

ПРОБЛЕМНАЯ СТАТЬЯ

МИНЕРАЛЬНЫЕ ПРИРОДНЫЕ МЫШЬЯКОВИСТЫЕ ВОДЫ
В КУРОРТНОЙ МЕДИЦИНЕ

Л.А. Парнякова^{1*}, Е.А. Гурьевская¹, И.В. Семенова¹, О.Н. Гореликова¹,
И.А. Гришечкина¹, М.Ю. Яковлев^{1,2}, И.Н. Рыжова³

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России; Российская Федерация, 121099, Москва, Новый Арбат, 32

² ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет); Российская Федерация, 119991, г. Москва, ул. Трубецкая д. 8, стр.2

³ Научно-исследовательский институт «Экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина» ФГБУ «Центр стратегического планирования» федерального медико-биологического агентства России; Российская Федерация, 119121, Москва, ул. Погодинская д. 10, стр. 1

РЕЗЮМЕ. Мышьяковистые воды являются редкими природными водами, которые используются для внутреннего и наружного применения. В настоящее время вопрос изучения мышьяковистых вод, возможности их применения при санаторно-курортном лечении, а также бальнеологическая оценка остаются актуальными.

Цель исследования – изучение современного состояния применения минеральных мышьяковистых вод при санаторно-курортном лечении с целью дальнейшего определения направлений исследований.

Материалы и методы. Проведён поиск литературных источников на тему воздействия минеральных природных мышьяковистых вод на организм человека. Проанализировано в общей сложности около 250 источников, в окончательный анализ вошли 38 источников литературы.

Результаты. Мышьяк участвует во многих важных биологических процессах, регулирует функцию центральной нервной системы, опорно-двигательного аппарата, кроветворения, иммунную систему организма. В живом организме связь мышьяка с другими элементами, способна как усилить, так и снизить его биохимическое воздействие, поэтому разный состав мышьяковистых вод может вызывать различные патологические и физиологические реакции в организме. Важным направлением исследований является изучение канцерогенных свойств мышьяка и изучение вопроса «доза-эффект» в экспериментальных и клинических исследованиях, так как в настоящее время не разработаны показания и противопоказания к применению минеральных вод с содержанием мышьяка менее 0,7 мг/дм³.

Заключение. Эффективность мышьяковистых вод заключается в том, что мышьяк при употреблении таких вод активно всасывается, но медленнее выводится из организма, чем фармацевтические препараты, что обеспечивает более длительное лечебное действие при меньших дозах мышьяка, который в обычном понимании ассоциируется со словом «яд». Канцерогенность мышьяка и его соединений до сих пор изучается специалистами, основной вопрос: «доза-эффект». Перспективными направлениями дальнейших исследований является изучение механизмов действия отдельных групп мышьяковистых вод при различных заболеваниях для применения в условиях санаторно-курортных организаций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: минеральная вода, мышьяк, микроэлементы.

Для цитирования: Парнякова Л.А., Гурьевская Е.А., Семенова И.В., Гореликова О.Н., Гришечкина И.А., Яковлев М.Ю., Рыжова И.Н. Минеральные природные мышьяковистые воды в курортной медицине. Микроэлементы в медицине. 2025;26(2):20–30. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-2-20-30.

ВВЕДЕНИЕ

Минеральная вода является ценным природным ресурсом благодаря элементам, содержащимся в ней. В настоящее время на территории Российской Федерации имеется около 6000 источников лечебных минеральных вод, различ-

ных по химическому составу, минерализации, физическим и химическим свойствам (Фесюн, 2022; Шкляев и др., 2024). В лечебных целях используют преимущественно подземные минеральные воды, имеющие естественные выходы или выведенные скважинами с различных глу-

* Адрес для переписки:

Парнякова Людмила Леонидовна
E-mail: ParnyakovaLL@nmcirk.ru

бин, а также поверхностные воды солёных озёр (Фесюн, 2024).

Лечебное действие минеральных вод на организм обусловлено всем комплексом растворённых в них веществ и их физико-химическими свойствами, а также гидродинамическим и химическим эффектом (Искандерова и др., 2024; Kaigeldinova et al., 2024).

Одним из актуальных направлений исследований в настоящее время является научное обоснование и разработка методик профилактического применения минеральных вод для нужд санаторно-курортного лечения (Фесюн, 2023, Кульчицкая и др., 2023, Лимонов и др., 2023). Изучение использования мышьяковистых вод, которые относят к редким разновидностям минеральных природных вод, в бальнеологии, представляется интересным ввиду неоднозначной роли мышьяка в химических процессах, протекающих в организме человека.

Цель исследования – изучение современного состояния проблемы наружного и внутреннего применения минеральных мышьяковистых вод при санаторно-курортном лечении с целью дальнейшего определения направлений исследований.

МЕСТО МЫШЬЯКОВИСТЫХ ВОД В СОВРЕМЕННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ПРИРОДНЫХ ЛЕЧЕБНЫХ РЕСУРСОВ

В соответствии с Классификацией природных лечебных ресурсов, указанных в пункте 2 статьи 2_1 Федерального закона от 23 февраля 1995 г. № 26 - ФЗ «О природных лечебных ресурсах, лечебно-оздоровительных местностях и курортах», их характеристик и перечня медицинских показаний и противопоказаний для санаторного лечения и медицинской реабилитации с применением таких природных лечебных ресурсов (Приложение № 1 к приказу Министерства здравоохранения Российской Федерации от 27 марта 2024 года № 143н), к группе мышьяковистых минеральных вод относятся воды, лечебно-профилактическое значение которых определяется наличием природного биологически активного мышьяка, массовая концентрация которого в минеральной воде источника (скважины) для наружного бальнеотерапевтического (в том числе для внутреннего непитьевого) применения составляет $0,7 \text{ мг/дм}^3$, в упакованной лечебной минеральной питьевой воде составляет от $0,7 \text{ мг/дм}^3$, но не более $5,0 \text{ мг/дм}^3$, а в нативной (неупакованной) ле-

чебной минеральной питьевой воде составляет от $0,7 \text{ мг/дм}^3$, но не более $20,0 \text{ мг/дм}^3$.

