

УДК 553.499:550.4:504.064(571.150)

## РТУТЬ В КОМПОНЕНТАХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

Робертус Юрий Владимирович<sup>1</sup>,  
aricol@mail.gorny.ru

**Рихванов Леонид Петрович<sup>2</sup>**

Пузанов Александр Васильевич<sup>1</sup>,  
puzanov-aleksander@mail.ru

Кац Валентина Елизаровна<sup>3</sup>,  
altai.geo@yandex.ru

<sup>1</sup> Институт водных и экологических проблем СО РАН,  
Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1.

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

<sup>3</sup> АО «Алтай-Гео»,  
Россия, 649100, с. Майма, ул. Заводская, 52.

**Актуальность** работы обусловлена необходимостью обобщения обширной разноплановой информации по экогеохимии ртути в природных средах и техногенных объектах Республики Алтай.

**Цель:** сбор и систематизация данных по уровням содержания ртути в компонентах природной среды на фоновых и загрязненных территориях региона.

**Методы:** изучение и анализ опубликованных и фондовых материалов эколого-геохимических работ на ртуть, проведенных в 1980–2020-х гг. научными и производственными организациями на территории Республики Алтай.

**Результаты.** Приведены сведения об основных природных и антропогенных источниках эмиссии ртути в регионе и уровнях ртутного загрязнения природной среды в зонах их воздействия. Впервые оценены уровни содержания ртути для большого комплекса компонентов природной среды. Показано преобладание в них фоновых концентраций ртути и их тесные связи с горными породами складчатого фундамента. Намечена высотно-поясная зональность в распределении ртути в почвах природных ландшафтов. Предварительно оценен фон ртути в горных породах и других компонентах природной среды региона. Установлен его слабо повышенный относительно кларков уровень.

**Выводы.** Геологические образования региона не несут ртутной специализации. Повышенный уровень локального наложенного загрязнения ртутью природных сред обусловлен в основном ее прошлой добычей и применением. Концентрации ртути в загрязненных природных средах тесно связаны между собой. Основными источниками антропогенной эмиссии ртути являются лежалые отходы горнодобывающих предприятий. Современная хозяйственная деятельность в регионе не создает опасного загрязнения природной среды.

### Ключевые слова:

Республика Алтай, ртуть, природные среды, источники выбросов, уровни содержания, наложенное загрязнение, локальный и региональный фон.

### Введение

Известно, что основные факторы эмиссии ртути в окружающую среду – природный и антропогенный, первый из которых определяется спецификой геологической среды, а второй – хозяйственной деятельностью человека [1, 2]. На территории Республики Алтай (РА) проявлены обе группы источников повышенного и реже аномально высокого поступления ртути в природную среду [3]. Первая из них представлена рядом месторождений и проявлений ртути, сопровождающихся лито- и биогеохимическими ореолами ее рассеяния. Ртуть в повышенных концентрациях присутствует также в качестве элемента-спутника в рудах многих месторождений цветных и благородных металлов [4].

Вторая группа источников, характеризующаяся прямым или косвенным характером вовлечения ртути в миграционные процессы, представлена двумя подгруппами – природно-антропогенной и собственно

антропогенной [5]. К природно-антропогенной подгруппе относятся природные источники ртути, «активизированные» в процессе геологоразведочных работ, добычи, обогащения и передела ртутных и ртутьсодержащих руд, а также загрязненные при этом ртутью природные среды (источники вторичного загрязнения).

Подгруппа антропогенных источников обусловлена использованием ртути и содержащих ее материалов и изделий в хозяйственной деятельности, главным образом при добыче россыпного (шлихового) золота, а также при не отвечающем требованиям экологической безопасности хранении отходов горнодобывающих предприятий (ГДП) и других ртутьсодержащих отходов (РСО) производства и потребления.

Масштабы и экологические последствия природной и антропогенной эмиссии ртути на территории РА в настоящее время изучены недостаточно. Тем не менее проведенными в последние четверть века ря-

дом научных и производственных организаций разноплановыми региональными и локальными эколого-геохимическими исследованиями получен большой объем данных по уровням содержания ртути в объектах геологической среды и в компонентах природной среды, а также в производственных отходах [3, 6, 7].

Основным импульсом для изучения распределения ртути в объектах окружающей среды РА явилось запланированное строительство каскада ГЭС в среднем течении р. Катунь. В 1988–1990 гг. рядом институтов СО АН СССР были проведены разноплановые исследования особенностей распределения ртути в районе проектируемого Катунского гидроузла. Этими работами установлен локальный слабо концентрированный характер распределения ртути и ее подвижных форм в природных средах и геологических образованиях изученной территории [8–10].

Систематизация и анализ этой информации и данных последующих работ явились целью обобщения, краткие результаты которого приведены в настоящей статье. Основные его задачи заключались в изучении уровней содержания ртути в вышеотмеченных объектах, в предварительной оценке ее регионального фона в природных средах РА и его сравнении с кларками и фоновыми значениями на территории других регионов Сибири.

Другая цель проведенного обобщения заключается в проверке вывода о высокой экологической опасности тяжелометалльного, в том числе ртутного загрязнения природной среды на территории РА [11], который в определенной степени лимитирует развитие туристско-рекреационной отрасли, одной из ведущих в республике.

#### Информационные материалы

Фактической основой настоящего обобщения явились в основном материалы проведенных в 1990-х гг. эколого-геохимических работ масштаба 1:1000000 (Алтайский полигон МГХК-1000, 1994; ГЭИК-1000 в Алтайском крае и Республике Алтай, 1996; Геохимическая основа Гостеолкарты листа М-45, 2001), а также данные локальных геоэкологических обследований на территории РА в 1992–2020 гг. Исполнителями этих работ были производственные (АО «Алтай-Гео», АО «Горно-Алтайская экспедиция», ФГУП «Запсибгеолсъемка») и научные организации, в том числе ИМГРЭ, ИГиМ СО РАН, ИВЭП СО РАН, АРИ «Экология» и др.

Основная часть фактического материала по содержанию и распределению ртути в изученных средах содержится в фондовых отчетах этих организаций. В немногих публикациях по теме приведены в основном уровни содержания ртути в природных средах изученных территорий.

В рамках вышеотмеченных исследований на территории РА было проанализировано на ртуть около двух тысяч проб горных пород, почв, природных вод, образцов растений, а также проведено более полутора тысяч измерений концентраций ртути в атмосферном и почвенном воздухе газортутным анализатором АГП-01.

