.5.2.83>.
7. Ғылымхан Н.Т. Возможности использования бентонитовых глин в медицине / Н.Т. Ғылымхан, Ш.Н. Жумағалиева, Ж.А. Абилов // *Вестник Казахского национального университета. Серия химическая*. – Алматы, 2016. – № 4. – С. 48-54.
8. Sunakbaeva D.K. Development of nature protection measures on the basis of bentonite clays and products of utilization of sulfur-containing wastes / D.K. Sunakbaeva // *Ecology*. – Taraz: Dulaty University, 2009. – P. 20.
9. Сапарғалиев Е.М. Влияние вещественного состава сырья на технологические свойства бентонитов Таганского месторождения / Е.М. Сапарғалиев // *Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования*. – 2007. – № 2. – С. 77-81.
10. Chemical and mineralogical analysis of Kazakhstan clays and study of their hydrodispersive properties / A. Assanov et al // *Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. – 2025. – Vol. 2. – P. 182-205.
11. Quantitative assessment of the use of Kazakhstan montmorillonite clays as sorbent carriers for pharmaceutical substances / D. Bolatkan et al // *Physical Sciences and Technology*. – 2025. – Vol. 12. – P. 121-133.
12. Characterization of Kazakhstan's Clays by Mössbauer Spectroscopy and X-ray Diffraction / A. Shokanov et al // *Minerals*. – 2024. – Vol. 14. – Article 713. <https://doi.org/10.3390/min14070713>.
13. Application of montmorillonite in bentonite as a excipient in drug delivery systems Park J.-H., / H.-J. Shin et al // *Journal of Pharmaceutical Investigation*. – 2016. – Vol. 46, № 4. – P. 363-375. <https://doi.org/10.1007/s40005-016-0258-8>.
14. Вернигорова В.Н. Материаловедение полимеров и композиционных материалов на их основе : монография / В.Н. Вернигорова, С.М. Саденко. – Пенза : ПГУАС, 2013. – 420 с.
15. Önal M. Physicochemical properties of bentonites: an overview / M. Önal // *Communications, Faculty of Sciences, University of Ankara. Series B: Chemistry and Chemical Engineering*. – 2006. – Vol. 52, № 2. – P. 7-21. <https://communications.science.ankara.edu.tr/index.php/commb/article/view/83>.
16. Affaf N. Montmorillonite (MMT) nanoclay in smart coatings for corrosion protection of metal alloy: a brief review / N. Affaf, J. Alias, N. Alang // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2024. – Vol. 2688. – Art. 012012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2688/1/012012>.
17. Effect of purified zearalenone with or without modified montmorillonite on nutrient availability, genital organs and serum hormones in post-weaning piglets / S.Z. Jiang et al // *Livestock Science*. – 2012. – Vol. 144. – P. 110-118. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.11.004>.
18. Evaluation of the void index method on the mechanical and thermal properties of compressed earth blocks stabilized with bentonite clay / S. Lahbabi et al // *Construction and Building Materials*. – 2023. – Vol. 393. – Art. 132114. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132114>.
19. Investigating the influence of bentonite colloids on strontium sorption in granite under various hydrogeochemical conditions / F. Cai et al // *Science of the Total Environment*. – 2023. – Vol. 900. – Art. 165819. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165819>.
20. Lagaly G. Colloid clay science / G. Lagaly // *Developments in Clay Science*. – 2006. – Vol. 1. – P. 141-245. 10.1016/S1572-4352(05)01005-6.
21. Adsorption and desorption effect of modified bentonite on soil heavy metal Pb/Cd and the feasibility assessment of reducing the ecotoxicity / X. Yang et al // *Environmental Sciences Europe*. – 2025. – Vol. 37. – Art. 105. <https://doi.org/10.1186/s12302-025-01144-3>.
22. Research progress on the raw and modified montmorillonites as adsorbents for mycotoxins: A review / Y. Li et al // *Applied Clay Science*. – 2018. – Vol. 163. – P. 299-311. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.07.032>.
23. Phillips T.D. Development of high-capacity enterosorbents for aflatoxin B1 / T.D. Phillips, S.L. Lemke, P.G. Grant // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2002. – Vol. 50, No. 3. – P. 748-754. <https://doi.org/10.1021/jf010916>.
24. Application of edible montmorillonite clays for the adsorption and detoxification of microcystin / M. Wang et al // *ACS Applied Bio Materials*. – 2021. – Vol. 4, № 9. – P. 7254-7265. <https://doi.org/10.1021/acsabm.1c00779>.

