

УДК 504.4.054

**СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ В РАЙОНЕ БЫВШЕГО  
АКТАШСКОГО ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

**Щучинов Л.В.<sup>1</sup>, Михеев В.Н.<sup>1</sup>, Кац В.Е.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены», Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>АО «Алтай-Гео», Республика Алтай, Горно-Алтайск, Россия

**Введение.** В Республике Алтай с 1942 по 2008 годы функционировало Акташское горно-металлургическое предприятие (АГМП), которое до 1990 года специализировалось на добыче металлической ртути из одноименного месторождения, а в 1991-2007 гг. в связи с истощением запасов руды перешло на переработку ртутных отходов, поступающих из сибирских регионов. После банкротства АГМП на территории предприятия остались отходы, концентрации ртути в которых достигают 160-200 мг/кг.

**Цель исследования** - оценить влияние бывшего АГМП на состояние поверхностных и подземных вод в отношении содержания ртути в близлежащем поселке Акташ и в реках Ярлы-Амры, Чибитка и Чуя, находящихся орографически ниже АГМП.

**Материалы и методы.** Анализ литературных сведений и мониторинговых данных по лабораторному исследованию поверхностных и подземных вод на ртуть в поселке Акташ, в реках Ярлы-Амры, Чибитка и Чуя, проведенных в 1991–2022 годах.

**Результаты.** Показано, что в период работы АГМП оно являлось значимым объектом загрязнения ртутью бассейна рек Ярлы-Амры, Чибитки, Чуи. Между тем лабораторные исследования питьевой воды в п. Акташ и поверхностных вод близлежащих рек, проведенные в 2009-2022 году, не выявили в пробах воды превышения предельно допустимой концентрации ртути. Однако факт нахождения большого количества вредных отходов на месте бывшего АГМП ставит вопрос об их утилизации, поэтому в 2022 году эта территория была включена в Государственный реестр объектов накопленного вреда окружающей среде (ГРОНВОС) с целью ее оздоровления.

**Ключевые слова:** ртуть, концентрации, подземные воды, поверхностные воды, Акташское горно-металлургическое предприятие, отходы, Республика Алтай.

**Для цитирования:** Щучинов Л.В., Михеев В.Н., Кац В.Е. Содержание ртути в водных объектах в районе бывшего Акташского горно-металлургического предприятия. Медицина труда и экология человека. 2023:131-142.

**Для корреспонденции:** Щучинов Леонид Васильевич, к.м.н., ведущий научный сотрудник ФБУН «Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены» Роспотребнадзора, e-mail: leo2106@mail.ru.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2023-10310>

**MERCURY CONCENTRATIONS IN SURFACE AND GROUNDWATER  
IN THE AREA OF THE FORMER AKTASH  
MINING AND METALLURGICAL ENTERPRISE**

**Shchuchinov L.V.<sup>1</sup>, Mikheev V.N.<sup>1</sup>, Kats V.E.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>FBSI "Novosibirsk Research Institute of Hygiene", Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>JSC "Altai-Geo", Gorno-Altai, Russia

**Introduction.** The Aktash Mining and Metallurgical Enterprise (AMME) which functioned in the Altai Republic from 1942 to 2008, specialized in the extraction of metallic mercury from the deposit of the same name until 1990, and between 1991 and 2007, due to the depletion of ore reserves, it switched to the processing of mercury waste arriving from the Siberian regions. After the AMME bankruptcy, wastes with the concentration of mercury reaching 160-200 mg/kg. were left in the enterprise area.

**The aim** of the study was to assess the mercury contamination of surface and groundwater in the Aktash settlement and in the Yarly-Amry, Chibitka and Chuya rivers, which are located orographically below the AMME.

**Material and methods.** Analysis of literary sources and monitoring data from laboratory studies of surface and groundwater for mercury in the village of Aktash, on the Yarly-Amry, Chibitka and Chuya rivers, conducted between 1991 and 2022.

**Results.** The results of the studies showed that during the period of the Aktash Mining and Metallurgical Enterprise functioning, it was a significant object of mercury pollution in the basin of the Yarly-Amry, Chibitka, Chuya rivers. Meanwhile, laboratory studies of drinking water in the village of Aktash and surface waters of nearby rivers, conducted between 2009 and 2022, did not reveal an excess of the maximum permissible concentration of mercury in water samples. However, the fact that a large amount of hazardous waste is located in the area of the former AMME raises the question of their disposal, therefore, in 2022, this area was included in the State Register of Accumulated Environmental Damage Objects.

**Keywords:** mercury, concentrations, groundwater, surface water, Aktash Mining and Metallurgical Enterprise, waste, the Altai Republic

**For citation:** Shchuchinov L.V., Mikheev V.N., Kats V.E. Mercury concentrations in surface and groundwater in the area of the former Aktash mining and metallurgical enterprise. *Occupational Health and Human Ecology*. 2023:131-142.