Анализы всех проб на ртуть проведены методом атомной абсорбции («холодного пара») в следующих аккредитованных лабораториях: Западно-Сибирском испытательном центре (г. Новокузнецк); лабораториях ИГиМ СО РАН (г. Новосибирск), ИМГРЭ (г. Москва), ИВЭП СО РАН (г. Барнаул), НИ ТПУ (г. Томск). Пределы обнаружения ртути для использованных методик составили для почв, донных отложений и растений – 5 мкг/кг, для воды – 2 мкг/дм<sup>3</sup>. Достоверность полученных в этих лабораториях данных обеспечена репрезентативными объемами и удовлетворительной сходимостью результатов межлабораторного (5–10 % от всего объема проб) и внутреннего контроля (3–7 %).

Обработка и интерпретация полученных результатов заключалась в их систематизации, создании базы данных в формате dBase, в формировании и последующей статистической обработке с помощью программ «Statistika 6.1» и «Microsoft Excel 2000» репрезентативных выборок по геологическим формациям, структурно-формационным зонам, физико-географическим районам, основным типам ландшафтов, природным средам, населенным пунктам, источникам техногенного загрязнения и пр.

#### Результаты и их обсуждение

*Природные источники эмиссии ртути на территории Республики Алтай.* Для Горного Алтая характерно эпitherмальное ртутное оруденение, связываемое с раннемезозойской (юрской) тектономагматической активизацией региона [4, 12]. На его территории выявлен ряд месторождений и проявлений ртути карбонатно-киноварного и магнезиально-карбонатно-киноварного (лиственнитового), реже кварц-флюорит-киноварного и кварц-диккит-киноварного типов, а также многочисленные литохимические и шлиховые ореолы ее рассеяния, приуроченные к протяженным (сотни км) зонам глубинных разломов и сопряженных с ними разрывных нарушений (рис. 1). Ртуть также присутствует как элемент-спутник в рудах месторождений цветных, редких и благородных металлов.

Максимальный уровень природных концентраций ртути проявлен в ее рудах –  $\times 0,1 \dots 1,0$  %. В других металлических и нерудных полезных ископаемых она на 3–4 порядка ниже. Так, содержание ртути в рудах Синюхинского и Калгутинского месторождений не превышает 0,1 и 0,3 мг/кг соответственно, а в каменных углях Курайского месторождения находится на уровне фона почв. Содержание ртути во вторичных ореолах рассеяния рудных месторождений составляет в основном сотые–десятые доли мг/кг, а на участках руднорудных объектов – до первых мг/кг (табл. 1).

*Природно-техногенные факторы эмиссии ртути* представлены участками разведки месторождений, промышленными зонами ГДП, а также загрязненными их выбросами, сбросами и отходами объектами окружающей среды (почвы, грунты, донные отложения). Так, концентрации ртути в выбросах металлургии бывшего Акташского рудника, а впоследствии одноименного горно-металлургического предприятия (АГМП) достигали 6,3 мг/м<sup>3</sup>, в штольневом водоот-

ливе 0,6 мкг/дм<sup>3</sup>, в металлургических шлаках (огарках) до 1 кг/т, в шлаках до 150 кг/т [13, 14].

Повышенный уровень содержания ртути (до 10 мкг/кг) отмечен в отходах обогащения руд ряда ме-

сторождений цветных, редких и благородных металлов (табл. 1), а также в выбросах предприятий цветной металлургии Восточного Казахстана, переносимых на территорию Алтая [14].

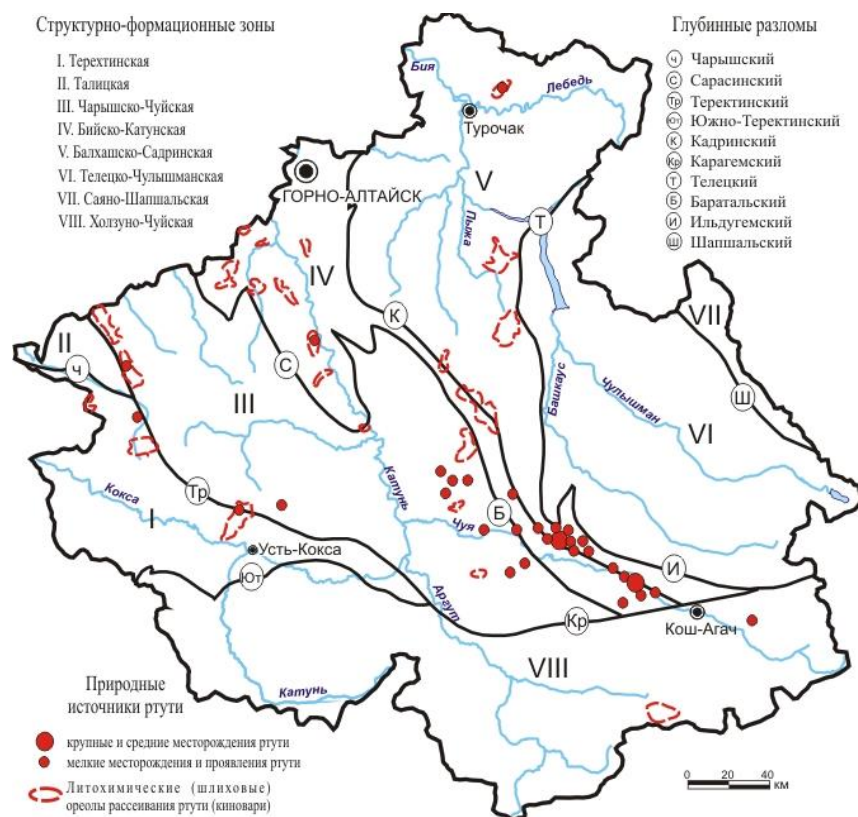


Рис. 1. Геолого-структурная позиция проявлений ртути в Республике Алтай

Fig. 1. Geological and structural position of mercury manifestations in the Altai Republic

Таблица 1. Содержание ртути в источниках ее эмиссии в природную среду РА

Table 1. Mercury content in the sources of its emission into the natural environment of the Altai Republic

