

УДК 631.416.8
<https://doi.org/10.31251/pos.v9i3.350>



Ртуть в почвах бассейна реки Алей (Северо-Западный Алтай)

© 2026 И. А. Трошкова , Т. А. Рождественская , А. В. Пузанов , С. В. Бабошкина ,

О. А. Ельчининова

ФГБУН Институт водных и экологических проблем СО РАН, ул. Молодежная, 1, г. Барнаул, 656031, Россия.
 E-mail: rtamara@iwep.ru

Цель исследования. Оценка содержания ртути в почвенном покрове бассейна реки Алей в ее верхнем течении и выявление особенностей поведения элемента в разнотипных почвах.

Место и время проведения. Исследования проводили на территории Третьяковского, Локтевского, Змеиногорского административных районов Алтайского края в 1990–2023 гг.

Методы. Исследования проводили на основе сравнительно-географического метода (для оценки влияния техногенных нагрузок и геохимических аномалий на пространственное распределение содержания ртути в почвах) и общепринятых в почвоведении методов при анализе общих свойств почв; содержание ртути определено методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Основные результаты. Концентрация ртути в почвообразующих породах находится в пределах 0,05–0,1 мг/кг, в почвах – 0,01–0,06 мг/кг. Повышенное содержание ртути обнаружено в верхних горизонтах почв в районе Алтайского горно-обогатительного комбината, однако оно не превышает 0,12 ПДК ртути в почвах. До 1,3 ПДК элемента накапливают хвосты обогащения золотоизвлекательной фабрики.

Заключение. Содержание ртути в почвах исследуемого региона, не испытывающих влияния техногенных нагрузок и геохимических аномалий, соответствует уровню концентрации элемента в поверхностном слое почв мира, но выше регионального фона для почв Западной Сибири, что обусловлено исходным повышенным содержанием ртути в почвообразующих породах. Превышение уровня фона наблюдается на локальных участках. Определенную роль играет привнос ртути местными источниками загрязнения, связанными с переработкой полиметаллических руд. Ведущим фактором внутрипрофильного распределения ртути является процесс фиксации элемента органическим веществом почв.

Ключевые слова: ртуть; почвы; почвообразующие породы; концентрация; внутрипрофильное распределение; загрязнение.

Цитирование: Трошкова И.А., Рождественская Т.А., Пузанов А.В., Бабошкина С.В., Ельчининова О.А. Ртуть в почвах бассейна реки Алей (Северо-Западный Алтай) // Почвы и окружающая среда. 2026. Том 9. № 3. е350. DOI: [10.31251/pos.v9i3.350](https://doi.org/10.31251/pos.v9i3.350)

ВВЕДЕНИЕ

Ртуть является одним из наиболее опасных элементов-загрязнителей биосферы с самым высоким показателем токсичности среди тяжелых металлов. Согласно Российскому санитарно-гигиеническому ГОСТ Р 70281-2022 «Охрана окружающей среды. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения» (2022), ртуть (Hg) относится к сильноопасным веществам. Ртуть не входит в группу жизненно необходимых элементов, а ее роль в физиологических процессах остается неясной (Ефимова и др., 2005; Янин, 2005; Барановская и др., 2022).

Ртуть в окружающей среде присутствует в разнообразных формах, основными из которых являются пары металла, металлическая ртуть, неорганические и ртутьорганические соединения. Наиболее распространенными соединениями ртути в природе являются неорганические соединения Hg (II).

Наибольшую токсичность и опасность для живых организмов представляют органические производные ртути (Метилртуть ..., 1993). Монометилртуть официально признана тератогенным ядом, способным проникать сквозь плацентарный барьер и приводить к порокам развития у потомства. При отравлениях парами ртути, в первую очередь, наблюдаются изменения нервной системы. Водорастворимые соединения элемента оказывают раздражающее действие на кожу, а при поступлении внутрь организма вызывают отравления.

Токсичность ртути связана с агглютинацией (склеиванием, слипанием) эритроцитов, ингибированием ферментов. Хроническая интоксикация ртутью может нарушить минерализацию костей и уменьшить их прочность, что связано с близостью ионных радиусов ртути и кальция (Глинка, 1985). Воздействие ртути на человеческий организм вызывает неврологические, нефрологические,

сердечные и репродуктивные расстройства, а также генетические мутации (Осипова и др., 2013; Гладышев, 2021). Ртуть относится к канцерогенным веществам. У растений при отравлении ртутью возникают задержка появления всходов, роста и развития корней, торможение фотосинтеза, снижение урожайности. Постоянное воздействие концентраций ртути ниже ПДК тоже может представлять угрозу для здоровья (Глазовская, 1988; Иванов, 1997).

Главными природными источниками поступления элемента в окружающую среду являются естественная дегазация ртутьсодержащих минеральных пород и вулканическая деятельность (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Роева и др., 1996; Моисеенко и др., 2006). Основная масса Hg находится в соединениях, образуя самостоятельные ртутные минералы, такие как самородная ртуть, киноварь и др. Кроме того, элемент входит в состав других минералов в качестве изоморфных или механических примесей.