25. Efficacy of orally administered montmorillonite for acute iron poisoning detoxification in rat / P.M. Moosavi et al // *Applied Clay Science*. – 2015. – Vol. 103. – P. 62-66. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.11.010>.
26. Dupont C. Anti-diarrheal effects of diosmectite in the treatment of acute diarrhea / C. Dupont, B. Vernisse // *Pediatric Drugs*. – 2012. – Vol. 11, № 2. – P. 89-99. <https://doi.org/10.2165/00148581-200911020-00001>.
27. Das R.R. Efficacy and safety of diosmectite in acute childhood diarrhoea: a meta-analysis / R.R. Das, J. Sankar, S.S. Naik // *Archives of Disease in Childhood*. – 2015. – Vol. 100. – P. 1-9. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2014-307632>.
28. Efficacy of Diosmectite (Smecta) in the Treatment of Acute Watery Diarrhoea in Adults: a multicentre randomized double-blind placebo-controlled study / F. Khediri et al // *Gastroenterology Research and Practice*. – 2011. – Article ID 783196. <https://doi.org/10.1155/2011/783196>.
29. Mechanism of action of diosmectite in gastrointestinal disorders // *Journal of Gastroenterology*. – 2017. <https://doi.org/10.1007/s13099-017-0172-2>.
30. Regenerative and anti-inflammatory effect of a novel bentonite complex on burn wounds / J.Y. Lee et al // *Veterinary Medicine and Science*. – 2022. – Vol. 8, № 3. – P. 2422-2433. <https://doi.org/10.1002/vms3.908>.
31. Clay therapy in wound healing: a brief review of the literature / C. Ovince et al // *Journal of Wound Management and Research*. – 2024. – Vol. 20, № 1. – P. 1-8. <https://doi.org/10.22467/jwmr.2023.02558>.
32. Alexandre M. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials / M. Alexandre, P. Dubois // *Materials Science and Engineering*. – 2000. – Vol. 28. – P. 1-63. [https://doi.org/10.1016/S0927-796X\(00\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0927-796X(00)00012-7).
33. Bentonite-in hypromellose-ploxamer sol-gel for corneal application of trimetazidine: Study of rheology and ocular anti-inflammatory potential / R. Swain et al // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2023. – Vol. 242, Part 1. – Article 124628. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124628>.
34. Journey of humic substances in healthcare: Regulatory and development perspective / M. Mirza et al // *Natural Resources for Human Health*. – 2025. – Vol. 5, № 4. – P. 576-595. <https://doi.org/10.53365/nrfhh/204288>.
35. Humic Substances as a Versatile Intermediary / S. Hriciková et al // *Life*. – 2023. – Vol.13, № 4. – Art. 858. <https://doi.org/10.3390/life13040858>.
36. Physicochemical and antioxidant properties of humic acids of low-mineralized peloids of the Tuzkol deposit / Zh.K. Kairbekov et al // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series Chemistry and Technology*. – 2021. – Vol. 3, № 447. – P. 48-53. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-1491.49>.
37. Получение модифицированного сорбента из гуминовых веществ бурого угля Кендырлыкского месторождения / Б.С. Саурбаева и др. // *Вестник ВКТУ*. – 2023. – №1. – С. 204-210. <https://doi.org/10.51885/1561-4212-2023-1-204>.
38. Study of the properties of humic acids synthesized from brown coal of the Kuznetsk and the Kumuskuduk deposits / S. Tyanakh et al // *Academic scientific journal of chemistry*. – 2025. – Vol. 3, № 464. – P. 255-273. <https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.315>.
39. Оптимизация процесса выделения гуминовых кислот из угля Ой-Карагайского месторождения / Ж.К. Каирбеков и др. // *Вестник КазНУ. Серия химическая*. – 2012. – № 4(68). – С. 79-83.
40. Gvozdeva Y. Biomedical Applications of Humic Substances: From Natural Biopolymers to Therapeutic Agents / Y. Gvozdeva, P. Peneva, P. Katsarov // *Antioxidants (Basel)*. – 2025. – Vol. 14, № 9. – Art. 1139. <https://doi.org/10.3390/antiox14091139>.
41. Humic acids alleviate dextran sulfate sodium-induced colitis by positively modulating gut microbiota / J. Huang et al // *Frontiers in Microbiology*. – 2023. – Vol. 14. – Art. 1147110. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1147110>.
42. Humic Acid Enhances Wound Healing in the Rat Palate / M. Çalışır et al // *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. – 2018. – Vol. 2018. – Art. 1783513. <https://doi.org/10.1155/2018/1783513>.