Содержание ртути в ее природных источниках/Mercury content in its natural sources							
Параметры Parameters	Месторождения ртути и других полезных ископаемых Deposits of mercury and other minerals					Вторичные ореолы Hg Secondary auras of Hg	
	Акташское Aktash (Hg)	Чаган-Узун Chagan-Uzun (Hg)	Калгуты Kalgut (W, Mo)	Синюхинское Sinyukha (Au)	Курайское (уголь) Kuray (coal)	Акташское Aktash (Hg)	Синюхинское Sinyukha (Au)
lim, мкг/кг (mcg/kg)	0,1...10,8×10 <sup>7</sup>	0,1...1,5×10 <sup>7</sup>	50-300	5-100	1-80	100-500	10-300
$\bar{x}$ , мкг/кг (mcg/kg)	1,25×10 <sup>7</sup>	0,47×10 <sup>7</sup>	200	30	50	100-300	100
Содержание ртути в твердых природно-техногенных источниках вторичного загрязнения Mercury content in solid natural and man-made sources of secondary pollution							
Параметры Parameters	Производственные отходы, г/т Production waste, g/t			Почвы промзон рудников Soils of industrial zones of mines			Донные осадки рек Bottom sediments of rivers
	Шлаки <sup>1</sup> Slags <sup>1</sup>	Хвосты <sup>2</sup> Tails <sup>2</sup>	Хвосты <sup>3</sup> Tails <sup>3</sup>	АГМП AGME	«Калгуты» «Kalgut»	«Веселый» «Vesely»	Ярлыамры Yarlyamry
lim, мкг/кг (mcg/kg)	161-1000	1,0-6,3	1-10	1-1000	0,04-30	0,1-6,3	10-103
$\bar{x}$ , мкг/кг (mcg/kg)	250	2,6	5,0	29,0	8,9	1,0	37,3
Содержание ртути в жидких природно-техногенных источниках вторичного загрязнения Mercury content in liquid natural and man-made sources of secondary pollution							
Параметры Parameters	Водоотлив рудников Mine drainage			Технологические воды рудников Process waters drainage			Вода загрязненных рек Water of polluted rivers
	АГМП AGME	«Майский» «Maysky»	«Веселый» «Vesely»	АГМП AGME	«Майский» «Maysky»	«Веселый» «Vesely»	Ярлыамры Yarlyamry
lim, мкг/л (mcg/l)	0,2-0,6	0,11-0,34	0,07-0,17	до 13900	0,07-180	0,10-9,3	0,07-2,4
$\bar{x}$ , мкг/л (mcg/l)	0,32	0,20	0,10	2500	0,45	0,20	0,30

lim – минимальное...максимальное содержание,  $\bar{x}$  – среднее содержание, N – число проб. Производственные отходы: 1 – АГМП, 2 – рудник «Веселый», 3 – рудник «Калгуты».

lim – minimum...maximum content,  $\bar{x}$  – average content, N – number of samples. Production waste: 1 – AGME, 2 – «Vesely» mine, 3 – «Kalguty» mine.

Содержание ртути в загрязненных почвах варьируется в широких пределах – от единиц–десятков мкг/кг до первых тысяч – сотен тысяч мкг/кг в промзонах рудников, а также горнодобывающих предприятий, использовавших ртуть для извлечения золота. Такой же уровень концентраций ртути отмечен в донных отложениях рек, загрязненных твердыми отходами ГДП.

Повышенный уровень содержания ртути проявлен в жидких природно-техногенных источниках вторичного загрязнения – в водоотливе разведочно-эксплуатационных горных выработок, в технологических водах горнодобывающих предприятий, а также в загрязненных их сбросами поверхностных водных объектах. В технологических водах ГДП, размещаемых, как правило, в технически необорудованных прудках-отстойниках, проявлены повышенные и аномально высокие концентрации ртути – до первых десятков и реже тысяч мкг/дм<sup>3</sup>. В других источниках вторичного загрязнения ее содержание составляет в основном десятки мкг/дм<sup>3</sup> (табл. 1).

Техногенные источники эмиссии ртути в окружающую среду представлены в основном привозными ртутьсодержащими отходами промышленных предприятий Сибирского региона, хвостами золотоизвлекательной фабрики рудника «Веселый», а также участками прошлого использования ртути при отработке золотоносных россыпей в северной части региона (бассейны рек Бия, Лебедь, Саракокша), приводящей к загрязнению всего комплекса природных сред [5].

Второстепенными источниками антропогенного поступления ртути в окружающую среду являются селитебные зоны (сжигание угля, размещение отходов и др.) и пахотные земли под зерновыми культурами, семена которых обрабатывались ртутьсодержащим фунгицидами (гранозан и др.) [15–17]. С учетом небольшой численности и рассредоточенности населения, преобладания аграрного производства, а также низкой доли пашни (1,3 % от площади РА) уровень эмиссии ртути от этих источников представляется незначительным (рис. 2).

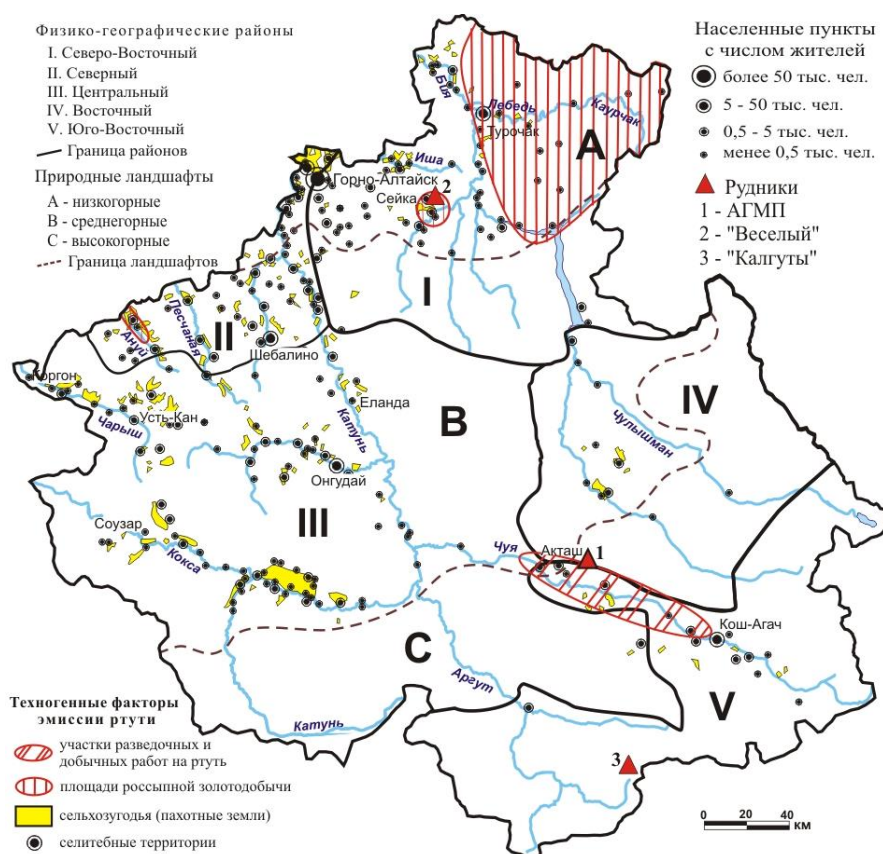


Рис. 2. Потенциальные источники эмиссии ртути в окружающую среду РА

Fig. 2. Potential sources of mercury emissions into the RA environment

Уровни содержания ртути в природных средах. Ртуть в фоновых, реже в повышенных и высоких концентрациях присутствует во всех компонентах природной среды региона – от горных пород до атмосферного воздуха, в котором повышенное содержание ртути, особенно в почвенном воздухе, служит надежным индикатором ее повышенного присутствия в почвообразующих породах.