Основные антропогенные источники ртути – горнодобывающая и химическая промышленность, цветная металлургия, сжигание топлива (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Роева и др., 1996; Ильин, 2004; Моисеенко и др., 2006). Ртуть, присутствующая в качестве естественной примеси в рудах цветных металлов, мобилизуется при их добыче и может поступать в окружающую среду в процессе переработки сырья и концентратов на обогатительных фабриках. Из этих источников Hg попадает в окружающую среду, преимущественно, с атмосферными осадками, в результате осаждения пыли и ее аэрогенного переноса с высыхающих поверхностей хвостохранилищ. Токсичные соединения элемента включаются в биогеохимические круговороты, поступают через почву, гидросферу и атмосферу в растения, корма, продукты питания, организмы животных и человека. Важная роль в миграции Hg в окружающей среде, особенно в почвах и водоемах, принадлежит микроорганизмам, которые переводят ее из неорганической формы в органическую, в том числе, в метилртуть (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Иванов, 1997; Кузубова и др., 2000).

На повышенное содержание ртути в почвах районов месторождений, не только ртутных и золото-ртутных, но и полиметаллических, в рудах которых часто как примесь встречается ртуть, указывают К.К. Иматали (2015) в Кыргызстане; Н.А. Росляков с соавторами (1992), А.И. Гусев (2012), М.А. Густайтис, И.Н. Мягкая (2022), И.А. Трошкова с соавторами (2025) – на Алтае; В.А. Степанов (2023) – на Камчатке; Е.А. Наумов с соавторами (2006) – в Монголии и Хакасии.

Бассейн реки Алей в ее верхнем течении характеризуется сложной геохимической обстановкой, связанной с наличием и разработкой многочисленных месторождений и рудопроявлений цветных и благородных металлов, геохимической сопряженностью с Алтае-Саянской ртутной провинцией, а также экологически небезопасным хранением на исследуемой территории отходов обогащения полиметаллических руд (Рождественская, 2003; Пузанов и др., 2017а) (рис. 1). На территории исследования встречаются коры выветривания с довольно высоким содержанием элемента – 0,174 мг/кг (Пути ..., 2010).

Руды с ряда полиметаллических месторождений (Золотушинское, Степное, Корбалихинское) более 50 лет перерабатывались на Алтайском горно-обогатительном комбинате (АГОК) (рис. 2), здесь получали концентраты свинца и цинка. За время работы комбината вблизи промышленного города Горняк отходы обогащения руды были складированы в двух хвостохранилищах общей площадью около 1 км² и объемом 11 млн м³. Отходы обогащения полиметаллических руд, размещенные в хвостохранилищах Алтайского ГОК, содержат ртути 2,5 мг/кг, что превышает ПДК элемента в почвах (Пузанов и др., 2008). В 90-х годах прошлого века комбинат прекратил существование. После закрытия предприятия, одной из главных экологических проблем прилегающих к отвалам территорий в условиях, преимущественно, семиаридного климата Северо-Западного Алтая стало распространение пыли, насыщенной тяжелыми металлами (мелких частиц отработанной руды, кристаллов солей и вторичных минералов), с поверхности иссушенных нерекультивированных хвостохранилищ с образованием почвенно-геохимических и биогеохимических аномалий. Продолжительность пыления открытой поверхности составляет около 200 дней в год. Определенный вклад в загрязнение природных объектов вносят также водный смыв твердого материала, испарение и выделение токсичных газов, сезонная фильтрация растворов в подстилающие грунты (Пузанов и др., 2017а).