43. Antiinflammatory activity and potential dermatological applications of characterized humic acids from a lignite and a green compost / M.V. Verrillo et al // *Scientific Reports*. – 2022. – Vol. 12. – Art. 2152. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06251-2>.
44. Жернов Ю.В. Влияние гуминовых кислот на аутоиммунное воспаление при адъювантного полиартрита / Ю.В. Жернов, Н.П. Аввакумова, М.Р. Хаитов // *Российский журнал аллергологии*. – 2017. – Т. 14, № 1S. – С. 44-45. <https://rusalljournal.ru/raj/article/view/210>.
45. Motta F.L. Deprotonation and protonation of humic acids as a strategy for the technological development of pH-responsive nanoparticles with fungicidal potential / F.L. Motta, B.A.G. Melo, M.H.A. Santana // *New Biotechnology*. – 2016. – Vol. 33. – P. 773-780. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.07.003>.
46. Федотов Г.Н. Аллелотоксичность почв и способы уменьшения ее негативного влияния на начальную стадию развития растений / Г.Н. Федотов, С.А. Шоба, И.В. Горепекин // *Почвоведение*. – 2020. – № 8. – С. 1007-1015. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20080067>.
47. Соколовский Д.В. Природные гуминовые вещества в составе окружающего Bentonite humus system. – 2021. <https://journals.eco-vector.com/0869-5652/article/view/13492> (дата обращения: 05.01.2026).
48. Therapeutic Efficiency of Humic Acids in Intoxications / J. Vašková et al // *Life*. – 2023. – Vol. 13, № 4. – Art. 971. <https://doi.org/10.3390/life13040971>.
49. Preparation of Humic Acid–Bentonite–Polymer Composite and Investigation of Its Efficiency for the Removal of Nickel, Cadmium and Lead Ions from Wastewater / E.L.M. Amutenya et al. – 2021. <https://ssrn.com/abstract=3968030> (дата обращения: 05.01.2026).
50. Arafat R.Y. Evaluation of Humic Acid as an Aflatoxin Binder in Broiler Chickens / R.Y. Arafat, S.H. Khan, Saima // *Annals of Animal Science*. – 2017. – Vol. 17, № 1. – P. 241-255. <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0050>.
51. A toxicological evaluation of a fulvic and humic acids preparation / T.S. Murbach et al // *Toxicology Reports*. – 2020. – Vol. 7. – P. 1242-1254. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.08.030>.