По содержанию мышьяка в воде источника (скважины) минеральные воды дополнительно классифицируются по подгруппам:

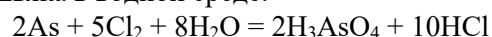
мышьяковистые (мышьяковые) – мышьяк в концентрации от $0,7 \text{ мг/дм}^3$, но не более $5,0 \text{ мг/дм}^3$;

крепкие мышьяковистые (крепкие мышьяковые) – мышьяк в концентрации свыше $5,0 \text{ мг/дм}^3$, но не более $10,0 \text{ мг/дм}^3$;

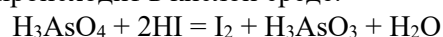
очень крепкие мышьяковистые (очень крепкие мышьяковые) – мышьяк в концентрации свыше $10,0 \text{ мг/дм}^3$.

ОБРАЗОВАНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ МЫШЬЯКОВИСТЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Мышьяковистые природные воды принадлежат к относительно редким разновидностям минеральных вод (Минькевич и др., 2012). Кислые сульфатные воды рудничного типа содержат мышьяк в виде мышьяковой кислоты (H_3AsO_4) и её ионов, углекислые воды, как правило, содержат мышьяковистую (ортомышьяковистую) кислоту (H_3AsO_3) и её ионы (Багрянцева и др., 2021). Мышьяковую кислоту можно получить взаимодействием As_2O_3 с водой, а также окислением мышьяка в водной среде:



Мышьяковистая кислота существует только в растворах. Восстановление $\text{As}^{+5} \rightarrow \text{As}^{+3}$ лучше происходит в кислой среде:



В настоящее время известно свыше 150 минералов содержащих мышьяк, при этом преобладающая часть из них сульфиды (бинарные соединения с серой) и сульфидарсениды (реальгар (As_4S_4), аурипигмент (As_2S_3)), меньшая часть – арсенаты и арсениды (лёллингит (FeAsS_2), никелин (NiAs)). Образование минералов соединения мышьяка происходит несколькими путями: осаждение из подземных горячих вод, извержение вулкана, действия поверхностных вод, образование соединений с металлами (Ноймаш, 2010; Пузанов и др., 2009; Воробьёв и др., 2020; Реутова и др., 2024).

Существует несколько путей попадания мышьяка в воду: вымывание дождевой водой, вымывание горных пород, промышленные выбросы в источники воды, сельскохозяйственные выбросы, добыча полезных ископаемых (Пуза-

нов и др., 2009; Курсков и др., 2010; Штефан, 2011). Загрязнение подземных вод мышьяком остается глобальной проблемой (Ahamad et al., 2020). Присутствие мышьяка в минеральной воде в значительной степени определяется наличием в ней соединений железа и марганца, органическим веществом, окислительно-восстановительными условиями, гидролизом и диффузионной миграцией (Oremland et al. 2003; Минькевич и др., 2012; Абдулмугалимова и др., 2012; Ahamad et al., 2020; Воробьев, 2020). Технологии очистки мышьяка из водной среды продолжают развиваться (Bo et al., 2022; Wang et al., 2022). Одним из определяющих процессов выделения мышьяка в подземные воды является окисление As-содержащих сульфидов. Другим источником мышьяка в подземных водах потенциально могут быть содержащие мышьяк гидроксиды, если развиваются восстановительные условия или если эти гидроксиды мигрируют как коллоиды в водоносном горизонте.

Мышьяковистые воды в Российской Федерации в основном встречаются в альпийской (Кавказ) и тихоокеанской (Сахалин, Камчатка) геосинклинальных областях, с которыми совпа-

дают провинции углекислых минеральных вод, например, Чвежипсинское месторождение и Синегорское месторождение минеральных вод (Пузанов и др., 2009; Воробьев и др., 2020). Кислые рудничные воды локализованы в Уральской горно-складчатой области (Воробьев и др., 2020). Кислые сероводородно-углекислые фумарольного типа мышьяковистые термы, углекисло-азотные и азотные мышьяковистые термы характерны для районов современной вулканической деятельности (Камчатка, Курильские острова) (Пузанов и др., 2009).

Месторождения бромных, йодобромных мышьяковистых вод расположены в основном в пределах глубоких водоносных горизонтах Терско-Кумского артезианского бассейна (Путилина В. С., 2011).

В водах в парагенетической ассоциации с мышьяком всегда находится бор, содержание которого в пересчете на ортоборную кислоту может доходить до граммовых значений. Одним из известных месторождений мышьяковистых вод является Синегорское месторождение минеральных подземных вод Сахалинской области (Лимонов и др., 2013).

Основные химические показатели Синегорской воды:

Минерализация, г/дм ³	18,0–22,0
Основные ионы, определяющие гидрохимический тип, мг-экв. %:	
Cl ⁻	60–80
HCO ₃ ⁻	20–40
(Na ⁺⁺ K ⁺).....	>85
Основной ионный состав, мг/дм ³ :	
Анионы:	
HCO ₃	3400–5800
SO ₄ ²⁻	<50
Cl ⁻	5400–7000
Катионы:	
Ca ²⁺	130–200
Mg ²⁺	140–210
(Na ⁺⁺ K ⁺).....	5300–6200
Биологически активные компоненты, мг/дм ³ :	
H ₃ BO ₃	2300–2600
I.....	15–17
As.....	20–25
H ₂ SiO ₃	35–75
CO ₂	2000–2500

Также к углекислым мышьяковистым водам относятся минеральные воды месторождения Чвежипсе. По литературным данным, гидрокар-

бонатная натриево-кальциевая вода, содержит биологически активные компоненты: свободный диоксид углерода CO₂ – 2500 мг/дм³, метакрем-

ниевую кислоту $\text{H}_2\text{SiO}_3 - 30,6 \text{ мг/дм}^3$, мышьяковистую кислоту $\text{H}_3\text{AsO}_3 - 7,6 \text{ мг/дм}^3$, метаборную кислоту $\text{HBO}_2 - 32,8 \text{ мг/дм}^3$. Наглядное изображение химического состава данной минеральной воды приведено ниже в виде формулы Курлова, которая представляет собой псевдодробь, в числителе которой слева направо записывают анионы в порядке их убывания, а в знаменателе в том же порядке – катионы, слева от дроби записывают минерализацию:

$$\text{M}_{3,0} \frac{\text{HCO}_3 92}{\text{Ca} 62 (\text{Na} + \text{K}) 28},$$

где М – минерализация, г/дм³; HCO_3 – эквивалентная концентрация гидрокарбонатов, мг-экв.%; Са – эквивалентная концентрация кальция, мг-экв.%; Na + К – суммарная эквивалентная концентрация натрия и калия, мг-экв.%.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЫШЬЯКОВИСТЫХ ВОД

Терапевтический эффект при применении минеральных вод обусловлен как содержанием биологически активных соединений, так и другими особенностями минеральной воды: минерализацией, основным химическим составом, показателем реакции среды, температурой (Боголюбов, 2020). Считается, что мышьяк является условно эссенциальным микроэлементом. Исторически мышьяк использовался в медицине (Paul et al., 2023), но риски для здоровья от него в пищевых продуктах (Rokonuzzaman et al., 2022) и в зонах добычи полезных ископаемых (Faria et al., 2023) требуют контроля.