**For correspondence:** Leonid V. Shchuchinov, Cand. of Medicine, leading researcher at the Novosibirsk Research Institute of Hygiene, e-mail: leo2106@mail.ru

**Financing:** the study had no financial support.

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2023-10310>

**Введение.** В Республике Алтай находятся многочисленные месторождения ртути, одно из наиболее крупных – Акташское месторождение, расположенное в Улаганском районе. Оно было открыто в 1935 году в горной местности (на склоне Курайского хребта, на высоте 2100 м над уровнем моря), в 8 км восточнее от села Акташ. Из-за сурового климата весь Улаганский район, включая Акташ, приравнен к районам Крайнего Севера. Решение о разработке этого ртутного месторождения было принято в начале Великой Отечественной войны – 18 декабря 1941 г., так как оборонная промышленность Советского Союза остро нуждалась в этом металле. Уже в декабре 1941 г. в селе Акташ была создана старательская артель, начались подземные горные работы, строительство производственных помещений и барачков для жилья. В феврале 1942 г. в Акташском ртутном руднике была получена первая ртуть для фронта, а всего в этом году было добыто 16,6 тонн металлической руды [1]. Работа на руднике тогда была очень тяжелой: руда в дробильное отделение доставлялась на тачках,

а дробили, орудуя тяжелыми молотками. Возгонку ртути вели в примитивных ретортных печах, конденсатором служила бочка с водой, в которую вводилась трубка из реторты [2].

С 1942 по 1990 гг. на руднике перерабатывались запасы месторождения, из руд которого на металлургическом заводе извлекалась металлическая ртуть. После войны производство активно развивалось и модернизировалось, увеличивался объем выпускаемой продукции. Одновременно рос и благоустраивался ближайший населенный пункт - Акташ, став поселком городского типа [3].

К началу 1990 года запасы месторождения истощились и предприятие начало извлекать ртуть из ртутьсодержащих отходов, которые доставлялись с химических заводов Сибирского региона (Славгород, Новосибирск, Усолье-Сибирское и т.п.). Правопреемником Акташского рудника (Акташского рудоуправления) стало ОАО «Акташское горно-металлургическое предприятие» (АГМП), где за 1990-2004 гг. было переработано более 5 тыс. тонн ртутьсодержащих отходов (PCO) и при этом получено 100 тонн товарной ртути марки Р-2. Применялась технология обжига шихты ртутьсодержащих отходов, смешанных с огарками, в печи при температуре 750–800°C. Получаемые ртутьсодержащие технологические газы очищались от пыли и конденсировались [4]. Однако в эти годы оборудование на предприятии было уже морально устаревшим и изношенным. Требовалась модернизация технологического цикла и замена оборудования, которые из-за финансовых трудностей проведены не были. В 2004 году предприятие было объявлено банкротом. Процедура банкротства продолжалась до 2008 года. В 2005-2007 гг. перерабатывалось по 200-300 т PCO в год, при этом товарная продукция не производилась и не реализовывалась. Более того, в 1997-2002 гг. часть завезенных на утилизацию отходов (ориентировочно 900 т PCO, содержащих 17 т ртути) была захоронена в пределах промышленной зоны предприятия и на прилегающей к ней территории. В 2008 году предприятие было ликвидировано окончательно, оборудование демонтировано и вывезено [5]. В промышленной зоне рудника осталось 1,8 млн тонн рудных огарков и около 5 млн тонн штольневых отвальных пород и руд. При этом в огарках отвалов средние концентрации ртути достигали 161 мг/кг, а в ртутьсодержащих отходах - 200 мг/кг [4, 5].

В настоящее время территория бывшего АГМП ограничена промышленной зоной площадью 25 га, где на 9 га находятся терриконы огарков (3,7 га), отвалы штольни (1,6 га), дороги и здания (3,7 га). Хозяйственная деятельность (в том числе выпас скота) на территории промышленной зоны не проводится. Однако АГМП находится в непосредственной близости от реки Ярлы-Амры (притока реки Чибитка, которая, в свою очередь, впадает в реку Чуя), поэтому теоретически ртутные отходы могут влиять на состояние поверхностных и подземных вод и здоровья населения поселка Акташ, где проживает 2497 человек (21,5% населения Улаганского района).

**Цель исследования** - оценить влияние бывшего АГМП на состояние поверхностных и подземных вод в близлежащем поселке Акташ, на территории АГМП, в реках Ярлы-Амры, Чибитка и Чуя, находящихся орографически ниже АГМП, проанализировав их загрязненность ртутью.