References

1. Tagan Bentonite Company. Bentonite from Tagan deposit. <https://tagbent.com/> (data obrashcheniya: 16.12.2025). (In English).
2. Sapargaliev E.M. Osobennosti genezisa Taganskogo mestorozhdeniya bentonitov v Zaisanskoi vpadine / E.M. Sapargaliev, M.M. Kravchenko // *Vestnik RUDN. Seriya: Inzhenernye issledovaniya*. – 2007. – № 3. – S. 40-46. (In Russian).
3. Experimental studies on wastewater sorption treatment with subsequent disposal of used sorbents / G.K. Daumova et al // *Chemical Engineering Transactions*. – 2018. – Vol. 70. – P. 2125-2130. <https://doi.org/10.3303/CET1870355>. (In English).
4. Moosavi M. Bentonite Clay as a Natural Remedy: A Brief Review / M. Moosavi // *Iranian Journal of Public Health*. – 2017. – V. 46. № 9. – P. 1176-1183. <https://doi.org/10.1007/s12272-010-0715-2>. (In English).
5. Gvozdeva Y. Biomedical Applications of Humic Substances: From Natural Biopolymers to Therapeutic Agents / Y. Gvozdeva, P. Peneva, P. Katsarov // *Antioxidants (Basel)*. – 2025. – Vol. 14. – № 9. – Art. 1139. <https://doi.org/10.3390/antiox14091139>. (In English).
6. Eisenhour D.D. Bentonite and Its Impact on Modern Life / D.D. Eisenhour, R.K. Brown // *Elements*. – 2009. – Vol. 5, № 2. – P. 83-88. <https://doi.org/10.2113/gselements.5.2.83>. (In English).
7. Gylymkhan N.T. Vozmozhnosti ispol'zovaniya bentonitovykh glin v meditsine / N.T. Gylymkhan, Sh.N. Zhumagalieva, Zh.A. Abilov // *Vestnik Kazakhskogo natsional'nogo universiteta. Seriya khimicheskaya*. – Almaty, 2016. – № 4. – S. 48-54. (In Russian).
8. Sunakbaeva D.K. Development of nature protection measures on the basis of bentonite clays and products of utilization of sulfur-containing wastes / D.K. Sunakbaeva // *Ecology*. – Taraz: Dulaty University, 2009. – P. 20. (In English).
9. Sapargaliev E.M. Vliyanie veshchestvennogo sostava syr'ya na tekhnologicheskie svoistva bentonitov Taganskogo mestorozhdeniya / E.M. Sapargaliev // *Vestnik RUDN. Seriya: Inzhenernye issledovaniya*. – 2007. – № 2. – S. 77-81. (In Russian).
10. Chemical and mineralogical analysis of Kazakhstan clays and study of their hydrodispersive properties / A. Assanov et al // *Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. – 2025. – Vol. 2. – P. 182-205. (In English).