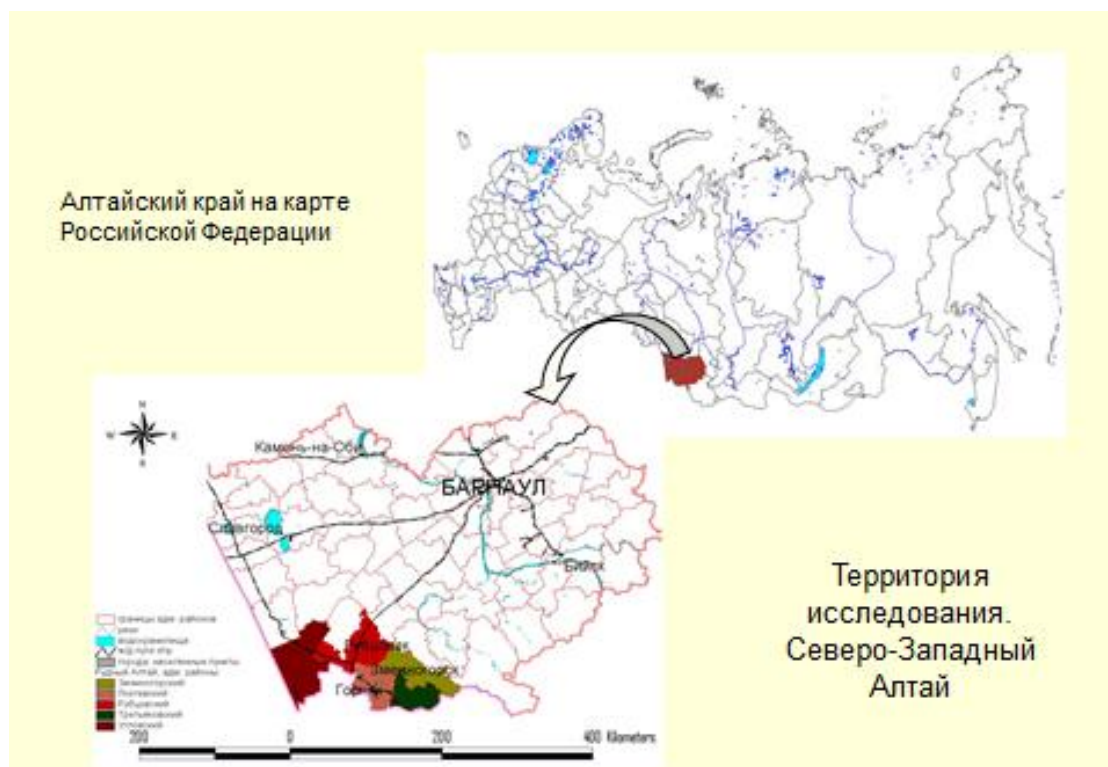


Рисунок 1. Территория исследования.

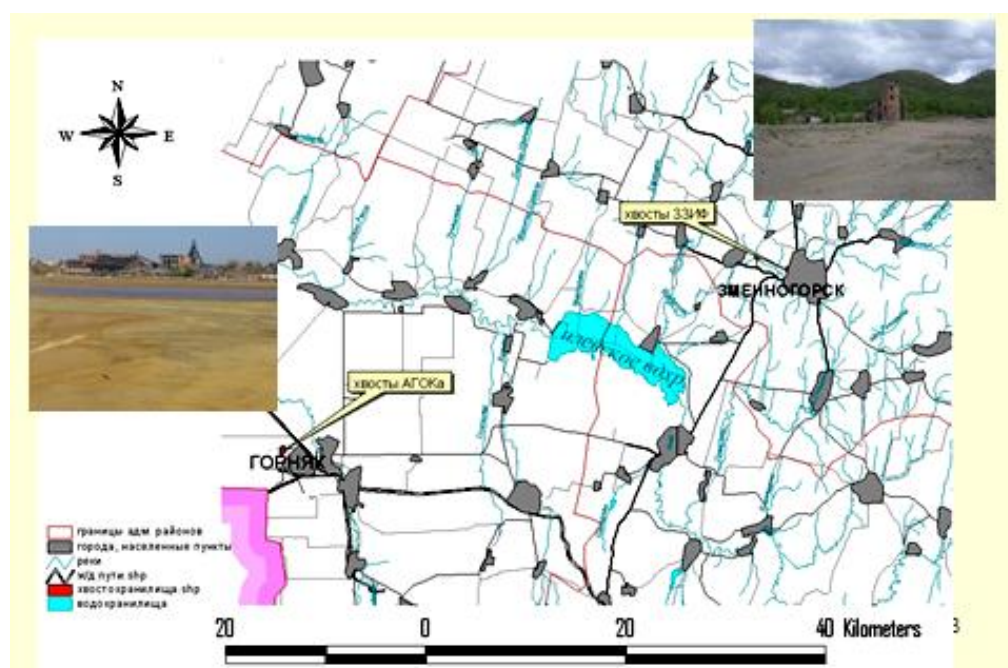


Рисунок 2. Схема расположения отвалов Алтайского горно-обогатительного комбината (АГОК) и Змеиногорской золотоизвлекательной фабрики (ЗЗИФ).

Таким образом, комплекс природных и антропогенных факторов предопределил необходимость исследования накопления и распределения ртути в почвах.

Цель исследований – определение содержания ртути в почвенном покрове бассейна реки Алей в ее верхнем течении и изучение особенностей биогеохимического поведения элемента в разнотипных почвах. Задачи исследования: выяснить уровень концентрации Hg в почвообразующих породах и почвах, выявить ведущие факторы, определяющие биогеохимическое поведение металла, дать санитарно-гигиеническую оценку сложившейся на изучаемой территории ситуации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования – почвообразующие породы и наиболее распространенные зональные почвы в бассейне верховьев реки Алей (в пределах Локтевского и Третьяковского административных районов): черноземы обыкновенные и южные. В комплексе с ними встречаются интразональные аллювиальные почвы.

Исследуемая территория представляет собой слабоволнистые и широкоувалистые предгорные равнины Северо-Западного Алтая с отдельными сопками и широкими долинами рек. Растительность представлена предгорным вариантом разнотравно-типчаково-ковыльной степи. Климат территории резко континентальный, количество осадков – от 150–200 мм (на западе) до 300 мм в год (на востоке). Господствующие ветры дуют с юга и юго-юго-запада.