По данным МГХК-1000 [6], среднее содержание ртути в породах геологических формаций Горного Алтая варьируется в пределах 30–440 мкг/кг и в среднем составляет 100 мкг/кг. Этот региональный фон находится на уровне кларка литосферы и предопределяет концентрации ртути в приземной атмосфере населенных пунктов Республики Алтай на уровне 4–10 нг/м<sup>3</sup>, а в почвенном воздухе – 10–30 нг/м<sup>3</sup>.

В населенных пунктах региона, где находятся объекты инфраструктуры ГДП, добывающих или применяющих ртуть, ее концентрации в приземной атмосфере выше на порядок, а в почвенном воздухе выше на два порядка. При этом содержания ртути в почвенном и атмосферном воздухе тесно связаны между собой (табл. 2).

Основными источниками эмиссии ртути в атмосферу региона являются производственные отходы ГДП и загрязненные ими почвы [13]. Так, концентрации ртути в приземной атмосфере над территориями огарков АГМП и захоронениями привозных РСО достигает  $7 \text{ мкг/м}^3$  (23 ПДК), а в почвенном воздухе на территории промзоны –  $60 \text{ мкг/м}^3$ .

**Таблица 2.** Содержание ртути в атмосферном и почвенном воздухе

**Table 2.** Mercury content in atmospheric and soil air

Содержание ртути в воздухе населенных пунктов Республики Алтай и Алтайского края Mercury content in the air of settlements of the Altai Republic and the Altai territory								
Параметры Parameters	Акташ Aktash	Сейка Seyka	Улаган Ulagan	Чемал Chemal	Шебалино Shebalino	Горно-Алтайск Gorno-Altaiisk	Барнаул Barnaul	Бийск Biysk
N, ед. (un.)	32	175	28	28	18	51	103	69
lim, $\text{нг/м}^3$ ( $\text{ng/m}^3$ )	<2–200	<2–264	<2–24	<2–12	<2–36	<2–8	<2–59	<2–13
$\bar{x}$ , $\text{нг/м}^3$ ( $\text{ng/m}^3$ )	38,7	68,4	7,0	5,3	8,6	4,0	5,0	8,0
Содержание ртути в почвенном воздухе населенных пунктов Республики Алтай Mercury content in the soil air of settlements of the Altai Republic								
Параметры Parameters	Акташ Aktash	Сейка Seyka	Майское Maiskoe	Талон Talon	Чибит Chibit	Улаган Ulagan	Чемал Chemal	Шебалино Shebalino
N, ед. (un.)	32	175	30	18	11	28	28	18
lim, $\text{нг/м}^3$ ( $\text{ng/m}^3$ )	45–5188	<2–4936	36–5243	44–660	4–82	<2–38	4–50	<2–52
$\bar{x}$ , $\text{нг/м}^3$ ( $\text{ng/m}^3$ )	787	165	204	312	27,3	13,3	19,1	14,3
R*	0,68	0,38	нет данных/no data		0,79	0,59	0,52	0,60

\* – значения парной корреляции в почвенном и атмосферном воздухе при  $p=0,01$ ; выделены населенные пункты с загрязненным ртутью почвенным покровом. Остальные условные обозначения в табл. 1.

\* – values of the pair correlation in soil and atmospheric air at  $p=0,01$ ; settlements with mercury-contaminated soil cover are identified. The remaining symbols are shown in Table 1.

Содержание ртути в незагрязненных почвах региона варьируется в относительно узких пределах –  $10\text{--}270 \text{ мкг/кг}$  при среднем  $110 \text{ мкг/кг}$ , которое можно считать региональным фоном. Среднее содержание ртути для разных типов почв изменяется от  $77 \text{ мкг/кг}$  для горнолесных дерново-подзолистых почв до  $170 \text{ мкг/кг}$  для черноземов южных. Повышенные ее концентрации ( $130\text{--}160 \text{ мкг/кг}$ ) характерны также для каштановых почв Чуйской и Курайской межгорных котловин Юго-Восточного Алтая [7].

Характерной особенностью поведения ртути в почвах является увеличение ее содержания в ряду «низкогорные–среднегорные–высокогорные ландшафты», объясняемое

более легким механическим составом и повышенной степенью выветривания почвообразующих пород в условиях высокогорья. Идентичный, но менее выраженный тренд увеличения содержания ртути в почвах проявлен в ряду физико-географических районов: Северо-Восточный–Центральный–Юго-Восточный Алтай (табл. 3).

Другая особенность поведения ртути в почвах заключается в ее накоплении в верхней части гумусового горизонта А в среднем в полтора раза выше относительно нижних горизонтов (BC, C), объясняемое более активным образованием ртутьорганических соединений [18]. Это отношение сохраняется для всех типов природных ландшафтов Горного Алтая.

**Таблица 3.** Содержание ртути в почвах РА (по материалам ГЭИК-1000)

**Table 3.** Mercury content in RA soils (based on GERM-1000 materials)

Содержание ртути в почвенном горизонте А основных типов ландшафтов Mercury content in the soil horizon A of the main types of landscapes					
Параметры Parameters	низкогорные low mountains	среднегорные mid-mountain	высокогорные high mountains	межгорные впадины intermountain hollows	среднее average
N, ед. (un.)	30	24	22	13	89
lim, $\text{мкг/кг}$ ( $\text{mcg/l}$ )	10–143	60–150	95–270	75–270	10–270
$\bar{x}$ , $\text{мкг/кг}$ ( $\text{mcg/l}$ )	68	125	190	169	115
Содержание ртути в почвенных горизонтах BC, C основных типов ландшафтов Mercury content in soil horizons BC, C the main types of landscapes					
N, ед. (un.)	29	13	10	8	60
lim, $\text{мкг/кг}$ ( $\text{mcg/l}$ )	10–150	10–150	20–200	50–150	10–200
$\bar{x}$ , $\text{мкг/кг}$ ( $\text{mcg/l}$ )	45	80	120	110	75
A/BC, C ед. (C un.)	1,51	1,56	1,58	1,54	1,53

Среднее содержание ртути во всех типах растительности региона также варьируется в узких пределах –  $12\text{--}20 \text{ мкг/кг}$ , но для отдельных семейств и видов растений имеются двух- и трехкратные различия. В зонах влияния ГДП ее содержание в разнотравье в 5–50 раз выше, чем на фоновой террито-

рии РА и других регионов [19–21]. Максимальные концентрации ртути отмечены в разнотравье промзоны бывшего АГМП – до  $35000 \text{ мкг/кг}$ , или 700 МДУ, в зонах влияния других ГДП ее содержание в травянистых растениях не превышает десятых долей  $\text{мг/кг}$  (табл. 4).