11. Quantitative assessment of the use of Kazakhstan montmorillonite clays as sorbent carriers for pharmaceutical substances / D. Bolatkan et al // *Physical Sciences and Technology*. – 2025. – Vol. 12. – P. 121-133. (In English).
12. Characterization of Kazakhstan's Clays by Mössbauer Spectroscopy and X-ray Diffraction / A. Shokanov et al // *Minerals*. – 2024. – Vol. 14. – Article 713. <https://doi.org/10.3390/min14070713>. (In English).
13. Application of montmorillonite in bentonite as a excipient in drug delivery systems Park J.-H., / H.-J. Shin et al // *Journal of Pharmaceutical Investigation*. – 2016. – Vol. 46, № 4. – P. 363-375. <https://doi.org/10.1007/s40005-016-0258-8>. (In English).
14. Vernigorova V.N. Materialovedenie polimerov i kompozitsionnykh materialov na ikh osnove : monografiya / V.N. Vernigorova, S.M. Sadenko. – Penza : PGUAS, 2013. – 420 s. (In Russian).
15. Önal M. Physicochemical properties of bentonites: an overview / M. Önal // *Communications, Faculty of Sciences, University of Ankara. Series B: Chemistry and Chemical Engineering*. – 2006. – Vol. 52, № 2. – P. 7-21. <https://communications.science.ankara.edu.tr/index.php/commb/article/view/83>. (In English).
16. Affaf N. Montmorillonite (MMT) nanoclay in smart coatings for corrosion protection of metal alloy: a brief review / N. Affaf, J. Alias, N. Alang // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2024. – Vol. 2688. – Art. 012012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2688/1/012012>. (In English).
17. Effect of purified zearalenone with or without modified montmorillonite on nutrient availability, genital organs and serum hormones in post-weaning piglets / S.Z. Jiang et al // *Livestock Science*. – 2012. – Vol. 144. – P. 110-118. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.11.004>. (In English).
18. Evaluation of the void index method on the mechanical and thermal properties of compressed earth blocks stabilized with bentonite clay / S. Lahbabi et al // *Construction and Building Materials*. – 2023. – Vol. 393. – Art. 132114. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132114>. (In English).
19. Investigating the influence of bentonite colloids on strontium sorption in granite under various hydrogeochemical conditions / F. Cai et al // *Science of the Total Environment*. – 2023. – Vol. 900. – Art. 165819. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165819>. (In English).
20. Lagaly G. Colloid clay science / G. Lagaly // *Developments in Clay Science*. – 2006. – Vol. 1. – P. 141-245. [10.1016/S1572-4352\(05\)01005-6](https://doi.org/10.1016/S1572-4352(05)01005-6). (In English).
21. Adsorption and desorption effect of modified bentonite on soil heavy metal Pb/Cd and the feasibility assessment of reducing the ecotoxicity / X. Yang et al // *Environmental Sciences Europe*. – 2025. – Vol. 37. – Art. 105. <https://doi.org/10.1186/s12302-025-01144-3>. (In English).
22. Research progress on the raw and modified montmorillonites as adsorbents for mycotoxins: A review / Y. Li et al // *Applied Clay Science*. – 2018. – Vol. 163. – P. 299-311. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.07.032>. (In English).
23. Phillips T.D. Development of high-capacity enterosorbents for aflatoxin B1 / T.D. Phillips, S.L. Lemke, P.G. Grant // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2002. – Vol. 50, No. 3. – P. 748-754. <https://doi.org/10.1021/jf010916>. (In English).
24. Application of edible montmorillonite clays for the adsorption and detoxification of microcystin / M. Wang et al // *ACS Applied Bio Materials*. – 2021. – Vol. 4, № 9. – P. 7254-7265. <https://doi.org/10.1021/acsabm.1c00779>. (In English).
25. Efficacy of orally administered montmorillonite for acute iron poisoning detoxification in rat / P.M. Moosavi et al // *Applied Clay Science*. – 2015. – Vol. 103. – P. 62-66. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.11.010>. (In English).
26. Dupont C. Anti-diarrheal effects of diosmectite in the treatment of acute diarrhea / C. Dupont, B. Vernisse // *Pediatric Drugs*. – 2012. – Vol. 11, № 2. – P. 89-99. <https://doi.org/10.2165/00148581-200911020-00001>. (In English).
27. Das R.R. Efficacy and safety of diosmectite in acute childhood diarrhoea: a meta-analysis / R.R. Das, J. Sankar, S.S. Naik // *Archives of Disease in Childhood*. – 2015. – Vol. 100. – P. 1-9. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2014-307632>. (In English).
28. Efficacy of Diosmectite (Smecta) in the Treatment of Acute Watery Diarrhoea in Adults: a multicentre randomized double-blind placebo-controlled study / F. Khediri et al // *Gastroenterology Research and Practice*. – 2011. – Article ID 783196. <https://doi.org/10.1155/2011/783196>. (In English).
29. Mechanism of action of diosmectite in gastrointestinal disorders // *Journal of Gastroenterology*. – 2017. <https://doi.org/10.1007/s13099-017-0172-2>. (In English).