Известно, что мышьяк взаимодействует в организме человека с тиоловыми группами белков, цистеином, глутатионом, липолиевой кислотой. Мышьяк оказывает влияние на окислительные процессы в митохондриях и принимает участие во многих других важных биологических процессах. Считается, что мышьяк аналогично витамину D контролирует фосфорно-кальциевый обмен (Наход, 2013). Оказывая влияние на ферментные процессы, мышьяк способствует изменению энергетического потенциала клеток и повышает их устойчивость к различным воздействиям, регулирует работу центральной нервной системы и опорно-двигательного аппарата (Устинова и др., 2019). Мышьяк влияет на иммунную систему, бактериостатически воздействует на патогенные микроорганизмы. Дефицит мышьяка может проявляться замедлением роста,

поседением волос, аллергическими заболеваниями, меланозом кожи, деминерализацией костей (Шантырь и др., 2015).

Мышьяковистые воды рекомендованы как к внутреннему, так и к наружному применению в целях лечения и профилактики заболеваний при курсовом потреблении по специальным дифференцированным методикам с учётом различных нозологических форм заболеваний, их стадий, сроков развития, характера выявленных метаболических нарушений, сопутствующих заболеваний.

В ранее проведённых экспериментальных исследованиях доказано, что регулярное питьевое применения мышьяковистых вод активирует процессы ассимиляции, что способствует росту и укреплению организма. Было также установлено, что при приёме мышьяка внутрь замедляется обмен веществ и снижаются окислительные процессы. Мышьяк из минеральной воды в случае применения ее внутрь проникает в организм и задерживается в нём значительное время после прекращения приёма воды. В печени мышьяк задерживается в небольших количествах, значительно больше его обнаруживается в крови, коже и подкожно-жировой клетчатке. В связи с этим к одному из показаний применения данных вод относятся болезни кожи и подкожной клетчатки, крови, эндокринные и обменные заболевания. При применении мышьяковистых минеральных вод, помимо стимуляции кроветворения, улучшаются функции сердечно-сосудистой системы, желудка, кишечника.

При наружном применении мышьяковистых минеральных вод часть мышьяка поступает в организм через слизистые оболочки или кожу. При этом при принятии ванны с минеральной водой мышьяк поступает в организм через неповреждённую кожу спустя 2-3 ч. Попадая в клетки, он вступает в конкурентные отношения, оказывая влияние на разобщение свободного окисления от фосфорилирования, и способствует снижению уровня свободного радикального окисления. Также мышьяковистые воды повышают резистентность клеточных структур. Своё положительное действие мышьяковистые воды доказали также в экспериментальной модели атеросклероза. Развивающиеся под влиянием мышьяковистых ванн нейро-рефлекторные процессы способствуют продукции гормональных регуляторов, что ведёт к снижению интенсивности течения различных воспалительных и аллергических заболеваний, заболеваний женской репродуктивной системы, нормализации обменных процессов.

Однако рацион современного человека содержит достаточное количество мышьяка и не требует его дополнительного приёма. Наоборот, в связи с токсичностью мышьяка усилия санитарных служб направлены на снижение его содержания в пищевых продуктах (Хантурина и др., 2005; Иноземцев и др., 2015; Кольдибекова и др., 2020).

Безусловно, действие мышьяковистых вод значительно сложнее, чем влияние только мышьяка как микроэлемента на клетку, поскольку, кроме него, в водах содержатся другие элементы, соли и газы. В связи с этим возникает необходимость детального изучения химического взаимодействия мышьяка с другими элементами в живых организмах. Достаточно изучена взаимосвязь мышьяка и селена, мышьяка и йода. Несомненно, что мышьяк взаимодействует и с другими элементами, и такое взаимодействие может как усиливать биохимическое воздействие мышьяка на организм человека, так и снижать его.

В отличие от соединений тяжёлых металлов, таких как свинец, кадмий, ртуть, способных накапливаться в организме животных и человека, мышьяк длительно не накапливается в тканях, при этом существует динамическое равновесие между поступлением мышьяка в организм и его выведением. Токсичность мышьяка для гидробионтов демонстрирует его двойственную роль в живых системах (Byeon et al., 2021).

Поэтому необходимо проводить дальнейшие исследования влияния мышьяковистых минеральных вод на различные аспекты физиологии и патофизиологии живых организмов, так как эти воды имеют в своём составе, кроме мышьяка, биологически активные компоненты: бор, йод, кремний, диоксид углерода, железо.

В ранее проведённых исследованиях показано, что эффективность мышьяковистых вод заключается в том, что мышьяк при употреблении таких вод активно всасывается и выводится из организма, но медленнее, чем многие фармацевтические препараты, что обеспечивает более длительное лечебное действие при меньших дозах мышьяка (Фесюн и др., 2022). Но в обычном понимании мышьяк ассоциируется со словом «яд». Канцерогенный потенциал мышьяка требует осторожности (Hall, 2002) и поэтому до сих пор изучается специалистами соответствующих областей знания, и основной вопрос «доза-эффект» обуславливает одно из дальнейших направлений исследований.

БАЛЬНЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЫШЬЯКОВИСТЫХ ВОД

Испытания природных минеральных вод проводятся в различных организациях. Показатели химической безопасности, вредные (токсичные) для человека компоненты, основные бальнеологические показатели лечебной значимости природных минеральных вод исследуются в аккредитованном Центре испытаний и экспертизы природных лечебных ресурсов Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России (далее – ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России).

В ГОСТ Р 54316-2020 «Воды минеральные природные питьевые. Общие технические условия» (национальный стандарт Российской Федерации) даны показания к лечебному применению мышьяковистых минеральных вод для лечения некоторых заболеваний желудочно-кишечного тракта, печени и желчевыводящих путей и другие.

Однако, с учётом специфических особенностей химического состава и в соответствии с Классификацией природных лечебных ресурсов, указанных в пункте 2 статьи 2_1 Федерального закона от 23 февраля 1995 г. № 26-ФЗ «О природных лечебных ресурсах, лечебно-оздоровительных местностях и курортах», их характеристик и перечня медицинских показаний и противопоказаний для санаторного лечения и медицинской реабилитации с применением таких природных лечебных ресурсов (Приложение № 1 к приказу Министерства здравоохранения Российской Федерации от 27 марта 2024 года № 143н), необходимо разработать дифференцированные показания, уточняющие курсовое использование минеральной воды в курортологической практике.