**Таблица 4.** Содержание ртути в растительности на территории РА

**Table 4.** Mercury content in vegetation on the territory of the Altai Republic

Параметры Parameters	Древесные виды Wood species		Травянистые виды (разнотравье) Herbaceous species (herbs)				Разнотравье в зонах рудников Mixed grasses in mine zones		
	Хвойные Conifer	Лиственные Foliate	I	II	III	IV	АГМП AGME	«Калгуты» «Kalguty»	«Веселый» «Vesely»
N, ед. (un.)	16	28	52	16	34	54	74	10	19
lim, мкг/кг (mcg/l)	8–28	10–32	6–70	7–15	5–59	3–64	40–35000	80–480	50–160
$\bar{x}$ , мкг/кг (mcg/l)	18,5	20,0	17,3	11,8	19,7	15,8	860	220	97

I – бассейн р. Катунь, II – район оз. Телецкое, III – плато Укок; IV – межгорные котловины.

I – Katun river basin, II – Teletskoe lake district, III – Ukok plateau; IV – intermountain basins.

Картина распределения ртути в поверхностных водах региона идентична той, что отмечена для растений. Так, ее максимальное содержание в воде рек 2–3 порядка (относительно р. Обь) составляет 0,30...0,43 мкг/дм<sup>3</sup> при среднем 0,1...0,15 мкг/дм<sup>3</sup> (табл. 5). Это свидетельствует о близких концентрациях ртути в геологических образованиях водосборных бассейнов рек, а также о близости природных условий перехода ртути в водную среду.

В донных отложениях рек среднее содержание ртути варьируется от 80 до 350 мкг/кг, при этом максимальные концентрации проявлены главным образом в мелкопесчано-глинисто-илистых фракциях наносов рек северной и северо-восточной низкоргорных частей РА (Лебедь, Бия, Иша, Каурчак и др.). Для этих рек нередко присущи значимые обратные связи содержания ртути в воде и донных отложениях.

**Таблица 5.** Среднее содержание ртути в речных водах и донных отложениях РА

**Table 5.** Average mercury content in river waters and bottom sediments of the RA

Параметры Parameters	Вода рек 2–3 порядков/Water of rivers of 2–3 orders						
	Катунь Katun	Чарыш Charysh	Ануй Anui	Песчаная Peschanaya	Лебедь Lebed	Чулышман Chulyshman	Каурчак Kaurchak
N, ед. (un.)	20	58	18	12	4	5	17
lim, мкг/л (mcg/l)	0,02–0,30	0,01–0,43	0,01–0,30	0,01–0,36	0,01–0,17	0,01–0,05	0,01–0,37
$\bar{x}$ , мкг/л (mcg/l)	0,16	0,13	0,12	0,11	0,13	0,03	0,16
Параметры Parameters	Донные отложения рек/Bottom sediments of rivers						
	Катунь Katun	Бия Biya	Чарыш Charysh	Аргут Argut	Песчаная Peschanaya	Лебедь Lebed	Иша Isha
N, ед. (un.)	17	10	29	5	6	5	10
lim, мкг/кг (mcg/l)	50–350	150–320	10–300	20–300	60–300	150–300	170–340
$\bar{x}$ , мкг/кг (mcg/l)	219	237	98	120	184	244	255

В основных типах подземных вод складчатого палеозойского фундамента (жилые, трещинные, карстовые) и рыхлого покровного чехла (грунтовые воды) содержание ртути в целом в 2–3 раза ниже, чем в по-

верхностных водах. Так, ее среднее содержание в питьевых подземных водах находится на уровне 0,02...0,08 мкг/дм<sup>3</sup> при преобладании значений 0,04...0,06 мкг/дм<sup>3</sup> (табл. 6).

**Таблица 6.** Среднее содержание ртути в подземных водах населенных пунктов РА

**Table 6.** Average mercury content in underground waters of Altai Republic settlements

Содержание ртути в грунтовых водах отложений рыхлого чехла в населенных пунктах Mercury content in ground water of loose cover deposits in populated areas							
Параметры Parameters	Г-Алтайск G-Altaiisk	Шебалино Shebalino	Сейка Seyka	Турочак Turochak	Коргон Korgon	Артыбаш Artybash	Акташ Aktash
N, ед. (un.)	26	13	38	9	15	10	9
max, мкг/л (mcg/l)	0,31	0,22	0,27	0,35	0,25	0,13	0,09
$\bar{x}$ , мкг/л (mcg/l)	0,05	0,06	0,04	0,07	0,05	0,02	0,04
Содержание ртути в подземных водах складчатого фундамента Mercury content in underground waters of the folded Foundation							
Параметры Parameters	Г-Алтайск G-Altaiisk	Онгудай Ongudai	Сейка Seyka	Турочак Turochak	Усть-Кан Ust-Kan	Кош-Агач Kosh-Agach	Акташ Aktash
N, ед. (un.)	30	17	35	13	14	24	8
max, мкг/л (mcg/l)	0,36	0,29	0,26	0,29	0,36	0,25	0,08
$\bar{x}$ , мкг/л (mcg/l)	0,05	0,05	0,05	0,06	0,08	0,07	0,03

Анализ корреляционных связей ртути в сопряженных пробах природных сред в условно фоновых и слабо загрязненных населенных пунктах региона (Акташ, Сейка) показал наличие прямой зависимости ее содержания в приземном воздухе (на высоте 1,5 м), почвенном воздухе,

почвах и почвообразующих породах складчатого фундамента (табл. 7). Исключением является незначимый уровень связи между содержанием ртути в приземном воздухе и коренных породах, что объясняется преобладающим отсутствием их непосредственного контакта.