**Материалы и методы.** Объектами исследования были поверхностные воды Улаганского района Республики Алтай: реки Ярлы-Амры, протекающей мимо АГМП, реки Чибитка, куда впадает Ярлы-Амры, а также реки Чуя, в которую впадает река Чибитка. Пробы забирали в верховьях р. Ярлы-Амры (выше АГМП), на уровне АГМП или на 0,5-5 км

ниже АГМП, из р. Чибитка - в 10 км ниже АГМП, из р. Чуя - в 70 км ниже территории АГМП.

Кроме этого, исследовали подземную воду поселка Акташ из скважин с разводящей сетью.

Мониторинговые исследования в 2009-2022 годах проводили в Испытательном лабораторном центре ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Алтай». Определение ртути в воде в 2009-2021 гг. осуществляли атомно-абсорбционным методом с использованием спектрофотометра атомно-абсорбционного «АА-7000F» с приставкой для определения ртути в холодных парах согласно М-03-505-119-08 «Методика количественного химического анализа. Определение металлов в питьевой, минеральной, природной, сточной воде и в атмосферных осадках атомно-абсорбционным методом». В 2022 году ртуть в воде определяли на анализаторе вольтамперометрическом «ГА-Lab» согласно МУ 08-47/162 «Воды природные, питьевые и очищенные сточные. Вольтамперометрический метод измерения массовой концентрации ртути». Всего за период 2009-2022 гг. было исследовано 138 проб воды: 32 пробы из р. Ярлы-Амры, 30 проб из р. Чибитка, 96 проб подземных вод из водопродовных скважин п. Акташ.

Более ранние исследования (1991-2008 гг.) поверхностных и подземных вод на загрязнение ртутью, связанное с АГМП, анализировали по литературным источникам и отчетам АО «Алтай-Гео» (ТЦ «Алтайгеомониторинг»).

**Результаты и обсуждение.** Ввиду токсичности производства ртути вопрос загрязнения подземных и поверхностных вод АГМП изучался разными исследователями в течение 30 лет (1991-2022 годы). С 2000 года в Республике Алтай начал проводиться государственный мониторинг состояния подземных вод (ГМПВ) АО «Алтай-Гео». По материалам эколого-геохимических исследований за 1991-2008 годы было установлено, что Акташское горно-металлургическое предприятие является значимым объектом загрязнения ртутью бассейна рек Ярлы-Амры, Чибитки и Чуи [4-9]. В частности, лабораторные исследования показали, что в верховьях р. Ярлы-Амры (выше АГМП) средняя концентрация ртути составляла 0,14 мкг/л, в районе АГМП - 0,20 мкг/л, ниже АГМП на 5 км - уже 0,42 мкг/л, а уменьшение концентрации ртути в воде до фоновых значений происходило в 10 км от АГМП ниже по течению [6]. В целом содержание ртути в воде рек Ярлы-Амры, Чибитки, Чуи варьировалось от тысячных долей мкг/л до 0,32 мкг/л, за исключением отдельных проб в 1991 [7] и 1995 года [8], когда в реку Ярлы-Амры сбрасывались технологические воды металлургического завода, содержащие ртуть до 13,9 мг/л [6]. Повышенное содержание ртути в воде р. Ярлы-Амры выявлено также осенью 2003 года (после крупного Алтайского землетрясения) и на фоне продолжающихся афтершоков 2004-2005 гг. (табл. 1).

Таблица 1

Содержание ртути в поверхностных водах в районе  
Акташского горно-металлургического предприятия

Table 1

Mercury concentrations in surface waters in the area of  
Aktash Mining and Metallurgical Enterprise

Литературные источники, отчеты	Содержание ртути в поверхностных водах, мкг/л		
	р. Ярлы-Амры, 0,5-5 км ниже АГМП	р. Чибитка, 10 км ниже АГМП	р. Чуя, 70 км ниже АГМП
Лапаев Г.П., 1991 г. [7]	0,19-0,69	-	-
Папина Т.С. и др., 1995 [8]	0,11 - 1,4	0,017-0,34	0,01-0,21
ТЦ «Алтайгеомониторинг», отчеты за 2001-2004 гг.	0,088-2,69	0,084	-
ТЦ «Алтайгеомониторинг», отчет за 2005 г.	0,039-0,154	0,026-0,074	0,021-0,035
ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Алтай», отчеты за 2009-2021 гг.	<0,1	<0,1	-
ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Алтай», отчеты за 2022 г.	<0, 04	< 0,04	-

Кроме того, в 2007 году в исследовании Архипова И.А. и Пузанова А.В. отмечалось превышение ПДК ртути в воде в точках отбора, находящихся в местах расположения терриконов и отвалов АГМП, а также в штольневых водах предприятия [9].