Черноземы обыкновенные формируются в условиях плакорного положения под разнотравно-злаковой растительностью на лессовидных суглинках, местами – на продуктах выветривания плотных пород. Черноземы южные распространены незначительно и носят переходный к черноземам обыкновенным характер. Они встречаются только на западе на предгорных равнинах по правобережью Алая; формируются под засушливыми типчаково-ковыльными степями на лессовидных суглинках и тяжелых глинистых отложениях. Содержание гумуса в аккумулятивном, чаще всего, распаханном горизонте черноземов невелико. Миграция вещества в профиле почв происходит в условиях щелочной реакции среды, окислительной обстановки и мощных карбонатных систем (табл. 1). В таких условиях миграция большинства тяжелых металлов по профилю затруднена, а карбонатные горизонты выполняют функцию геохимического барьера.

Таблица 1

Свойства почв

Генетический горизонт	Глубина образца, см	Гумус	CaCO ₃	Ил	Физ. глина	pH	E*
		%					
Чернозем обыкновенный среднесиловый суглинистый. Разрез 1							
A	0–10	4,3	<0,2	16,6	41,8	7,7	42,6
A _к	30–40	2,8	1,9	16,1	36,7	8,2	41,0
AB _к	50–60	1,1	18,1	21,3	40,0	8,6	31,9
B _к	65–75	0,6	12,4	24,3	41,7	8,6	15,2
C _к	85–95	0,3	11,6	19,1	34,1	8,7	10,6
Чернозем южный среднесиловый суглинистый. Разрез 43							
A _{пах к}	0–10	2,4	1,5	16,2	25,0	8,0	33,5
A _к	15–25	2,5	1,5	4,3	27,7	8,2	23,3
AB _к	30–40	2,3	14,7	7,5	27,2	8,3	25,5
B _{1к}	42–52	1,2	15,9	18,1	32,1	8,4	21,5
B _{1к}	60–70	0,8	10,7	18,2	38,0	8,4	22,6
B _{2к}	80–90	0,3	8,0	11,4	25,1	8,5	10,9
BC _к	100–110	0,1	7,8	14,8	21,4	8,6	12,4
Аллювиальная дерновая степная суглинистая почва. Разрез 17							
A _{дер.к}	0–10	1,4	5,8	15,6	44,3	8,2	28,3
A _к	20–30	1,9	3,4	15,3	42,3	8,3	26,8
AB _к	35–45	0,6	3,8	12,0	28,9	8,2	17,9
B _{1к}	50–60	0,4	4,6	13,3	26,1	8,3	14,9
C _к	80–90	0,4	5,1	12,8	21,8	8,2	13,4

Примечание:

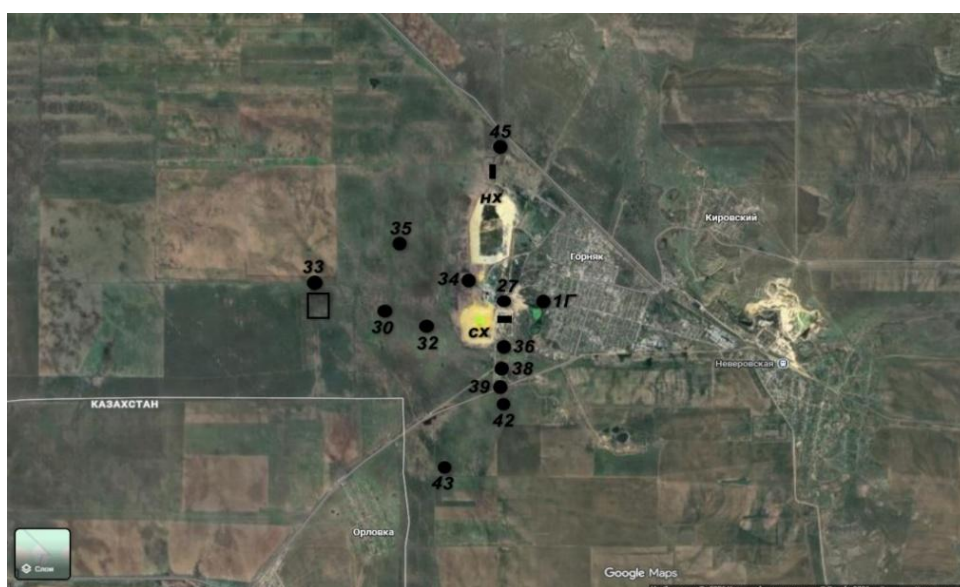
* – емкость катионного обмена (E), ммоль/100 г почвы.

В пойме р. Алей и на надпойменных террасах широко распространены аллювиальные почвы. Они являются компонентом аккумулятивных ландшафтов и геохимически сопряжены с зональными почвами – черноземами; характеризуются низким содержанием гумуса (в среднем 1–2%), щелочной реакцией среды, высоким содержанием карбонатов.