Бальнеологическая оценка мышьяковистых минеральных вод проводилась во многих институтах, в том числе и в ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России. В 1973 году ЦНИИКиФ Министерства здравоохранения СССР группой авторов выпущена монография «Мышьяксодержащие минеральные воды СССР», где впервые освещаются вопросы бальнеологии «мышьяксодержащих вод», приведены сведения об их физико-химических особенностях, геолого-гидрогеологических условиях нахождения этих вод в природе, а также некоторые вопросы их формирования. В монографии «Водолечение» Олефиренко В.Т. (1986) представлены данные о физиологических реакциях организма здоровых и больных людей на раз-

личные методические приемы водо- и теплолечения, описан механизм лечебного действия минеральных вод и лечебных грязей, даны рекомендации к применению лечебных природных ресур-

сов. Однако описанные ранее руководства полностью не освещают возможности бальнеологического применения всех типов, подтипов и видов мышьяковистых вод.

Таблица. **Результаты испытаний природных минеральных вод на территории Российской Федерации за 2024 год**

№ п/п	Место отбора образца (пробы) (республика/регион/город)	Месяц проведения испытания	Массовая концентрация мышьяка, мг/дм ³ *	Водородный показатель, ед. pH	Общая минерализация, г/дм ³
1	Республика Крым, г. Евпатория	Август	Менее 0,005	7,9	4
2	Республика Крым, г. Саки	Апрель	Менее 0,005	7,7	2,3
3	Республика Мордовия, г. Саранск	Декабрь	Менее 0,005	7,4	6
4	Калининградская область, г. Зеленоградск	Июнь	Менее 0,005	9,4	1,7
5	Камчатский край, г. Петропавловск-Камчатский**	Октябрь	Менее 0,005	7,7	0,3/0,5
6	Камчатский край, Елизовский р-н	Декабрь	Менее 0,005	7,8	0,2
7	Лискинский район, г. Лиски	Август	Менее 0,005	6,0	1,2
8	Московская область, Одинцовский р-н***	Сентябрь/Декабрь	Менее 0,005	6,3/6,6/7,4	0,6/4,1/59
9	Новгородская область, г. Сольцы	Декабрь	Менее 0,005	7,2	8,7
10	Ненецкий автономный округ, г. Нарьян-Мар	Май	Менее 0,005	7,9	6,3
11	Самарская область, Сызранский р-н	Апрель	Менее 0,005	7,2	0,6
12	Республика Татарстан, г. Набережные Челны	Февраль	Менее 0,005	7,3	2,6
13	Тамбовская область, Инжавинский р-н	Ноябрь	Менее 0,005	5,5	100
14	Тульская область, Суворовский р-н**	Февраль	Менее 0,005	6,9/7,8	3/7
15	Тульская область, Щекинский р-н	Июнь	Менее 0,005	7,4	2,7
16	Западноважненский участок Важненского ММПВ**	Декабрь	Менее 0,005	6,6	2,8/6,8
17	Удмуртская Республика	Октябрь	Менее 0,005	8,9	1,0
18	Чеченская Республика, Серноводский р-н**	Август	Менее 0,005	7,7/8,5	3,3/3,4
19	Чувашская республика, г. Новочебоксарск**	Май	Менее 0,005	7,8/8,6	0,7/5
20	Хостинский район, г. Сочи***	Июль	Менее 0,005/0,006/0,009	7,3	4/5/26
21	Ярославская область, Некрасовский р-н**	Март	Менее 0,005/0,007	7,1/8,4	14/9
22	Вологодская область, Вологодский округ**	Июнь	Менее 0,005/0,009	7,8/8,3	11/35
23	Ярославская область, г. Рыбинск****	Август/Сентябрь	Менее 0,005/0,012	7,1/7,6/7,8/9,3	3,7/5/51/ 78
24	Владимирская область, Петушинский р-н***	Ноябрь	Менее 0,005/0,012	7,6/6,9	0,3/1,4/27
25	Липецкая область, г. Липецк***	Июль	Менее 0,005/0,008	7,8/7,9/7,3	4,0/3,7
26	г. Москва****	Май/Август/Декабрь	Менее 0,005/0,011/0,09	6,5/7,7/8,4/5,8	4,2/4,2/120/241
27	Удмуртская республика, Увинский р-н	Май	0,005	9,0	3,1
28	Республика Башкортостан, Куюргазинский р-н	Июнь	0,006	8,4	14
29	Чувашская республика, Шумерлинский м.о. **	Ноябрь	0,007	6,7/7,3	2,6/5,6
30	Пензенская область, Пензенский р-н	Октябрь	0,007	7,3	8,2
31	Псковская область, Ивановская волость**	Июль	0,008/0,009	7,3/7,6	9,1/83,7
32	Кировская область, г. Киров**	Август	0,009/0,018	8,5/8,9	14,4/14,9
33	Нижегородская область, п.г. Городецкий	Июнь	0,009	8,6	73
34	Вологодская область, г. Череповец**	Ноябрь	0,010/0,013	7,6/6,4	3,4/109,3
35	Запорожская область, Мелитопольский р-н**	Август	0,011/0,041	7,9/8,1	50,7/10,1
36	Пензенская область, г. Пенза**	Октябрь	0,016/0,032	5,6 /7,7	4,3/203,7
37	Кировская область, Кирово-Чепецкий р-н**	Май	0,027/0,035	8,4/8,0	260,3/96,7
38	Республика Грузия, Душетский м. р.	Март	0,045	6,2	3,4

Примечание: * – данные получены на базе Центра испытаний и экспертизы ФГБУ НМИЦ РИК Минздрава России (Москва), таблица составлена на основании лабораторных испытаний, полученных за 2024 год в результате количественного анализа методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией в аккредитованной лаборатории; ** – исследовано 2 образца; *** – исследовано 3 образца; **** – исследовано 4 образца.