**Таблица 7.** Связи ртути в сопряженных природных средах населенных пунктов

**Table 7.** Mercury bonds in conjugated natural environments of human settlements

Природные среды Natural environments	Акташ/Aktash (n=32)				Чиби́т/Chibit, Иня/Inya (n=22)				Еланда/Elanda (n=126)			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
I. Атмосферный воздух/Atmospheric air	1	<b>0,68</b>	<b>0,36</b>	0,05	1	<b>0,79</b>	<b>0,43</b>	0,37	1	<b>0,40</b>	<b>0,20</b>	0,04
II. Почвенный воздух/Soil air		1	<b>0,36</b>	<b>0,35</b>		1	<b>0,56</b>	<b>0,42</b>		1	<b>0,30</b>	<b>0,25</b>
III. Почвы/Soils			1	<b>0,87</b>			1	<b>0,82</b>			1	<b>0,38</b>
IV. Коренные породы/Bedrock				1				1				1

Примечание: выделены значимые коэффициенты парной корреляции на уровне 0,05.

Note: significant pair correlation coefficients at the level of 0,05 are highlighted.

Отмеченные тесные связи концентраций ртути в объектах природной среды указывают на их сопряженный характер и на превалирование природных источников ее эмиссии в окружающую среду региона. Следует отметить, что на участках наложенного ртутного загрязнения промзон ГДП отсутствуют связи между содержанием ртути в

горных породах и депонирующих ее природных средах.

Региональный геохимический фон ртути в природных средах. Полученные данные позволяют предварительно оценить региональный фон ртути в горных породах и компонентах природной среды на территории РА следующими значениями (табл. 8).

**Таблица 8.** Региональный геохимический фон ртути в компонентах природной среды

**Table 8.** Regional geochemical background of mercury in rocks and natural environments

Кларки, фоны, ПДК (ОДК) Clarks, backgrounds, MPC (APC)	Земная кора, мг/кг Earth's crust, mg/kg	Атмосферный воздух, нг/м³ Atmospheric air, ng/m³	Почвы, мг/кг Soils, mg/kg	Воды, мкг/дм³ Waters, mcg/dm³		Донные отложения, мг/кг Bottom sediments, mg/kg	Растения Plants	
				речные river	подземные underground		1	2
Кларк/Clarks [24]	0,065	1,7	0,06	0,07	0,01	0,07	0,015	
Фон Сибири Siberia background	0,05	1–11	0,04	0,02	0,02	0,07	нет данных no data	
Фон Горного Алтая Gorny Altai background	<b>0,10</b>	<b>4,0</b>	<b>0,11</b>	<b>0,10</b>	<b>0,04</b>	<b>0,10</b>	<b>0,017</b>	<b>0,020</b>
ПДК (ОДК, МДУ) MPC (APC, MPC)	–	300	2,1	0,05	0,5	–	(0,05)	–

1 – разнотравье; 2 – листья тополя и березы; прочерк – отсутствие регламентов.

1 – motley grass; 2 – poplar and birch leaves; dash – lack of regulations.

В качестве комментария по достоверности оценки приведенного регионального фона ртути отметим следующее. Исходные, репрезентативные по объему выборки, данные для их расчета охватывали, как правило, весь регион и были получены (выбраны) для его незагрязненных фоновых по ртути территорий. При расчете фоновых значений были также использованы оценки регионального, а для отдельных районов – и локального геохимического фона, содержащиеся в опубликованных и фоновых материалах эколого-геохимических работ в РА и на сопредельных территориях.

Сопоставление предварительно намеченного регионального геохимического фона ртути на территории региона с кларками земной коры, приземной атмосферы, гидро-, педо- и биосферы однозначно указывает на небольшое (в среднем в 1,5 раза), но устойчивое превышение «ртутного фона» Горного Алтая над кларковыми значениями и региональными фонами Сибири [22–25].

По нашему мнению, это обстоятельство обусловлено главным образом широким распространением в РА проявлений ртути и объектов ее разведки, разра-

ботки и применения, а также высоким миграционным потенциалом ртути в условиях резко расчлененного рельефа и высокой обводненности региона, способствующих ее активному распространению в объектах природной среды.

## Выводы

1. Геологические образования Республики Алтай в целом не специализированы на ртуть, но на локальных участках ртутного оруденения проявлено ее слабо повышенное присутствие в компонентах природной среды.
2. Аномально повышенные уровни ртутного загрязнения компонентов природной среды обусловлены главным образом экологическими последствиями ее добычи и применения.
3. Современная хозяйственная деятельность в регионе не создает опасного загрязнения ртутью компонентов природной среды, но в его пределах существует ряд ранее сформированных техногенных источников эмиссии ртути, основными из которых являются отходы горнодобывающих предприятий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: справочник. В 6 кн. / под ред. Э.К. Буренкова. Кн. 5: Редкие d-элементы. – М.: Экология, 1997. – 576 с.
2. Янин Е.П. Ртуть в окружающей среде промышленного города. – М.: ИМГРЭ, 1992. – 169 с.
3. Распределение ртути в компонентах окружающей среды горнорудных районов Республики Алтай / Д.В. Юсупов, Ю.В. Робертус, Л.П. Рихванов, Р.В. Любимов, Е.Е. Ляпина,