В основу полевых исследований положен сравнительно-географический метод. Отбор образцов почв и подготовка проб для анализа проводились в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа» (ГОСТ 17.4.4.02-84 ..., 1985). Разрезы в районе АГОК закладывались вдоль векторов господствующих направлений ветров. Для анализа загрязнения в качестве фоновых рассматривали разрезы на удалении 35–40 км от комбината, с наветренной стороны (рис. 3).



А



Б

Рисунок 3. Место отбора проб:

А – Фоновые точки

● – точки отбора; НХ – новое хвостохранилище; СХ – старое хвостохранилище.

Б – Точки импактной зоны

● – точки отбора; НХ – новое хвостохранилище; СХ – старое хвостохранилище;

■ – биоотстойник канализационных очистных сооружений;

■ – шахта;

□ – дачи.

Для аналитических исследований образцы почв и почвообразующих пород отбирали из профиля снизу вверх по генетическим горизонтам. Образцы укладывали в полиэтиленовые пакеты с пометкой на этикетке места и даты отбора, номера почвенного разреза, горизонта и глубины. Высушенную почву растирали в фарфоровой ступке и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм. Определение свойств почв выполнено общепринятыми в почвоведении методами (Аринюшкина, 1970; Агрохимические ..., 1975): содержание органического углерода – мокрым сжиганием в сернокислородной смеси по методу И.В. Тюрина; pH водной суспензии – потенциометрическим методом; гранулометрический состав – по Н.А. Качинскому (1958). Емкость катионного обмена в почвенных образцах определили по методу Бобко-Аскинази-Алешина в модификации ЦИНАО (ОСТ 46 50-76). Содержание ртути в почвах определено в лаборатории изотопно-геохимических методов анализа Института геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН (ИГМ СО РАН) методом атомно-абсорбционной спектроскопии согласно ПНД Ф 14.1:2.4. 139; 140-98; НСАМ №450С; РД 52.24.479-95. Навеску материала подвергали кислотному озолению концентрированной азотной кислотой при нагревании; полученный раствор фильтровали, количественно переносили в мерную колбу, доводили объём до метки дистиллированной водой и определяли содержание элемента. Нижний предел обнаружения Hg составляет 0,005 мг/кг.

При статистической обработке информации использовали программу Microsoft Excel. Оценка распределения данных проведена с помощью «ящика с усами» (диаграмма Тьюки) (минимальное значение отображается началом нижнего «уса», максимальное – концом верхнего «уса», медиана – чертой, разделяющей «ящик» на две части, 1-й квартиль – нижней стороной «ящика»; 3-й квартиль – верхней, $\bar{x}$ – среднее значение, кружки – выбросы данных). При обработке полученного материала пробы с высокими концентрациями элемента, явно обусловленными техногенным воздействием, после нормирования величин не включались в общую выборку для расчета средней арифметической.

Полученные данные по содержанию ртути в почвах сравнивали с данными для других регионов и ПДК (СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и(или) безвредности для человека факторов среды обитания», 2021).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ртуть в почвообразующих породах. Количество элемента в осадочных породах значительно варьирует (Браунлоу, 1984; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989): в песчаниках – 0,079–0,10 мг/кг, сланцах – 0,045–0,40; в глинистых осадках – 0,20–0,40; карбонатных породах – 0,022–0,05 мг/кг. В почвообразующих породах европейской части России содержание ртути находится в пределах 0,015–0,077 (Минеев и др., 1983).

Среднее валовое содержание ртути в лессовидных средних суглинках Приобского плато составляет $0,013 \pm 0,002$ мг/кг, в лессовидных суглинках Западной Сибири – 0,015 мг/кг (Ильин и др., 2003), в суглинистых почвообразующих породах юга этого региона – 0,012 (при колебаниях от 0,005 до 0,018 мг/кг) (Ильин и др., 2000). Почвообразующие породы Тувы (Мальгин, Пузанов, 1993) содержат элемент в среднем $0,099 \pm 0,014$ мг/кг.

Концентрация элемента в исследуемых почвообразующих породах ниже среднего содержания ртути в верхней части континентальной коры (0,065 мг/кг, Григорьев, 2009) и составляет 0,021 мг/кг при колебаниях 0,01–0,082 мг/кг, соответствуя почвообразующим породам Западной Сибири в целом (Ильин и др., 2000, 2003). Относительно низкие содержания связаны с формированием большинства исследованных почв на гранитах (Карта ..., 2000) – породах с низким содержанием ртути. Влияние природных источников загрязнения не прослеживается.

Зависимости содержания ртути в почвообразующих породах от их гранулометрического состава, на которую указывают многие исследователи (Скрипниченко, Золотарева, 1983; Мальгин, Пузанов, 1993; Ильин и др., 2000, 2003; Байдина, 2001), наблюдается не всегда, что, вероятно, связано с большим разнообразием исходного петрографического материала по содержанию элемента. Так, низкими концентрациями элемента (0,012 мг/кг) характеризуются не только почвообразующие породы легкого гранулометрического состава (разрез 43, табл. 2), но и более тяжелые разновидности (разрез 32). Часто почвообразующие породы в пределах даже одного генетического типа характеризуются различными уровнями концентрации Hg.