В соответствии со статьями 4 и 11_1 Федерального закона «О природных лечебных ресурсах, лечебно-оздоровительных местностях и курортах», Правительство Российской Федерации утвердило Правила подготовки и выдачи специальных медицинских заключений (Постановле-

ние Правительства Российской Федерации от 27 мая 2024 года № 681). Согласно утвержденным правилам, в специальных медицинских заключениях обязательно приводятся:

- исчерпывающий перечень показателей лечебной значимости природного лечебного ресурса,

в нашем случае, природной минеральной мышьяковистой воды;

- методика и способы применения природного лечебного ресурса у детей и (или) у взрослых;

- допустимые (безопасные) суточная и курсовая дозы применения природного лечебного ресурса у детей и (или) у взрослых;

- медицинские показания к применению природного лечебного ресурса у детей и (или) у взрослых в соответствии с перечнем медицинских показаний и противопоказаний для санаторно-курортного лечения, и медицинской реабилитации с применением природных лечебных ресурсов, утверждённым Министерством здравоохранения Российской Федерации;

- перечень научных исследований и (или) результаты соответствующей многолетней практики, на основании которых установлены лечебные свойства природного лечебного ресурса у детей и (или) у взрослых.

Как было сказано выше, мышьяковистые воды мало распространены на территории Российской Федерации. За 2024 год на базе Центра

испытаний и экспертизы природных лечебных ресурсов ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России было проанализировано свыше 50 образцов природной минеральной воды различного генезиса. Результаты испытаний представлены в таблице, где приведены результаты исследования природных минеральных вод из 38 регионов РФ. Анализ полученных данных подтверждает редкость распространения мышьяковистых вод.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ состояния применения минеральных мышьяковистых вод при санаторно-курортном лечении показал, что целесообразно изучение не только физико-химических свойств различных по составу мышьяковистых вод, но и их сравнительная бальнеологическая оценка, поскольку различные формы мышьяка оказывают разное воздействие на организм человека. Также перспективным видится вопрос изучения действия на живые организмы минеральных вод с содержанием мышьяка менее 0,7 мг/дм³.

ЛИТЕРАТУРА

- Абдулмугалимова Т.О., Ревич Б.А. Сравнительный анализ содержания мышьяка в подземных водах Северного Дагестана. География и экология. Юг России: экология, развитие. 2012. № 2. С. 6. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2012-2-81-86>.
- Багрянцева О.В., Хотимченко С.А. Токсичность неорганических и органических форм мышьяка. Вопросы питания. 2021; 90(6): 6–17. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-6-6-17>.
- Боголюбов В.М. Физиотерапия и курортология. Москва: БИНОМ, 2020. 408 с.
- Воробьев А.Е. Природные и техногенные особенности загрязнения природных вод мышьяком. Вестник Атырауского Университета имени Х. Досмухамедова. 2020; 58(3): 139–147; <https://doi.org/10.47649/vau.2020.v58.i3.20>.
- Воробьев А.Е., Щесняк К.Л., Мадасва М.З. Проблема мышьяка в питьевых водах: от Юго-Восточной Азии до Северного Кавказа. Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа: Коллективная монография по материалам X Всероссийской научно-технической конференции в 2 частях, Грозный, 14–16 октября 2020 года. Том X. Часть 2. Грозный: ООО «Формат». 2020; 285–290.
- Воробьев А.Е., Абдинов Р.Ш., Щесняк К.Л. Природные и техногенные особенности загрязнения природных вод мышьяком. Вестник Атырауского Университета имени Х. Досмухамедова. 2020; 58(3): 139–147.
- Иноземцев А.Н., Карпухина О.В., Бокиева С. Б., Гумаргалиева К. З. Тяжёлые металлы: совместное воздействие с другими химическими агентами на центральную нервную систему. Микроэлементы в медицине. 2015. 16(3): 20–28; <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2015-16-3-20-28>.
- Искандарова Ш.Т., Абдурахимов З.А., Мусаева Д.М. Результаты экспериментального исследования антимикробной активности лечебных вод из различных скважин федерации профсоюзов Узбекистана. Вестник восстановительной медицины. 2024; 23(5): 79–86; <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-5-79-86>.
- Кольдибекова Ю.В., Землянова М.А., Пустовалова О.В., Пескова Е.В. Влияние повышенного содержания мышьяка в питьевой воде на изменения биохимических показателей негативных эффектов у детей, проживающих на территории природной геохимической провинции. Гигиена детей и подростков. Гигиена и санитария. 2020; 99(8): 834–840; <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-8-834-840>.
- Кульчицкая Д.Б., Фесюн А.Д., Юрова О.В., Кончугова Т.В., Кияткин В.А., Алханова Т.В., Марфина Т.В. Ретроспективный анализ проведенных экспериментальных и клинических исследований действия хлоридных натриевых ванн на организм. Вестник восстановительной медицины. 2023; 22(3): 102–112; <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-3-102-112>.
- Курсков С.Н., Растагаев О.Ю., Чупис В.Н. Мышьяк в природных системах и его эссенциальность. Химия природных сред и объектов. Теоретическая и прикладная экология. 2010; (3): 33–41.
- Лимонов В.И., Парфёнов А.А., Жарков А.И., Федотова М.Ю. Природные лечебные ресурсы и факторы на территории курорта Синегорские Минеральные воды. Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine. 2023; 4: 22–25.
- Минькевич И.И., Нуриев И.С., Шестов И.Н. Минеральные воды: Учебное пособие. Казань: Казанский университет. 2012; 127 с.
- Наход А.А., Поздняков А.М., Щербак Н.П. Соединения мышьяка и его действия на организм. Волгоградский государственный медицинский университет. Успехи современного естествознания. 2013; 9: 119–120.