Мониторинговые исследования поверхностных вод, проведенные в 2009-2022 годах, то есть после закрытия АГМП, показали, что концентрация ртути в реках Ярлы-Амры (32 пробы) и Чибитка (30 проб) была во всех пробах менее 0,1 мкг/л, то есть меньше ПДК для водных объектов культурно-бытового водопользования - 0,5 мкг/л (СанПиН 1.2.3685-21), что связано с полным прекращением работ на предприятии.

В качестве доказательства экологического неблагополучия территории АГМП по ртути приводят анализ донных отложений (ДО) р. Ярлы-Амры (в черте промзоны и ниже по течению), где в 2005 году было выявлено высокое содержание ртути – от 47 до 368 мг/кг [10]. Данный факт объяснялся осаждением в ДО ртути из размываемых рекой огарков. Указывалось, что ДО рек Ярлы-Амры и Чибитка, содержащие ртуть и другие элементы, попадающие из отходов АГМП (As, Zn, Pb, Sb и Cd), могут оказывать токсическое влияние

на биоту [11], в основном на фито- и зообентосные организмы. В рыбах же, которые тоже входят в трофическую цепь, ртуть содержится в небольших концентрациях - ниже ПДК [12]. Однако нужно заметить, что исследование на ртуть ДО проводилось впоследствии не только в районе АГМП, но и по всей территории Республики Алтай, где были получены схожие уровни этого токсиканта в реках Катунь, Кокса, Лебедь, Иша [13], что объясняется природной геологической ситуацией, а не техногенным загрязнением. Нельзя не учитывать тот факт, что реки Ярлы-Амры и Чибитка находятся в Курайской ртутной зоне.

Важное значение для здоровья населения имеет качество питьевой воды. Жители п. Акташ употребляют артезианскую воду. В поселке в разные годы функционировали от 5 до 8 водозаборных скважин, имеется централизованная водопроводная сеть. В таблице 2 приведены данные по лабораторному исследованию на ртуть питьевой воды п. Акташ.

Таблица 2

## Концентрации ртути в подземных водах поселка Акташ

Table 2

## Mercury concentrations in groundwater of Aktash village

Лаборатория	Годы	Число исследованных проб	Концентрации ртути в подземных водах п. Акташ (в мкг/л)
СО РАН, Новосибирск	2000-2013 гг.	19	<0,02-0,22
ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по Республике Алтай», Горно-Алтайск	2015-2022 гг.	96	<0,04-0,1

Как видно из приведенной таблицы, концентрация ртути в питьевой воде поселка Акташ во всех случаях была ниже ПДК, согласно СанПиН 1.2.3685-21 (0,5 мкг/л).

В поверхностных водах Сибири фон по ртути составляет 0,02 мкг/л, а в Республике Алтай – 0,01 мкг/л, в подземных водах Сибири фон по ртути - 0,02 мкг/л, в то время как в Республике Алтай он в 2 раза выше - 0,04 мкг/л [13]. Несколько повышенное содержание ртути в подземных водах вполне объяснимо ртутной специализацией Горного Алтая, хотя ее значение не превышает ПДК, принятой в Российской Федерации. Следует заметить, что ПДК ртути в воде за рубежом установлена значительно выше российского уровня – 6 мкг/л [14].

В целом можно констатировать, что влияние АГМП на поверхностные воды Улаганского района носит слабоинтенсивный характер, а на подземные воды поселка Акташ такого влияния не выявлено совсем.

Доказательством относительно благополучной экологической ситуации в отношении ртути в п. Акташ служит большая работа, проведенная среди жителей по исследованию содержания этого элемента в волосах населения [15]. Волосы аккумулируют ртуть сильнее биологических жидкостей (в них содержание ртути в 300 раз выше, чем в моче, и в 250 раз выше, чем в крови), поэтому волосы могут служить биомаркерами как острой, так и хронической интоксикации ртутью [16, 17]. Для Российской Федерации фоновое содержание ртути в волосах составляет 0,5–1,0 мкг/г. Считается, что при содержании до 0,58 мкг/г отсутствует риск для здоровья человека [18]. В число обследованных вошли 84 человека:

дети дошкольного возраста (3-6 лет) – 4 человека; дети школьного возраста (10-15 лет) – 39 человек; взрослые 18-55 лет – 21 человек; взрослые старше 55 лет – 20 человек. Среднее содержание ртути в волосах жителей поселка Акташ составило 0,23 мкг/г, что значительно ниже допустимой концентрации. Однако среди обследованных взрослых старше 55 лет присутствовали 6 работников бывшего АГМП, у этих людей содержание ртути варьировало от 0,04 до 2,07 мкг/г (при этом у 2 человек превышало безопасный уровень ртути). Это совпадает с наблюдениями других авторов, считающих, что вредные условия труда влияют на здоровье людей больше, чем проживание в районах с повышенным геохимическим фоном ртути [19].