Таблица 2

Содержание ртути в исследуемых почвах

Почва	Горизонт	Глубина образца	Hg, мг/кг
1	2	3	4
Чернозем обыкновенный среднеомощный суглинистый на песчано-дресвянистом элювии. Разрез 1	A	0–10	0,011
	A _к	30–40	0,022
	AB _к	50–60	0,022
	B _к	65–75	0,017
	C _к	85–95	0,012
	CD _к	110–120	0,006
Чернозем обыкновенный среднеомощный легкосуглинистый. Разрез 27	A	0–10	0,057
	AB	30–40	0,035
	B	50–60	0,035
Чернозем обыкновенный среднеомощный легкосуглинистый. Разрез 30	A	0–20	0,035
	AB	35–45	0,030
	B ₁	60–70	0,037
	B ₁	90–100	0,025
	B ₂	120–130	0,010
Чернозем солонцеватый среднеомощный легкосуглинистый. Разрез 32	A _{пах}	0–20	0,052
	AB	30–40	0,042
	B ₁	50–60	0,035
	B ₂	70–80	0,030
	B ₃	100–110	0,012
	C	140–150	0,010
Чернозем обыкновенный среднеомощный суглинистый. Разрез 33	A _{дер}	0,4–10	0,057
	A	20–30	0,045
	AB	43–53	0,035
	B ₁	57–67	0,035
	B _{2к}	70–80	0,035
	C _к	110–120	0,037
Чернозем выщелоченный среднеомощный легкосуглинистый на карбонатных суглинистых отложениях. Разрез 42	A _{пах}	0–20	0,070
	A ₁	30–40	0,050
	AB	50–60	0,050
	B ₁ ^k	70–80	0,035
	B _{2к}	90–100	0,030
	C _к	140–150	0,020
Чернозем южный среднеомощный супесчаный на окарбоначенных песчаных отложениях. Разрез 43	A _{пах}	0–10	0,052
	A	15–25	0,042
	AB	30–40	0,040
	B ₁ ^k	42–52	0,032
	B _{1к}	60–70	0,022
	B ₂ ^k	80–90	0,015
	BC _к	100–110	0,012
Чернозем южный среднеомощный легкосуглинистый на карбонатных засоленных тяжелых суглинках. Разрез 45	C _к	140–150	0,012
	A _{пах}	0–10	0,052
	A	15–25	0,035
	AB	33–41	0,025
	B ₁ ^k	50–60	0,060
	B ₂ ^k	70–80	0,015

Продолжение табл. 2

1	2	3	4
	B_3^k	105–115	0,020
	C_k	140–150	0,050
	CD_k	170–180	0,015
Чернозем обыкновенный. 70 км на восток от АГОКа. Разрез Р–14–Ф–18	$A_{пах.}$	0–10	0,028
	$A_{пах.}$	10–20	0,022
	A	27–36	0,022
	AB	40–50	0,019
	B	60–70	0,020
	BC	100–110	0,011
		135–145	0,082
Аллювиальная дерновая слоистая почва. Разрез 13	$A_{дер}^k$	0–10	0,060
	AB_k	15–25	0,035
	S_1^k	35–45	0,027
	S_2^k	60–70	0,030
	S_3^k	80–90	0,022
	S_4^k	130–140	0,022
Аллювиальная дерновая степная суглинистая почва. Разрез 17	$A_{дер.к}$	0–10	0,055
	A_k	20–30	0,055
	AB_k	35–45	0,037
	$B_{1к}$	50–60	0,035
	C_k	80–90	0,037
Аллювиальная слоистая. Разрез 24	A_k	0–10	0,050
	A_k	30–40	0,042
	B_1^k	55–65	0,025
	B_2^k	70–80	0,025
	B_3^k	140–150	0,035

Ртуть в почвах. Уровень содержания ртути в почвах определяется, главным образом, ее количеством в почвообразующих субстратах и, в какой-то мере, дегазацией и термальной активностью Земли. Поведение элемента в компонентах биосферы обусловлено спецификой его физико-химических свойств и большим разнообразием химических соединений, которые могут образовываться в природной среде. Содержание ртути в почвах зависит от типа и подтипа почв, их агрофизической и агрохимической характеристики. Накопление ртути, в целом, связано с уровнем содержания углерода и серы в почве. В почвах Hg аккумулируется органическим веществом, глинистыми частицами, может поглощаться растительностью, а также выделяться в виде паров и в составе пыли в атмосферу, мигрировать вниз по почвенному профилю и поступать в грунтовые воды (Геохимия ..., 1970; Иматали, 2015; Ляпина, 2021; Qu et al., 2019).