- Нойман Ш. Очистка питьевой воды от мышьяка селективными гибридными адсорбентами. Вода: химия и экология. 2010; 12: 18–22.
- Пузанов А.В., Бабошкина С.В. Мышьяк в системе почвы природные воды растения Алтай. Почвоведение. 2009; 9: 1073–1082.
- Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.И. Поведение мышьяка в почвах, горных породах и подземных водах. Аналитический обзор. Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Новосибирск, 2011; 249 с.
- Реутова Н.В., Реутова Т.В., Дреева Ф.Р. Сравнительная характеристика содержания алюминия и мышьяка в поверхностных водах Эльбрусского и Казбекского вулканических центров. Геология и геофизика Юга России. 2024; 14(2): 231–243; <https://doi.org/10.46698/VNC.2024.80.62.018>.
- Устинова О.Ю., Шур П.З., Носов А.Е. Санитарно-гигиеническая характеристика риска и клиническая оценка причинённого вреда здоровью населения геохимической провинции при длительном поступлении мышьяка с питьевой водой, Пермский государственный университет имени академика Е.А. Вагнера, Пермь. 2019; 15–16.
- Фесюн А.Д. (ред.) Атлас природных лечебных ресурсов. Смоленск: ООО Типография «матрица». 2024. 200 с.
- Фесюн А.Д. Современное состояние и перспективы развития санаторно-курортного комплекса Российской Федерации. Вестник восстановительной медицины. 2023; 22(1): 8–15; <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-1-8-15>.
- Фесюн А.Д., Рачин А.П., Яковлев М.Ю. (ред.) Научно-практическое руководство для врачей «Санаторно-курортное лечение». Т. 1. Основа санаторно-курортного лечения. Москва. 2022; 496 с.
- Хантурина Г.Р., Узбеков Б.А. Нарушения в организме, вызванные мышьяком и протекторные свойства цитафата. Биотехнология. Теория и практика. 2005; 1: 56–61.
- Шантырь И.И., Яковлева М.В., Власенко М.А., Ушал И.Э., Харламычев Е.М., Соболевская Ю.А., Макарова Н.В., Парфенов А.И. Оценка биоэлементного статуса у спасателей и сотрудников федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы МЧС России и способы его нормализации. Методические рекомендации. СПб: ВЦЭРМ им. А.М. Никифорова МЧС России. 2015; С. 44.
- Шкляев А.Е., Казарин Д.Д., Максимов К.В. Влияние природной минеральной воды на регуляторы гастродуоденальной моторики у молодежи: сравнительное контролируемое исследование. Вестник восстановительной медицины. 2024; 23(6): 38–44; <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-6-38-44> (In Russ.).]
- Штефан Н. Новейшие разработки в области очистки питьевой воды от мышьяка селективными гибридными адсорбентами. Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2011; 37(1): 50–54.
- Ahamad A., Raju N.J., Madhav S., Khan A.H. Trace elements contamination in groundwater and associated human health risk in the industrial region of southern Sonbhadra, Uttar Pradesh, India. Environ Geochem Health. 2020; 42(10): 3373–3391; <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00582-7>.
- Bo G.Y., Chen Z.Y., Gong Z.B., Ma J. Advances in On-site Analytical Methods for Inorganic Arsenic in Environmental Water. Huan Jing Ke Xue. 2022; 43(11): 4845–4857. (In Chinese); <https://doi.org/10.13227/j.hj.kx.202206023>.
- Byeon E., Kang H.M., Yoon C., Lee J.S. Toxicity mechanisms of arsenic compounds in aquatic organisms. Aquat Toxicol. 2021. 237: 105901; <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2021.105901>.
- Faria M.C. da S., Hott R. da C., Santos M.J.D., Santos M.S., Andrade T.G., Bomfeti C.A., Rocha B.A., Barbosa F.Jr., Rodrigues J.L. Arsenic in Mining Areas: Environmental Contamination Routes. Int J Environ Res Public Health. 2023. 20(5): 4291; <https://doi.org/10.3390/ijerph20054291>.
- Hall A.H. Chronic arsenic poisoning. Toxicol Lett. 2002; 128(1-3): 69–72; [https://doi.org/10.1016/s0378-4274\(01\)00534-3](https://doi.org/10.1016/s0378-4274(01)00534-3).
- Kairgeldina S.A., Tekebaev K.O., Baurzhan M.B., Absattarova K.S., Slivkina N.V. Key Milestones and Events in the History of Kazakh Balneology. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(6): 111–118; <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-6-111-118>.
- Oremland R.S., Stolz J.F. The ecology of arsenic. Science. 2003; 300(5621): 939–44; <https://doi.org/10.1126/science.1081903>.
- Paul N.P., Galván A.E., Yoshinaga-Sakurai K., Rosen B.P., Yoshinaga M. Arsenic in medicine: past, present and future. Bio-metals. 2023. 36(2): 283–301; <https://doi.org/10.1007/s10534-022-00371-y>.
- Rokonuzzaman M.D., Li W.C., Wu C., Ye Z.H. Human health impact due to arsenic contaminated rice and vegetables consumption in naturally arsenic endemic regions. Environ Pollut. 2022; 308: 119712; <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119712>.
- Rocha L.S., Ramos G.L.P.A., Rocha R.S., Braz B.F., Santelli R.E., Esmerino E.A., Freitas M. Q., Mársico E.T., Bragotto A.P.A., Quitério S.L., Cruz A.G. Heavy metals and health risk assessment of Brazilian artisanal cheeses. Food Res Int. 2023: 174.
- Wang Y., Tian J., Peng J., Sun W., Zhang X., Han H., Shen J. Fundamental research on selective arsenic removal from high-salinity alkaline wastewater. Chemosphere. 2022; 307 (Pt 3): 135992; <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135992>.

Информация об авторах:

Людмила Леонидовна Парнякова – инженер центра испытаний и экспертизы
природных лечебных ресурсов
E-mail: ParnyakovaLL@nmicrk.ru; ORCID: 0009-0002-7768-3236; SPIN: 4104-0953

Екатерина Алексеевна Гурьевская – научный сотрудник;
ORCID: 0000-0001-8048-5754; SPIN: 9497-1073

Ирина Владимировна Семенова – научный сотрудник;
ORCID: 0000-0001-8227-9962; SPIN: 5073-7882

Ольга Николаевна Гореликова – научный сотрудник;
ORCID: 0000-0003-2031-6582; SPIN: 5619-6461

Ирина Александровна Гришечкина – к.м.н., старший научный сотрудник,
отдел изучения механизмов действия физических факторов;
ORCID: 0000-0002-4384-2860; SPIN: 2212-9967

Максим Юрьевич Яковлев – д.м.н., главный научный сотрудник,
отдел изучения механизмов действия физических факторов;
ORCID: 0000-0002-5260-8304; SPIN: 3832-3419

Ирина Николаевна Рыжова – к.м.н., ведущий специалист отдела гигиены;
ORCID: 0000-0003-0696-5359; SPIN: 8321-1192

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

EFFECTS OF NATURAL MINERAL ARSENIC WATERS ON THE HUMAN BODY

**L.L. Parnyakova¹, E.A. Guryevskaya¹, I.V. Semenova¹, O.N. Gorelikova¹,
I.A. Grischechkina¹, M.Yu. Yakovlev^{1,2}, I.N. Ryzhova³**

¹ National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology" of the Ministry of Health of the Russian Federation;
32, Novy Arbat, Moscow, 121099, Russian Federation

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry
of Health of the Russian Federation (Sechenov University);
8, building 2, Trubetskaya street, Moscow, 2119991, Russian Federation

³ Center for Strategic Planning of the Federal Medical and Biological Agency;
10, building 1, Pogodinskaya, Moscow, 1119121, Russian Federation

ABSTRACT. Arsenic waters are rare large waters that are used for internal and external use. Currently, the issue of studying arsenic waters, the possibilities of their use in spa treatment, as well as balneological assessment are relevant.