30. Regenerative and anti-inflammatory effect of a novel bentonite complex on burn wounds / J.Y. Lee et al // *Veterinary Medicine and Science*. – 2022. – Vol. 8, № 3. – P. 2422-2433. <https://doi.org/10.1002/vms3.908>. (In English).
31. Clay therapy in wound healing: a brief review of the literature / C. Ovince et al // *Journal of Wound Management and Research*. – 2024. – Vol. 20, № 1. – P. 1-8. <https://doi.org/10.22467/jwmr.2023.02558>. (In English).
32. Alexandre M. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials / M. Alexandre, P. Dubois // *Materials Science and Engineering*. – 2000. – Vol. 28. – P. 1-63. [https://doi.org/10.1016/S0927-796X\(00\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0927-796X(00)00012-7). (In English).
33. Bentonite-in hypromellose-ploxamer sol-gel for corneal application of trimetazidine: Study of rheology and ocular anti-inflammatory potential / R. Swain et al // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2023. – Vol. 242, Part 1. – Article 124628. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124628>. (In English).
34. Journey of humic substances in healthcare: Regulatory and development perspective / M. Mirza et al // *Natural Resources for Human Health*. – 2025. – Vol. 5, № 4. – P. 576-595. <https://doi.org/10.53365/nrfhh/204288>. (In English).
35. Humic Substances as a Versatile Intermediary / S. Hriciková et al // *Life*. – 2023. – Vol.13, № 4. – Art. 858. <https://doi.org/10.3390/life13040858>. (In English).
36. Physicochemical and antioxidant properties of humic acids of low-mineralized peloids of the Tuzkol deposit / Zh.K. Kairbekov et al // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series Chemistry and Technology*. – 2021. – Vol. 3, № 447. – P. 48-53. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-1491.49>. (In English).
37. Poluchenie modifitsirovannogo sorbenta iz guminovykh veshchestv burogo uglya Kendyryl'skogo mestorozhdeniya / B.S. Saurbaeva i dr. // *Vestnik VKTU*. – 2023. – №1. – S. 204-210. <https://doi.org/10.51885/1561-4212-2023-1-204>. (In Russian).
38. Study of the properties of humic acids synthesized from brown coal of the Kuznetsk and the Kumuskuduk deposits / S. Tyanakh et al // *Academic scientific journal of chemistry*. – 2025. – Vol. 3, № 464. – P. 255-273. <https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.315>. (In English).
39. Optimizatsiya protsessa vydeleniya guminovykh kislot iz uglya Oi-Karagaiskogo mestorozhdeniya / Zh.K. Kairbekov i dr. // *Vestnik KazNU. Seriya khimicheskaya*. – 2012. – № 4(68). – S. 79-83. (In Russian).
40. Gvozdeva Y. Biomedical Applications of Humic Substances: From Natural Biopolymers to Therapeutic Agents / Y. Gvozdeva, P. Peneva, P. Katsarov // *Antioxidants (Basel)*. – 2025. – Vol. 14, № 9. – Art. 1139. <https://doi.org/10.3390/antiox14091139>. (In English).
41. Humic acids alleviate dextran sulfate sodium-induced colitis by positively modulating gut microbiota / J. Huang et al // *Frontiers in Microbiology*. – 2023. – Vol. 14. – Art. 1147110. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1147110>. (In English).
42. Humic Acid Enhances Wound Healing in the Rat Palate / M. Çalışır et al // *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. – 2018. – Vol. 2018. – Art. 1783513. <https://doi.org/10.1155/2018/1783513>. (In English).
43. Antiinflammatory activity and potential dermatological applications of characterized humic acids from a lignite and a green compost / M.V. Verrillo et al // *Scientific Reports*. – 2022. – Vol. 12. – Art. 2152. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06251-2>. (In English).
44. Zhernov Yu.V. Vliyanie guminovykh kislot na autoimmunnoe vospalenie pri ad'yuvantnogo poliartrita / Yu.V. Zhernov, N.P. Avvakumova, M.R. Khaitov // *Rossiiskii zhurnal allergologii*. – 2017. – T. 14, № 1S. – S. 44-45. <https://rusalljournal.ru/raj/article/view/210>. (In Russian).
45. Motta F.L. Deprotonation and protonation of humic acids as a strategy for the technological development of pH-responsive nanoparticles with fungicidal potential / F.L. Motta, B.A.G. Melo, M.H.A. Santana // *New Biotechnology*. – 2016. – Vol. 33. – P. 773-780. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.07.003>. (In English).
46. Fedotov G.N. Allelotoksichnost' pochv i sposoby umen'sheniya ee negativnogo vliyaniya na nachal'nuyu stadiyu razvitiya rastenii / G.N. Fedotov, S.A. Shoba, I.V. Gorepekin // *Pochvovedenie*. – 2020. – № 8. – S. 1007-1015. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20080067>. (In Russian).
47. Sokolovskii D.V. Prirodnye guminovye veshchestva v sostave okruzhayushchego Bentonite humus system. – 2021. <https://journals.eco-vector.com/0869-5652/article/view/13492> (data obrashcheniya: 05.01.2026). (In Russian).