Hg является довольно подвижным элементом, что обуславливает неоднородность ее распределения в почвах (Роева и др., 1996). По мнению других авторов (Иванов, 1997), она относительно малоподвижна при выветривании, так как образует слабоподвижные органические комплексы и другие соединения. В то же время, многие соединения ртути летучи и растворимы, что определяет ее наличие в самых различных лито- и биосубстратах. Ионы Hg^{2+} и Hg^{1+} могут присутствовать в минералах как часть их кристаллической решетки; они бывают адсорбированы на поверхности глинистых частиц, связаны с органическими компонентами почвы. При низких значениях pH большая часть ртути сорбирована органическим веществом, а по мере увеличения pH возрастает количество ртути, связанной с почвенными минералами (Роева и др., 1996; Ганзей и др., 2021). По данным (Иванов, 1997), сорбция ртути глинистыми почвами ограничена и не зависит от pH.

Важнейшую роль в биогеохимическом цикле ртути играют слаборастворимые органические соединения и, в частности, метилированная форма элемента, которой придается решающее значение в ртутной экологии. Концентрация ртути в почве связана с уровнем содержания органического вещества, железа и серы (Иванов, 1997; Гладкова, Малинина, 2005; Ignatavičius et al., 2022).

Содержание ртути в почвенном покрове различных регионов подвержено существенным колебаниям (табл. 3). В качестве фоновой концентрации ртути в почвах принята величина 0,1 мг/кг (Гигиенические ..., 1979).

Таблица 3

Содержание ртути в почвах разных регионов, мг/кг

Почвы, район	Пределы	Среднее
Почвы мира:		
(Геохимия ..., 1970)		0,01
(Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989)	0,004–0,99	0,п*
Поверхностный слой (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989)	0,01–1,5	≤0,4
Почвы европейской части бывшего СССР, Австрии, Швеции и Канады (Минеев и др., 1983)	0,02–0,5	0
Почвы островов Русский и Шкота (Приморский край) (Ганзей и др., 2021)	0,0359–0,1586	0,0812
Почвы Сихотэ-Алиня (Приморский край) (Барановская и др., 2022)	0,013–0,298	
Черноземы Приобья, гор А ₁ (А _{пах}) (Ильин и др., 2003)		0,024±0,005
Черноземы Кулунды гор А ₁ (А _{пах}) (Ильин и др., 2003)		0,021±0,005
Почвы юга Западной Сибири (Ильин, 2004)	0,02–0,03	
Почвы юга Западной Сибири (Аношин и др., 1995)	0,005–1,275	
Почвы Горного Алтая (Ельчининова, 2009),		0,077–0,170
Черноземы обыкновенные речных долин и межгорных котловин Горного Алтая (Пузанов и др., 2006) гор. А	0,048–0,272	0,100±0,007
гор. В	0,024–0,368	0,119±0,019
гор. С	0,021–0,312	0,112±0,019
Почвы Алтае-Саянской горной области (Мальгин, Пузанов, 1995а)	0,005–1,275	0,035–0,263
Лесостепная зона Алтайского края (Толкушкина и др., 2005)		0,04–0,05
Почвы Алтайского края (Ляпина, 2021)	0,002–0,022	0,008
(Перегудина и др., 2023)	0,004–0,011	
Почвы Кулундинской степи (Пузанов и др., 2000)	0,02–0,16	0,045±0,003
Бассейн Верхней Оби		
фоновые районы (Пузанов и др., 2017б)		0,093
районы месторождений (Мальгин, Пузанов, 1995б)	0,06–36	

Примечание.

* – <1 мг/кг

Концентрация Hg в исследованных почвах находится на уровне регионального и глобального фона для незагрязненных территорий (см. табл. 3, 4). Полученные нами результаты несколько выше данных для Западной Сибири (Ильин и др., 2000, 2003), что обусловлено исходным повышенным ее содержанием в почвообразующих породах (в сравнении с данными для Западной Сибири). Количество

Hg в изученных почвах значительно ниже, чем в почвах Горного Алтая (Пузанов и др., 2006), где на достаточно большой части территории находится ртутная провинция.

Таблица 4

Статистические параметры содержания ртути в исследуемых почвах

Почвы	n	lim	X±m	V, %
		мг/кг		
Черноземы обыкновенные	77	0,010–0,057	0,036±0,001	34
Черноземы южные	37	0,015–0,060	0,034±0,004	45
Аллювиальные	31	0,022–0,060	0,037±0,002	32