The aim of the study is to study modern problems of external and internal use of mineral arsenic waters in spa treatment for the purpose of further research to determine.

Materials and method. A search of literary sources on the impact of natural arsenic mineral waters on the human body was conducted. A total of about 250 sources were analyzed, the final analysis included 38 sources of literature.

Results. Arsenic is involved in many important biological processes, regulates the function of the central nervous system, musculoskeletal system, hematopoiesis, and the body's immune system. In a living organism, the connection of arsenic with other elements can both enhance and reduce its biochemical effects, so different compositions of arsenic waters can cause various pathological and physiological reactions in the body. An important area of research is the study of the carcinogenic properties of arsenic and the study of the "dose-effect" issue in experimental and clinical studies, since indications and contraindications for the use of mineral waters with an arsenic content of less than 0.7 mg / dm³ have not yet been developed.

Conclusions. The effectiveness of arsenic waters is that arsenic is actively absorbed when drinking such waters, but is excreted from the body more slowly than pharmaceuticals, which provides a longer therapeutic effect with smaller doses of arsenic, which in the usual sense is associated with the word "poison". The carcinogenicity of arsenic and its compounds is still being studied by specialists, the main question is: "dose-effect". Promising areas of further research are the study of the mechanisms of action of individual groups of arsenic waters for various diseases for use in sanatorium and resort organizations.

KEYWORDS: mineral water, arsenic, minerals.

For citation: Parnyakova L.L., Guryevskaya E.A., Semenova I.V., Gorelikova O.N., Grischechkina I.A., Yakovlev M.Yu., Ryzhova I.N. Effects of natural mineral arsenic waters on the human body. Trace elements in medicine. 2025;26(2):20–13. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-2-20-30.

REFERENCES

- Abdulgulimova T. O., Revich B. A. Comparative analysis of arsenic content in groundwater of Northern Dagestan. Geography and ecology. South of Russia: ecology, development. 2012. 2: 6. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2012-2-81-86> (In Russ.).
- Bagryantseva O.V., Khotimchenko S.A. Toxicity of inorganic and organic forms of arsenic. Nutrition Issues. 2021; 90(6): 6–17; <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-6-6-17> (In Russ.).
- Bogolyubov V.M. (ed.) Physiotherapy and balneology. Moscow, BINOM, 2020, 408. (In Russ.).
- Vorobyov A.E. Natural and technogenic features of pollution of natural waters with arsenic. Bulletin of Atyrau University named after H. Dosmukhamedov. 2020; 58(3): 139–147; <https://doi.org/10.47649/vau.2020.v58.i3.20> (In Russ.).
- Vorobyov A.E., Shchesnyak K.L., Madaeva M.Z. The problem of arsenic in drinking water: from Southeast Asia to the North Caucasus. Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus: Collective monograph based on the materials of the X All-Russian scientific and technical conference in 2 parts, Grozny, October 14–16, 2020. Volume X. Part 2. Grozny, OOO "Format". 2020; 285–290. (In Russ.).
- Vorobyov A.E., Abdinov R.Sh., Shchesnyak K.L. Natural and technogenic features of pollution of natural waters with arsenic. Bulletin of Atyrau University named after H. Dosmukhamedov. 2020; 58(3): 139–147. (In Russ.);

<https://doi.org/10.47649/vau.2020.v58.i3.20>.

Inozemtsev A. N., Karpushina O. V., Bokieva S. B., Gumargalieva K. Z. Heavy metals: combined effect with other chemical agents on the central nervous system. *Microelements in Medicine*. 2015; 16(3): 20–28 (In Russ.); <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2015-16-3-20-28>.

Iskandarova Sh.T., Abdurakhimov Z.A., Musaeva D.M. Results the Experimental Study of the Antimicrobial Activity of Medicinal Waters from Various Wells of the Federation of Trade Unions of Uzbekistan. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2024; 23(5): 79–86(In Russ.); <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-5-79-86>.

Koldibekova Yu.V., Zemlyanova M.A., Pustovalova O.V., Peskova E.V. The influence of elevated arsenic content in drinking water on changes in biochemical indicators of negative effects in children living in the territory of a natural geochemical province. Hygiene of children and adolescents. *Hygiene and Sanitation*. 2020; 99(8): 834–840(In Russ.); <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-8-834-840>.

Kulchitskaya D.B., Fesyun A.D., Yurova O.V., Konchugova T.V., Kiyatkin V.A., Apkhanova T.V., Marfina T.V. Retrospective Analysis of Experimental and Clinical Studies of the Effect of Sodium Chloride Baths on the Body. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2023; 22(3): 102–112. (In Russ.); <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-3-102-112>.

Kurskov S. N., Rastegaev O. Yu., Chupis V. N. Arsenic in natural systems and its essentiality. *Chemistry of natural environments and objects. Theoretical and applied ecology*. 2010; 3: 33–41 (In Russ.).

Limonov V.I., Parfenov A.A., Zharkov A.I., Fedotova M.Yu. Natural healing resources and factors on the territory of the resort Sinegorsk Mineralnye Vody. *Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine*. 2023; 4: 22–25. (In Russ.).

Minkevich I. I., Nuriyev I. S., Shestov I. N. Mineral waters: Textbook. Kazan, Kazan University. 2012; 127 p. (In Russ.).

Nakhod A.A., Pozdnyakov A.M., Shcherbak N.P. Arsenic compounds and its effects on the body. *Volgograd State Medical University. Advances in modern natural science*. 2013; 9: 119–120. (In Russ.).

Neumann Sh. Arsenic removal from drinking water using selective hybrid adsorbents. *Water: Chemistry and Ecology*. 2010; 12: 18–22. (In Russ.).

Puzanov A.V., Baboshkina S.V. Arsenic in the soil system, natural waters, plants of Altai. *Soil Science*. 2009; (9): 1073–1082. (In Russ.).

Putilina V.S., Galitskaya I.V., Yuganova T. I. Behavior of arsenic in soils, rocks and groundwater. *Analytical review*. E.M. Sergeev Institute of Geoecology RAS, Novosibirsk. 2011; 249 p. (In Russ.).