Республика Алтай специализируется на въездном спортивном и оздоровительном туризме, справедливо позиционируя себя как экологически чистый регион. Ежегодно республику посещает более 2 миллионов туристов. При этом один из популярных маршрутов в Улаганском районе проходит через территорию бывшего АГМП, где находится большое количество вредных отходов (около 7 миллионов тонн). В них, кроме ртути, содержатся и другие элементы I–II класса опасности для окружающей природной среды: мышьяк, сурьма, свинец, никель, медь, цинк [5]. В исследованиях, проведенных в последние годы, доказано, что отходы АГМП по-прежнему являются активными источниками загрязнения атмосферного воздуха, снега, почвы, растительности в месте хранения и на прилегающей территории [20-21], в то время как доступ к хвостохранилищу открыт, чем нередко пользуются любопытные путешественники, подвергая свое здоровье риску.

Принимая во внимание, что ртуть считается одним из десяти основных химических веществ, представляющих опасность для здоровья населения планеты [22, 23], Организация Объединенных Наций (ООН) в 2013 году представила Минаматскую конвенцию о ртути, целью которой является защита окружающей среды от антропогенных выбросов. Конвенция учитывает жизненный цикл ртути и обращение с отходами [23]. Россия присоединилась к этому межгосударственному договору в 2014 году.

Еще раньше в нашей стране Федеральным законом от 10.01.2002 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» было установлено требование о том, что при выводе из эксплуатации вредных производств должны быть разработаны и реализованы мероприятия по охране окружающей среды, в том числе мероприятия по рекультивации или консервации земель [23]. Этого при ликвидации АГМП проведено не было. Однако в 2022 году территория бывшего АГМП была включена в Государственный реестр объектов накопленного вреда окружающей среде (ГРОНВОС) в целях утилизации вредных отходов.

#### **Выводы:**

1. 30-летний мониторинг подземных водоисточников не выявил превышения ПДК ртути в воде, употребляемой жителями п. Акташ.
2. Содержание ртути в воде рек Ярлы-Амры и Чибитка, ближайших от площадки Акташского горно-металлургического предприятия, не превышает предельно допустимой концентрации.
3. Учитывая развитие туристической отрасли в Республике Алтай и потенциальную опасность территории бывшего Акташского горно-металлургического предприятия, следует и дальше продолжать систематический мониторинг ртути в объектах окружающей среды (включая подземные и поверхностные воды п. Акташ), в том числе в рамках работ по ликвидации накопленного вреда окружающей среде.

**Список литературы:**

1. *Майер В.П.* Акташский ртутный рудник. История становления в годы Великой Отечественной войны. В кн.: Горный Алтай в годы Великой Отечественной войны. Материалы республиканской научно-практической конференции. Горно-Алтайск; 2010: 72-75.
2. *Полтева Т.И.* Строительство Акташского рудника в годы Великой Отечественной войны по фонду Национального музея Республики Алтай имени А. В. Анохина. В кн.: Краеведческие записки. Барнаул; 2005: 129-135.
3. *Полтева Т.И.* Акташский рудник. Республика Алтай. В кн.: Краткая энциклопедия. Новосибирск: Арта; 2010: 82.
4. Научно-технический отчет по госконтракту № 8-КТ-ВО от 08.05.2009 г. по оценке экологического состояния объектов окружающей среды в районе Акташского ГМП и поселка Акташ. Ю.В. Робертус, Р.В. Любимов, И.А. Архипов, Г.А. Шевченко, В.П. Иванова. Горно-Алтайск: ГНУ РА «АРИ "Экология"», 2009. 71 с.
5. *Робертус Ю.В., Пузанов А.В., Любимов Р.В.* Особенности ртутного загрязнения окружающей среды в районе Акташского горно-металлургического предприятия (Республика Алтай). География и природные ресурсы. 2015; 3: 48-55.
6. *Робертус Ю.В., Пузанов А.В., Любимов Р.В., Архипов И.А.* Экогеохимия ртути в природных средах и техногенных объектах района Акташского ГМП (Республика Алтай). Мир науки, культуры, образования. 2010; 2: 280-282.
7. *Лапаев Г.П.* Оценка водного состава тяжелых металлов в районе Катунского гидроузла с помощью бриогеохимического метода. Отчет по теме № 82173 за 1990-91 гг. Улан-Удэ: БГИ, 1991.
8. *Папина Т.С., Артемьева С.С., Темерев С.В.* Особенности миграции ртути в бассейне Катунки. Водные ресурсы. 1995; 1: 60-66.
9. *Архипов И.А., Пузанов А.В.* Акташское ртутное месторождение (юго-восточный Алтай) как потенциальный источник поступления ртути в объекты окружающей природной среды. Мир науки, культуры, образования. 2007; 4 (7): 23-26.
10. *Робертус Ю.В., Рихванов Л.П., Юсупов Д.В., Любимов Р.В., Ляпина Е.Е., Осипова Н.А.* Формы нахождения и переноса ртути в компонентах экосистем Горного Алтая. Химия в интересах устойчивого развития. 2018; 2: 185-192. DOI: <https://doi.org/10.15372/KhUR20180209>
11. *Мягкая И.Н., Сарыг-оол Б.Ю., Густайтис М.А., Кириченко И.С., Лазарева Е.В.* Экогеохимическая оценка рек Ярлы-Амры и Чибитка, расположенных в ореоле действия Акташского ртутного месторождения и его отвалов. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022; 4: 7-26. DOI: <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/4/3273>
12. *Папина Т.С., Третьякова Е.И., Эйрих А.Н.* Факторы, влияющие на распределение тяжелых металлов по абиотическим компонентам водных экосистем Средней и Нижней Оби. Химия в интересах устойчивого развития. 1999; 5: 553-564.
13. *Робертус Ю.В., Рихванов Л.П., Пузанов А.В., Кац В.Е.* Ртуть в компонентах природной среды Республики Алтай. Известия Томского политехнического университета.