- Е.М. Турсуналиева // Оптика атмосферы и океана. – 2018. – Т. 31. – № 1. – С. 73–78.
4. Геология и генезис ртутных месторождений Алтае-Саянской области / В.А. Кузнецов, В.И. Васильев, А.А. Оболенский, И.П. Щербань / отв. ред. акад. В.А. Кузнецов. – Новосибирск: Наука, 1978. – 295 с.
  5. Робертус Ю.В. Масштабы и последствия применения ртути при золотодобыче в Республике Алтай // Экология и промышленность России. – 2020. – № 7. – С. 42–47.
  6. Криночкин Л.А. Комплексная ресурсно-экологическая оценка территорий на примере многоцелевого геохимического картирования масштаба 1:1000000 (на примере южной части Алтайского края): дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – М.: ИМГРЭ, 1999. – 190 с.
  7. Мальгин М.А., Пузанов А.В. Ртуть в почвах, почвенном и приземном воздухе Алтае-Саянской горной области // Химия в интересах устойчивого развития. – 1995. – Т. 3. – № 1–2. – С. 161–173.
  8. Катунь: экогеохимия ртути / под ред. Н.А. Рослякова, А.Н. Дмитриева. – Новосибирск: ОИГГиМ, 1992. – 180 с.
  9. Поведение ртути и других тяжелых металлов в экосистемах: аналитический обзор. Ч. 3. – Новосибирск: ГПНТБ СО АН СССР, 1989. – 204 с.
  10. Папина Т.С., Артемьева С.С., Темерев С.В. Особенности миграции ртути в бассейне р. Катунь // Водные ресурсы. – 1995. – Т. 22. – № 1. – С. 60–66.
  11. Гусев А.И., Топоркова Н.И., Вдовина Е.Ю. Эколого-геохимическое районирование почв Алтае-Саянской складчатой области // Известия Алтайского отдела Русского географического общества. – 2015. – № 1 (36). – С. 95–101.
  12. Озерова Н.А. Ртуть и эндогенное рудообразование. – М.: Наука, 1986. – 232 с.
  13. Формы нахождения и переноса ртути в компонентах экосистем Горного Алтая / Ю.В. Робертус, Л.П. Рихванов, Д.В. Юсупов, Р.В. Любимов, Е.Е. Ляпина, Н.А. Осипова // Химия в интересах устойчивого развития. – 2018. – № 2. – С. 185–192.
  14. Робертус Ю.В., Рихванов Л.П. Химические элементы и вещества – индикаторы загрязнения природной среды Республики Алтай // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 8. – С. 154–165.
  15. Evaluation of mercury pollution in cultivated and wild plants from two small communities of the Tapajos gold mining reserve, Para State, Brazil / S.G. Egler, S. Rodrigues-Filho, R.C. Villas-Boas, C. Beinhoff // Sci. Total Environ. – 2016. – V. 368. – P. 424–433.
  16. Distribution and mobility of mercury in soils of a gold mining region, Cuyuni river basin, Venezuela / F. Santos-Francés, A. García-Sánchez, P. Alonso-Rojo, F. Contreras, M. Adams // Journal of Environmental Management. – 2011. – V. 92. – P. 1268–1276.
  17. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. fourth ed. – Boca Raton: CRC Press, 2011. – 505 p.
  18. Malikova I.N., Anoshin G.N., Badmaeva Zh.O. Mobile mercury species in soils of natural and natural-technogenic landscapes // Rus. Geol. Geophys. – 2011. – V. 52. – P. 320–332.
  19. Mercury uptake into poplar leaves / M. Assad, J. Parelle, D. Cazaux, F. Gimbert, M. Chalot, F. Tatin-Froux // Chemosphere. – 2016. – V. 146. – P. 1–7.
  20. Bargagli R. Moss and lichen biomonitoring of atmospheric mercury: a review // Science of the Total Environment. – 2016. – V. 572. – P. 216–231.
  21. Heavy metals accumulation in tree leaves from urban areas / M. Tomasevic, S. Rajsic, D. Dordevic, M. Tasic, J. Krstic, V. Novakovic // Environmental Chemistry Letters. – 2004. – V. 2. – P. 151–154.
  22. Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. – Екатеринбург, УрО РАН, 2009. – 383 с.
  23. Страховенко В.Д., Маликова И.Н., Щербов Б.Л. Распределение ртути в компонентах окружающей среды Сибири // Химия в интересах устойчивого развития. – 2012. – Т. 20. – № 1. – С. 117–123.
  24. Assessment of mercury content in poplar leaves of Novokuznetsk agglomeration / E.E. Lyapina, D.V. Yusupov, E.M. Tursunaliyeva, V.V. Osipova // Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2016. – V. 48 (1). – 012022.
  25. Populus nigra L. as a bioindicator of atmospheric trace element pollution and potential toxic impacts on human and ecosystem / A. Yalaltdinova, J. Kim, N. Baranovskaya, L. Rikhvanov // Ecological Indicators. – 2018. – V. 95. – P. 974–983.

Поступила 01.03.2021 г.

#### Информация об авторах

**Робертус Ю.В.**, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт водных и экологических проблем СО РАН.

**Рихванов Л.П.**, доктор геолого-минералогических наук, профессор отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

**Пузанов А.В.**, доктор биологических наук, профессор, директор, Институт водных и экологических проблем СО РАН.

**Кац В.Е.**, ведущий специалист, АО «Алтай-Гео».



UDC 553.499:550.4:504.064(571.150)

## MERCURY IN THE COMPONENTS OF NATURAL ENVIRONMENT OF THE ALTAI REPUBLIC

Yuriy V. Robertus<sup>1</sup>,  
ariocol@mail.gorny.ru

Leonid P. Rikhvanov<sup>2</sup>

Alexander V. Puzanov<sup>1</sup>,  
puzanov-aleksander@mail.ru

Valentina E. Katz<sup>3</sup>,  
altai.geo@yandex.ru

<sup>1</sup> Institute for Water and Environmental Problems SB RAS,  
1, Molodezhnaya street, Barnaul, 656038, Russia.

<sup>2</sup> National Research Tomsk Polytechnic University,  
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

<sup>3</sup> JSC «Altai-Geo»,  
52, Zavodskaya street, Maima, 649100, Russia.

**The relevance** of the work is caused by the need to generalize extensive diverse information on the ecogeochemistry of mercury in natural environments and man-made objects of the Altai Republic.

**The aim** of the research is to collect and systematize data on the levels of mercury content in the components of the natural environment in the background and contaminated areas of the region.

**Methods:** study and analysis of published and stock materials of ecological and geochemical works on mercury carried out in 1980–2010 by scientific and industrial organizations in the territory of the Altai Republic.

**Results.** Data on the main natural and anthropogenic sources of mercury emissions in the region and the levels of mercury pollution of the natural environment in the zones of their impact are presented. For the first time, the levels of mercury content were estimated for a large complex of components of the natural environment. The predominance of background concentrations of mercury in them and their close relations with the rocks of the folded basement are shown. Altitudinal zoning in mercury distribution in the soils of natural landscapes is planned. The background of mercury in rocks and other components of the natural environment of the region were preliminarily estimated. Its level is slightly increased relative to the world's Clarks.

**Conclusions.** The geological formations of the region are not mercury-specific. The increased level of local superimposed mercury pollution of natural environments is mainly due to its past extraction and use. Mercury concentrations in polluted natural environments are closely related. The main sources of anthropogenic mercury emissions are stale waste from mining enterprises. Modern economic activity in the region does not create dangerous pollution of the natural environment.

#### Key words:

Altai Republic, mercury, natural environments, emission sources, content levels, imposed pollution, local and regional background.