48. Therapeutic Efficiency of Humic Acids in Intoxications / J. Vašková et al // Life. – 2023. – Vol. 13, № 4. – Art. 971. <https://doi.org/10.3390/life13040971>. (In English).
49. Preparation of Humic Acid–Bentonite–Polymer Composite and Investigation of Its Efficiency for the Removal of Nickel, Cadmium and Lead Ions from Wastewater / E.L.M. Amutenya et al. – 2021. <https://ssrn.com/abstract=3968030> (data obrashcheniya: 05.01.2026). (In English).
50. Arafat R.Y. Evaluation of Humic Acid as an Aflatoxin Binder in Broiler Chickens / R.Y. Arafat, S.H. Khan, Saima // Annals of Animal Science. – 2017. – Vol. 17, № 1. – P. 241-255. <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0050>. (In English).
51. A toxicological evaluation of a fulvic and humic acids preparation / T.S. Murbach et al // Toxicology Reports. – 2020. – Vol. 7. – P. 1242-1254. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.08.030>. (In English).

Н.Е. Жабаяева^{1*}, Ш.Н. Жумагалиева¹, Ж.А. Әбілов¹, А.Д. Газизов²

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
050040, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы, әл-Фараби даңғылы, 71

²Орталық Азия экология және қоршаған орта ғылыми-зерттеу орталығы,
050060, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., әл-Фараби даңғылы, 75В

*e-mail:nurai_zhabaeva@mail.ru

БЕНТОНИТ ЖӘНЕ ГУМИНДІК ЗАТТАР: ҚҰРАМЫ, ҚАСИЕТТЕРІ ЖӘНЕ МЕДИЦИНАДА ҚОЛДАНЫЛУЫ

Мақалада бентонит саздарының, соның ішінде Таган кен орнының бентониттерінің құрамы, физика-химиялық қасиеттері және биологиялық белсенділігі, сондай-ақ гуминдік заттар және олардың медицинадағы қолданылуы бойынша жүйелі шолу ұсынылған. Жұмыстың өзектілігі осы табиғи материалдардың ерекше адсорбциялық және регенерациялық қасиеттерімен байланысты, бұл олардың әртүрлі патологиялық жағдайларды детоксикациялау және емдеуде қолданылу перспективаларын айқындайды. Әдеби деректер негізінде бентониттің минералогиялық құрамы (негізінен монтмориллонит), оның ісіну және сорбциялық қасиеттері, сондай-ақ гумин және фульвоқышқылдардың химиялық құрамы талданды. Медициналық қолданудың негізгі бағыттары қарастырылды: жедел және созылмалы интоксикациялар мен диареяларды түзетуге арналған бентонитті энтеросорбенттер, күйіктер мен жараларды жазуға арналған сыртқы дәрілік түрлер (гельдер мен майлар), сондай-ақ гуминдік заттардың нутрицевтикалық және иммуномодуляциялық қолданылуы. Эксперименттік және клиникалық деректерді талдау бентонит пен гуминдік кешендерді бірге қолдану кезінде байқалатын синергетикалық әсерді көрсетеді, ол сорбциялық қабілеттің артуымен, әсерінің ұзартылуымен және уыттылықтың төмендеуімен сипатталады. Алынған нәтижелер осы табиғи компоненттердің өзара әрекеттесуін зерттеудің ғылыми маңыздылығын және олардың фармакологиялық әлеуетін дәлелдейді. Жұмыстың практикалық маңызы детоксикациялық әсері бар табиғи энтеросорбенттер мен биологиялық белсенді қоспаларды әзірлеу перспективаларын негіздеуде көрінеді.

Түйін сөздер: бентонит, монтмориллонит, Таган кен орны, гуминдік заттар, гумин қышқылдары, адсорбция, энтеросорбент, детоксикация.