- Инжиниринг георесурсов. 2021; 3: 158-167. DOI: <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/03/3111>
14. WHO. Guidelines for drinking water quality. 4th ed. with 1st addendum. - Geneva, 2017. - 631 p.
15. Густайтис М.А., Мягкая И.Н. Особенности распределения ртути в волосах жителей поселка Акташ (Республика Алтай). Почвы и окружающая среда. 2022; 1: 1-14. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v5i1.165>
16. Phan K., Sthiannopkao S., Kimet K.W. et al. Health risk assessment of inorganic arsenic intake of Cambodia residents through groundwater drinking pathway. Water research. 2010; 19: 5777-88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.06.021>
17. Aldroobi K.S.A., Shukri A., Bauk S., Munem E.M.A., Abuarra A.M. Determination of arsenic and mercury level in scalp hair from a selected population in Penang, Malaysia using XRF technique. Radiation Physics and Chemistry. 2013; 91: 9-14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2013.06.004>
18. Bellanger M., Pichery C., Aerts D., Berglund M., Castano A., Cejchanova M. et al. et al. Economic benefits of methylmercury exposure control in Europe: Monetary value of neurotoxicity prevention. Environment Health. 2013; 12: 3-10. DOI: <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-3>
19. Queipo-Abad S., González P.R., Martínez-Morillo E., Davis W.C., Alonso J.I.G. Concentration of mercury species in hair, blood and urine of individuals occupationally exposed to gaseous elemental mercury in Asturias (Spain) and its comparison with individuals from a control group formed by close relatives. Science of The Total Environment. 2019; Vol. 672: 314-323. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.367>
20. Мягкая И.Н., Сарыг-оол Б.Ю., Густайтис М.А., Малов В.И., Кириченко И.С., Сурков О.Н., Лазарева Е.В. Особенности форм переноса Hg в реках Ярлы-Амры и Чибитка в зоне влияния Акташского горнометаллургического предприятия (Горный Алтай). Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами. 2020; 250-253. DOI: <https://doi.org/10.31554/978-5-7925-0584-1-2020-250-253>
21. Юсупов Д.В., Робертус Ю.В., Рихванов Л.П., Любимов Р.В., Ляпина Е.Е., Турсуналиева Е.М. Распределение ртути в компонентах окружающей среды горнорудных районов Республики Алтай. Оптика атмосферы и океана. 2018; 31 (1): 73-78. DOI: <https://doi.org/10.15372/A0020180112>
22. Rodrigues P.A., Ferrari R.G., Dos Santos L.N., Junior C.A.C. Mercury in aquatic fauna contamination: a systematic review on its dynamics and potential health risks. Journal of Environmental Sciences. 2019; 84: 205-218. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.02.018>
23. Алыкова О.И., Чуйкова Л.Ю., Чуйков Ю.С. Накопленный экологический вред: проблемы и последствия. Сообщение 2. Анализ ситуации. Астраханский вестник экологического образования. 2021; 2 (62):114-137. DOI: <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2021-2-114-137>

## References:

1. Mayer V.P. *Aktashskij rtutnyj rudnik. Istoriya stanovleniya v gody Velikoj Otechestvennoj vojny.* [Aktash mercury mine. The history of formation during the Great Patriotic War]. V kn.: Gornyj Altaj v gody Velikoj Otechestvennoj vojny. Materialy respublikanskoj nauchno-prakticheskoj