#### REFERENCES

- Ivanov V.V. *Ekologicheskaya geokhimiya elementov: spravochnik. Redkie d-elementy* [Environmental geochemistry of elements: reference book. Rare d-elements]. Ed. by E.K. Burenkov. Moscow, Ekologiya Publ., 1997. 576 p.
- Yanin E.P. *Rtut v okruzhayushchey srede promyshlennogo goroda* [Mercury in the environment of an industrial city]. Moscow, IMGRE Publ., 1992. 169 p.
- Yusupov D.V., Robertus Yu.V., Rikhvanov L.P., Lyubimov R.V., Lyapina E.E., Tursunaliyeva E.M. Distribution of mercury in environmental components of mining regions of the Altai Republic. *Optics of the atmosphere and ocean*, 2018, vol. 31, no. 1, pp 73–78. In Rus.
- Kuznetsov V.A., Vasiliev V.I., Obolensky A.A., Shcherban I.P. *Geologiya i genesis rtutnykh mestorozhdeniy Altae-Sayanskoy oblasti* [Geology and genesis of mercury deposits in the Altai-Sayan region]. Ed. by Acad. V.A. Kuznetsov. Novosibirsk, Nauka Publ., 1978. 295 p.
- Robertus Yu.V. Scales and consequences of mercury application in gold mining in the Altai Republic. *Ecology and Industry of Russia*, 2020, no. 7, pp. 42–47. In Rus.
- Krinochkin L.A. *Kompleksnaya resursno-ekologicheskaya otsenka territoriy na primere mnogotselevogo geokhimicheskogo kartirovaniya masshtaba 1:1000000 (na primere yuzhnoy chasti Altayskogo kraya)*. Dis. kand. nauk [Complex resource and ecological assessment of territories on the example of multi-purpose geochemical mapping of scale 1:1000000 (on the example of the southern part of the Altai territory). Cand. Diss.]. Moscow, 1999. 190 p.
- Malgin M.A., Puzanov A.V. Mercury in soils, soil and surface air of the Altai-Sayan mountain region. *Chemistry for sustainable development*, 1995, vol. 3, no. 1–2, pp 161–173. In Rus.
- Katun: ekogeokhimiya rtuti* [Katun: mercury ecogeochemistry]. Eds. N.A. Roslyakov, A.N. Dmitriev. Novosibirsk, UIGGM Publ., 1992. 180 p.
- Povedenie rtuti i drugikh tyazhelykh metallov v ekosistemakh: analiticheskiy obzor* [Behavior of mercury and other heavy metals in ecosystems: analytical review]. Novosibirsk, SPSTL SB AS USSR Publ., 1989. 204 p.
- Papina T.S., Artemyeva S.S., Temerev S.V. Features of mercury migration in the Katun river basin. *Water resources*, 1995, vol. 22, no. 1, pp. 60–66. In Rus.
- Gusev A.I., Toporkova N.I., Vdovina E.Yu. Ecological and geochemical zoning of soils of the Altai-Sayan folded region. *Izvestiya of the Altai Department of Russian geographical society*, 2015, no. 1 (36), pp. 95–101. In Rus.
- Ozerova N.A. *Rtut i endogennoe rudoobrazovanie* [Mercury and endogenous ore formation]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 232 p.
- Robertus Yu.V., Rikhvanov L.P., Yusupov D.V., Lyubimov R.V., Lyapina E.E., Osipova N.A. Forms of finding and transferring mercury in the components of the ecosystems of the Altai Moun-

- tains. *Chemistry for sustainable development*, 2018, no. 2, pp. 185–192. In Rus.
14. Robertus Yu.V., Rikhvanov L.P. Chemical elements and substances-indicators of pollution of the natural environment of the Altai Republic. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets engineering*, 2020, vol. 331, no. 8, pp. 154–165. In Rus.
  15. Egler S.G., Rodrigues-Filho S., Villas-Boas R.C., Beinhoff C. Evaluation of mercury pollution in cultivated and wild plants from two small communities of the Tapajos gold mining reserve, Para State, Brazil. *Sci. Total Environ.*, 2016, vol. 368, pp. 424–433.
  16. Santos-Francés F., García-Sánchez A., Alonso-Rojo P., Contreras F., Adams M. Distribution and mobility of mercury in soils of a gold mining region, Cuyuni river basin, Venezuela. *Journal of Environmental Management*, 2011, vol. 92, pp. 1268–1276.
  17. Kabata-Pendias A. *Trace elements in soils and plants*. fourth ed. Boca Raton, CRC Press, 2011. 505 p.
  18. Malikova I.N., Anoshin G.N., Badmaeva Zh.O. Mobile forms of mercury in soils of natural and natural-technogenic landscapes. *Geology and Geophysics*, 2011, vol. 52, no. 3, pp. 409–425.
  19. Assad M., Parelle J., Cazaux D., Gimbert F., Chalot M., Tatin-Froux F. Mercury uptake into poplar leaves. *Chemosphere*, 2016, vol. 146, pp. 1–7.
  20. Bargagli R. Moss and lichen biomonitoring of atmospheric mercury: a review. *Science of the Total Environment*, 2016, vol. 572, pp. 216–231.
  21. Tomasevic M., Rajsic S., Dordevic D., Tasic M., Krstic J., Novakovic V. Heavy metals accumulation in tree leaves from urban areas. *Environmental Chemistry Letters*, 2004, vol. 2, pp. 151–154.
  22. Grigoriev N.A. *Raspredelenie khimicheskikh elementov v verkhney chasti kontinentalnoy kory* [Distribution of chemical elements in the upper part of the continental crust]. Yekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2009. 383 p.
  23. Strahovenko V.D., Malikova I.N., Shcherbov B.L. distribution of mercury in components of the Siberian environment. *Chemistry for sustainable development*, 2012, vol. 20, no. 1, pp. 117–123. In Rus.
  24. Lyapina E.E., Yusupov D.V., Tursunaliyeva E.M., Osipova V.V. Assessment of mercury content in poplar leaves of Novokuznetsk agglomeration. *Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2016, vol. 48 (1), 012022.
  25. Yalaltdinova A., Kim J., Baranovskaya N., Rikhvanov L. *Populus nigra* L. as a bioindicator of atmospheric trace element pollution and potential toxic impacts on human and ecosystem. *Ecological Indicators*, 2018, vol. 95, pp. 974–983.

Received: 1 March 2021.

#### Information about the authors

**Yuriy V. Robertus**, Cand. Sc., leading researcher, Institute for Water and Environmental Problems SB RAS.

**Leonid P. Rikhvanov**, Dr. Sc., professor, Department of geology, Engineering School of Natural Resources, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Alexander V. Puzanov**, Dr. Sc., professor, director, Institute for Water and Environmental Problems SB RAS.

**Valentina E. Katz**, leading researcher, JSC «Altai-Geo».