Reutova N.V., Reutova T.V., Dreeva F.R. Comparative characteristics of aluminum and arsenic content in surface waters of the Elbrus and Kazbek volcanic centers. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2024; 14(2): 231–243. (In Russ.); <https://doi.org/10.46698/VNC.2024.80.62.018>.

Ustinova O.Yu., Shur P.Z., Nosov A.E. Sanitary and hygienic characteristics of the risk and clinical assessment of the harm caused to the health of the population of the geochemical province with long-term intake of arsenic with drinking water, Perm State University named after Academician E.A. Wagner, Perm. 2019; 15–16. (In Russ.).

Fesyun A.D. (ed.) Atlas of natural medicinal resources. Smolensk: OOO Typography "Matrix". 2024, 200 p. (In Russ.).

Fesyun A.D. Current Status and Prospects for the Development of Health Resort Complex of the Russian Federation. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2023; 22(1): 8–15. (In Russ.); <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-1-8-15>.

Fesyun A.D., Rachin A.P., Yakovlev M.Yu. (eds.) Scientific and practical guide for doctors "Sanatorium-resort treatment". V. 1. Basis of sanatorium-resort treatment. Moscow. 2022; 496 p. (in Russ.).

Khanturina, G. R., Uzbekov B. A. [Disorders in the body caused by arsenic and the protective properties of citafate. *Biotechnology. Theory and Practice*. 2005; 1: 56–61. (In Russ.).

Shantyr I.I., Yakovleva M.V., Vlasenko M.A., Ushal I.E., Kharlamychev E.M., Sobolevskaya Yu.A., Makarova N.V., Parfenov A.I. Assessment of the bioelement status of rescuers and employees of the federal fire service of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia and methods for its normalization. *Methodological recommendations*. St. Petersburg: A. M. Nikiforov All-Russian Center for Emergency Medical Research of the Ministry of Emergency Situations of Russia. 2015: 44. (In Russ.).

Shklyayev A.E., Kazarin D.D., Maksimov K.V. The Effect of Natural Mineral Water on Regulators of Gastrointestinal Motility in Young Adults: a Comparative Controlled Study. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2024; 23(6): 38–44 (In Russ.); <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-6-38-44>.

Stefan N. Latest developments in the field of drinking water purification from arsenic using selective hybrid adsorbents. *Water purification. Water treatment. Water supply*. 2011; 37(1): 50–54. (In Russ.).

Ahamad A., Raju N.J., Madhav S., Khan A.H. Trace elements contamination in groundwater and associated human health risk in the industrial region of southern Sonbhadra, Uttar Pradesh, India. *Environ Geochem Health*. 2020; 42(10): 3373–3391; <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00582-7>.

Bo G.Y., Chen Z.Y., Gong Z.B., Ma J. Advances in On-site Analytical Methods for Inorganic Arsenic in Environmental Water. *Huan Jing Ke Xue*. 2022; 43(11): 4845–4857. (In Chinese); <https://doi.org/10.13227/j.hjx.202206023>.

Byeon E., Kang H.M., Yoon C., Lee J.S. Toxicity mechanisms of arsenic compounds in aquatic organisms. *Aquat Toxicol*. 2021. 237: 105901; <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2021.105901>.

Faria M.C. da S., Hott R. da C., Santos M.J.D., Santos M.S., Andrade T.G., Bomfeti C.A., Rocha B.A., Barbosa F.Jr., Rodrigues J.L. Arsenic in Mining Areas: Environmental Contamination Routes. *Int J Environ Res Public Health*. 2023. 20(5): 4291; <https://doi.org/10.3390/ijerph20054291>.

Hall A.H. Chronic arsenic poisoning. *Toxicol Lett*. 2002; 128(1-3): 69–72; [https://doi.org/10.1016/s0378-4274\(01\)00534-3](https://doi.org/10.1016/s0378-4274(01)00534-3).

Kairgeldina S.A., Tekebaev K.O., Baurzhan M.B., Absattarova K.S., Slivkina N.V. Key Milestones and Events in the History

of Kazakh Balneology. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(6): 111–118; <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-6-111-118>.

Oremland R.S., Stolz J.F. The ecology of arsenic. Science. 2003; 300(5621): 939–44; <https://doi.org/10.1126/science.1081903>.

Paul N.P., Galván A.E., Yoshinaga-Sakurai K., Rosen B.P., Yoshinaga M. Arsenic in medicine: past, present and future. Bio-metals. 2023. 36(2): 283–301; <https://doi.org/10.1007/s10534-022-00371-y>.

Rokonuzzaman M.D., Li W.C., Wu C., Ye Z.H. Human health impact due to arsenic contaminated rice and vegetables consumption in naturally arsenic endemic regions. Environ Pollut. 2022; 308: 119712; <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119712>.

Rocha L.S., Ramos G.L.P.A., Rocha R.S., Braz B.F., Santelli R.E., Esmerino E.A., Freitas M. Q., Mársico E.T., Bragotto A.P.A., Quitério S.L., Cruz A.G. Heavy metals and health risk assessment of Brazilian artisanal cheeses. Food Res Int. 2023: 174.

Wang Y., Tian J., Peng J., Sun W., Zhang X., Han H., Shen J. Fundamental research on selective arsenic removal from high-salinity alkaline wastewater. Chemosphere. 2022; 307 (Pt 3): 135992; <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135992>.

Information about the authors:

Lyudmila L. Parnyakova – Engineer of the Center for Testing and Examination of Natural Healing Resources;

E-mail: ParnyakovaLL@nmicrk.ru; ORCID: 0009-0002-7768-3236; SPIN: 4104-0953

Ekaterina A. Guryevskaya – Research Scientist;

ORCID: 0000-0001-8048-5754; SPIN: 9497-1073

Irina V. Semenova – Research Scientist;

ORCID: 0000-0001-8227-9962; SPIN: 5073-7882

Olga N. Gorelikova – Research Scientist;

ORCID: 0000-0003-2031-6582; SPIN: 5619-6461

Irina A. Grishechkina – Research Scientist;

ORCID: 0000-0002-4384-2860; SPIN: 2212-9967

Maxim Yu. Yakovlev – Dr.Sc.(Med.), Chief Research Scientist,

Department of Studying the Mechanisms of Action of Physical Factors;

ORCID: 0000-0002-5260-8304; SPIN: 3832-3419

Irina N. Ryzhova – MD, Ph.D. (Med.), Leading Specialist of the Hygiene Department;

ORCID: 0000-0003-0696-5359; SPIN: 8321-1192

Conflict of interest

The authors declare no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Поступила 2 апреля 2025 года
Принята к публикации 29 мая 2025 года