- konferencii. Gorno-Altajsk. [In: Gorny Altai during the Great Patriotic War. Proceedings of the republican scientific-practical conference]. Gorno-Altajsk; 2010: 72-75. (In Russ)
2. Polteva T.I. *Stroitel'stvo Aktashskogo rudnika v gody Velikoj Otechestvennoj vojny po fondu Nacional'nogo muzeya Respubliki Altaj imeni A.V. Anohina*. [Construction of the Aktashsky mine during the Great Patriotic War on the fund of the National Anohin Museum of the Republic of Altai]. *V kn.: Kraevedcheskie zapiski*. [In the book: Notes of local lore]. Barnaul; 2005: 129-135. (In Russ)
  3. Polteva T.I. *Aktashskij rudnik. Respublika Altaj*. [Aktash mine. Altai Republic]. *V kn.: Kratkaya enciklopediya*. [In: Brief Encyclopedia]. Novosibirsk: Arta; 2010: 82. (In Russ)
  4. *Nauchno-tekhnicheskij otchet po goskontraktu № 8-KT-VO ot 08.05.2009 g. po ocenke ekologicheskogo sostoyaniya ob"ektov okružhayushchej sredy v rajone Aktashskogo GMP i poselka Aktash*. [Scientific and technical report on the state contract No. 8-KT-VO dated 08.05.2009 on the assessment of the ecological state of environmental objects in the area of the Aktash GMF and the Aktash settlement]. Yu.V. Robertus, R.V. Lyubimov, I.A. Arkhipov, G.A. Shevchenko, V.P. Ivanova. Gorno-Altajsk: GNU RA "ARI "Ecology". 2009: 71 p. (In Russ)
  5. Robertus Yu.V., Puzanov A.V., Lyubimov R.V. *Osobennosti rtutnogo zagryazneniya okružhayushchej sredy v rajone Aktashskogo gorno-metallurgicheskogo predpriyatiya (Respublika Altaj)*. [Features of mercury pollution of the environment in the area of the Aktash mining and metallurgical enterprise (the Altai Republic)]. *Geografiya i prirodnye resursy*. [Geography and natural resources]. 2015; 3: 48-55. (In Russ)
  6. Robertus Yu.V., Puzanov A.V., Lyubimov R.V., Arkhipov I.A. *Ekogeohimiya rtuti v prirodnih sredah i tekhnogennyh ob"ektah rajona Aktashskogo GMP (Respublika Altaj)*. [Ecogeochemistry of mercury in natural environments and man-made objects of the Aktash GMP region (Altai Republic)]. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. [The world of science, culture, education]. 2010; 2: 280-282. (In Russ)
  7. Lapaev G.P. *Ocenka vodnogo sostava tyazhelyh metallov v rajone Katun'skogo gidrouzla s pomoshch'yu briogeohimicheskogo metoda*. [Estimation of the water composition of heavy metals in the area of the Katun hydroelectric complex using the bryogeochemical method]. *Otchet po teme № 82173 za 1990-91 gg.* [Report on the topic №82173 for 1990-91]. Ulan-Ude: BGI, 1991. (In Russ)
  8. Papina T.S., Artem'eva S.S., Temerev S.V. *Osobennosti migracii rtuti v bassejne Katuni*. [Features of mercury migration in the Katun basin]. *Vodnye resursy*. [Water resources]. 1995; 1: 60-66. (In Russ)
  9. Arkhipov I.A., Puzanov A.V. *Aktashskoe rtutnoe mestorozhdenie (yugo-vostochnyj Altaj) kak potencial'nyj istochnik postupleniya rtuti v ob"ekty okružhayushchej prirodnoj sredy*. [Aktashskoe mercury deposit (southeastern Altai) as a potential source of mercury ingress into environmental objects]. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. [World of science, culture, education]. 2007; 4 (7): 23-26. (In Russ)
  10. Robertus Yu.V., Rikhvanov L.P., Yusupov D.V., Lyubimov R.V., Lyapina E.E., Osipova N.A. *Formy nahozhdeniya i perenosa rtuti v komponentah ekosistem Gornogo Altaya*. [Forms of occurrence and transfer of mercury in the components of the ecosystems of Gorny Altai]. *Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya*. [Chemistry for sustainable development]. 2018; 2: 185-192. DOI: <https://doi.org/10.15372/KhUR20180209> (In Russ)