N.E. Zhabayeva^{1*}, Sh.N. Zhumagalieva¹, Zh.A. Abilov¹, A.D. Gazizov²

¹Al-Farabi Kazakh National University,
050040, Republic of Kazakhstan, Almaty, 71 Al-Farabi Avenue

²Research Centre of Ecology and Environment of Central Asia,
050060, Republic of Kazakhstan, Almaty, 75V Al-Farabi Avenue

*e-mail:nurai_zhabaeva@mail.ru

BENTONITE AND HUMIC SUBSTANCES: COMPOSITION, PROPERTIES, AND MEDICAL APPLICATIONS

The article presents a systematic review of the composition, physicochemical properties, and biological activity of bentonite clays, including bentonites from the Tagan deposit, as well as humic substances and their applications in medicine. The relevance of the work is determined by the unique adsorption and regenerative properties of these natural materials, which define their prospects for use in detoxification and therapy of various pathological conditions. Literature data on the mineralogical composition of bentonite (predominantly montmorillonite), its swelling and sorption characteristics, as well as the chemical composition of humic and fulvic acids were analyzed. The main directions of medical application are considered, including bentonite enterosorbents for the correction of acute and chronic intoxications and diarrhea, topical dosage forms (gels).

and ointments) for healing burns and wounds, as well as the nutraceutical and immunomodulatory use of humic substances. Analysis of experimental and clinical data indicates a synergistic effect of the combined use of bentonite and humic complexes, manifested in increased sorption capacity, prolonged action, and reduced toxicity. The obtained data demonstrate the scientific significance of studying the interaction of these natural components and their pharmacological potential. The practical value of the work lies in substantiating the prospects for the development of natural enterosorbents and biologically active additives with detoxifying effects.

Key words: bentonite, montmorillonite, Tagan deposit, humic substances, humic acids, adsorption, enterosorbent, detoxification.

Сведения об авторах

Нурай Еркиновна Жабаета* – магистрант кафедры «Химии и технологии органических веществ, природных соединений и полимеров», Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан; e-mail: nurai_zhabaeva@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1709-0130>.

Шынар Нурлановна Жумагалиева – доктор химических наук, профессор кафедры «Химии и технологии органических веществ, природных соединений и полимеров», Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан; e-mail: shynarnur@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4110-678X>.

Жарылкасын Абдухитович Абилов – доктор химических наук, профессор кафедры «Химии и технологии органических веществ, природных соединений и полимеров», Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан; e-mail: abilovs51@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2665-2539>.

Айдын Долдашевич Газизов – заведующий научно-исследовательской лабораторией, Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды Центральной Азии, г. Алматы, Республика Казахстан; e-mail: gaziz.aydin@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8763-5632>.

Авторлар туралы мәліметтер

Нурай Еркиновна Жабаета* – «Органикалық заттар, табиғи қосылыстар мен полимерлер» кафедрасының магистранты, Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: nurai_zhabaeva@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1709-0130>.

Шынар Нурлановна Жумагалиева – химия ғылымдарының докторы, «Органикалық заттар, табиғи қосылыстар мен полимерлер» кафедрасының профессоры, Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: shynarnur@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4110-678X>.

Жарылкасын Абдухитұлы Әбилов – химия ғылымдарының докторы, «Органикалық заттар, табиғи қосылыстар мен полимерлер» кафедрасының профессоры, Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: abilovs51@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2665-2539>.

Айдын Долдашевич Газизов – ғылыми-зерттеу зертханасының меңгерушісі, Орталық Азия экология және қоршаған орта ғылыми-зерттеу орталығы, Алматы қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: gaziz.aydin@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8763-5632>.

Information about the authors

Nuray Zhabaeva* – master's student of the department «Chemistry and technology of organic substances, natural compounds and polymers», Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: nurai_zhabaeva@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1709-0130>.

Shynar Zhumagalieva – doctor of chemical sciences, professor of the department «Chemistry and technology of organic substances, natural compounds and polymers», Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: shynarnur@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4110-678X>.

Jarylkasyn Abilov – doctor of chemical sciences, professor of the department «Chemistry and technology of organic substances, natural compounds and polymers», Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: abilovs51@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2665-2539>.

Aidyn Gazizov – head of the scientific research laboratory of the Research Centre of Ecology and Environment of Central Asia, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: gaziz.aydin@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8763-5632>.

Поступила в редакцию 10.01.2026

Поступила после доработки 10.03.2026

Принята к публикации 10.03.2026