11. Myagkaya I.N., Saryg-ool B.Yu., Gustaytis M.A., Kirichenko I.S., Lazareva E.V. *Ekogeohimicheskaya ocenka rek Yarly-Amry i Chibitka, raspolozhennyh v oreole dejstviya Aktashskogo rtutnogo mestorozhdeniya i ego otvalov*. [Ecogeochemical assessment of the Yarly-Amry and Chibitka rivers, located in the halo of the Aktash mercury deposit and its dumps]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources]. 2022; 4:7–26. DOI: <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/4/3273> (In Russ)
12. Papina T.S., Tret'yakova E.I., Ejrikh A.N. *Faktory, vliyayushchie na raspredelenie tyazhelyh metallov po abioticheskim komponentam vodnyh ekosistem Srednej i Nizhnej Obi*. [Factors influencing the distribution of heavy metals among abiotic components of aquatic ecosystems in the Middle and Lower Ob]. *Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya*. [Chemistry for sustainable development]. 1999; 5: 553-564. (In Russ)
13. Robertus Yu.V., Rihvanov L.P., Puzanov A.V., Kats V.E. *Rtut' v komponentah prirodnoj sredy Respubliki Altaj*. [Mercury in the components of the natural environment of the Republic of Altai]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources]. 2021; 3: 158-167. DOI: <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/3/3111> (In Russ)
14. WHO. Guidelines for drinking water quality. 4th ed. with 1st addendum. - Geneva, 2017. - 631 p.
15. Gustaytis M.A., Myagkaya I.N. *Osobennosti raspredeleniya rtuti v volosah zhitelej poselka Aktash (Respublika Altaj)*. [Features of the distribution of mercury in the hair of residents of the village of Aktash (Altai Republic)]. *Pochvy i okruzhayushchaya sreda*. [Soils and the environment]. 2022; 1: 1-14. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v5i1.165> (in Russ.)
16. Phan K., Sthiannopkao S., Kimet K.W. et al. Health risk assessment of inorganic arsenic intake of Cambodia residents through groundwater drinking pathway. *Water research*. 2010; 19: 5777-5788. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.06.021>
17. Aldroobi K.S.A., Shukri A., Bauk S., Munem E.M.A., Abuarra A.M. Determination of arsenic and mercury level in scalp hair from a selected population in Penang, Malaysia using XRF technique // *Radiation Physics and Chemistry*. 2013; Vol. 91: 9-14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2013.06.004>
18. Bellanger M., Pichery C., Aerts D. et al. Economic benefits of methylmercury exposure control in Europe: Monetary value of neurotoxicity prevention. *Environment Health*. 2013; Vol. 12: 3-10. DOI: <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-3>
19. Queipo-Abad S., González P.R., Martínez-Morillo E., Davis W.C., Alonso J.I.G. Concentration of mercury species in hair, blood and urine of individuals occupationally exposed to gaseous elemental mercury in Asturias (Spain) and its comparison with individuals from a control group formed by close relatives. *Science of The Total Environment*. 2019; Vol. 672: 314-323. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.367>
20. Myagkaya I.N., Saryg-ool B.Yu., Gustaytis M.A., Malov V.I., Kirichenko I.S., Surkov O.N., Lazareva E.V. *Osobennosti form perenosa Hg v rekah Yarly-Amry i Chibitka v zone vliyaniya Aktashskogo gornometallurgicheskogo predpriyatiya (Gornyj Altaj)*. [Features of Hg transport forms in the Yarly-Amry and Chibitka rivers in the zone of influence of the Aktash mining and metallurgical enterprise (Gorny Altai)]. *Geologicheskaya evolyuciya vzaimodejstviya vody s*

- gornymi porodami*. [Geological evolution of the interaction of water with rocks]. 2020: 250-253. DOI: <https://doi.org/10.31554/978-5-7925-0584-1-2020-250-253> (In Russ)
21. Yusupov D.V., Robertus Yu.V., Rihvanov L.P., Lyubimov R.V., Lyapina E.E., Tursunaliyeva E.M. *Raspredelenie rtuti v komponentah okruzhayushchej sredy gornorudnyh rajonov Respubliki Altaj*. [Distribution of mercury in the environmental components of the mining regions of the Altai Republic]. *Optika atmosfery i okeana*. [Optics of the atmosphere and the ocean]. 2018; 31(1): 73-78. DOI: <https://doi.org/10.15372/A0020180112> (In Russ)
22. Rodrigues P.A., Ferrari R.G., Dos Santos L.N., Junior C.A.C. Mercury in aquatic fauna contamination: a systematic review on its dynamics and potential health risks. *Journal of Environmental Sciences*. 2019; 84: 205-218. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.02.018>
23. Alykova O.I., Chuikova L.Yu., Chuikov Yu.S. *Nakoplenyj ekologicheskij vred: problemy i posledstviya*. [Accumulated environmental harm: problems and consequences]. *Soobshchenie 2. Analiz situacii. Astrahanskij vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*. [Message 2. Analysis of the situation. Astrakhan Bulletin of Ecological Education]. 2021; 2(62): 114-137. DOI: <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2021-2-114-137> (In Russ)

Поступила/Received: 24.04.2023

Принята в печать/Accepted: 30.05.2023