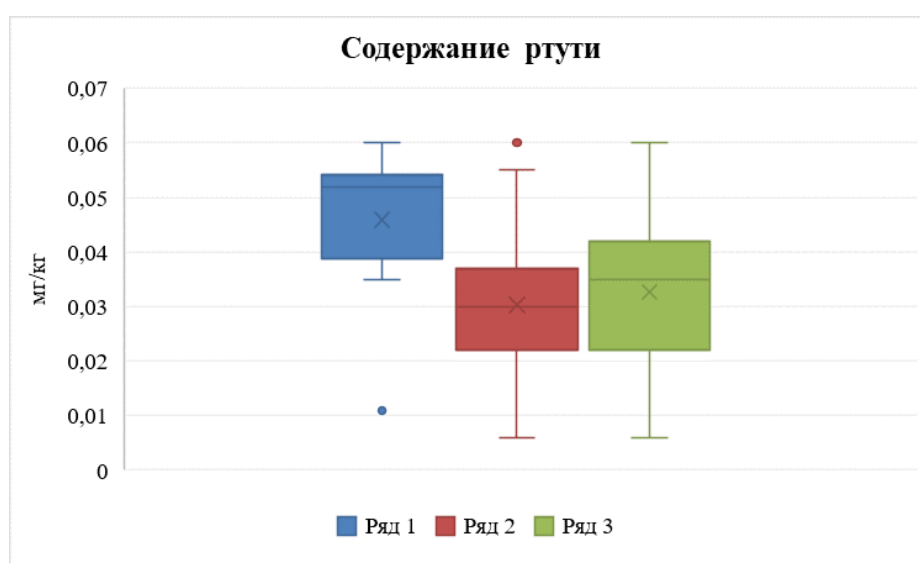
Примечание.

n – число проб, lim – пределы колебаний, X±m – средняя арифметическая и ее ошибка, V – коэффициент вариации.

Заметных межтиповых различий в содержании Hg не обнаружено (см. табл. 1, 3). Исходная неоднородность по гранулометрии почвообразующих субстратов исследуемого региона предопределяет неравномерность распределения ртути в почвенном профиле и затрудняет вычленение влияния почвообразовательных макропроцессов на внутрипрофильное распределение элемента.

Четкой зависимости содержания ртути в почвах от количества элемента в почвообразующей породе нет. В некоторых разрезах концентрация элемента в верхних горизонтах и в почвообразующих породах практически идентичны, в других – различаются более чем в 3 раза (см. табл. 3). В большинстве разрезов наблюдается накопление ртути в гумусово-аккумулятивных горизонтах, что может быть связано как с биогенным накоплением, так как гумусовые вещества закрепляют металл значительно прочнее, чем минеральная фаза, так и с загрязнением почвенного покрова. Содержание гумуса – единственное из исследованных свойств почв, с которым наблюдается достоверная связь концентрации ртути (коэффициент корреляции 0,64).

Оценка распределения данных с помощью «ящика с усами» показала, что распределение содержания ртути, близкое к нормальному (совпадение среднего и медианы), характерно только для почвенного профиля без учёта верхнего горизонта. «Ящик» для гумусового горизонта (рис. 4) расположен выше остальных («ящиков») для почвенного профиля в целом и профиля без учёта данных для верхнего горизонта, что свидетельствует о повышенном содержании ртути в этом горизонте; на это же указывает и самое высокое значение медианы.



Ряд 1 – в гумусовом горизонте

Ряд 2 – в почвенном профиле (без верхнего горизонта)

Ряд 3 – в почвенном профиле

Рисунок 4. Диаграмма размаха «Box plot» распределения ртути.

На преобладание соединений Hg, связанных с органическим веществом почв, гуминовыми и фульвокислотами, на всю глубину разреза в богатых гумусом южных черноземах Алтайского края указывает Е.Е. Ляпина (2021). Однако не всегда почвы, обогащенные органическим веществом, характеризуются максимальными уровнями содержания ртути (см. табл. 1). В целом, среднее содержание элемента в верхних горизонтах черноземов в 2 раза выше содержания ртути в аналогичных образованиях других территорий Западной Сибири (см. табл. 2, 3).

Переработка полиметаллических и ртутных руд на исследуемой территории обусловила образование в почвенном покрове техногенных геохимических аномалий. Мощным источником поступления тяжелых металлов в окружающую среду в регионе являются хвостохранилища Алтайского горно-обогатительного комбината (АГОК) в г. Горняке (Пузанов, Рождественская, 2009) и Змеиногорской золотоизвлекательной фабрики (см. рис. 1, 2). Повышенное содержание ртути обнаружено в верхних горизонтах почв окрестностей Алтайского горно-обогатительного комбината (табл. 5), однако они не превышают 0,12 ПДК ртути в почвах – 2,1 мг/кг (СанПиН ..., 2021). Определенный вклад в увеличение концентрации Hg, вероятно, вносят и отходы сжигания топлива в г. Горняке.

Получение золота на золотоизвлекательной фабрике осуществлялось методом амальгамирования, поэтому концентрация Hg в абсолютном большинстве образцов отходов (в 15 из 16) находится в пределах 0,37–6,3 мг/кг, а в одном образце достигает 100 мг/кг в хвостах.

Таблица 5

Содержание ртути в почвах района Алтайского ГОКа, мг/кг

Место отбора проб	Генетический горизонт	Глубина образца, см	Hg	Отношение к ПДК
Точка 34. Дачи в районе АГОК, в 500 м хвостохранилища	A	0-20	0,260	0,12
Точка 35. Горняк, в 300 м от дачи в районе АГОК	A	0-20	0,220	0,10
	AB	40-50	0,045	0,02
Точка 36. Дачи рядом с вентилятором обогатительной фабрики	A	0-20	0,135	0,06
Точка 38. В 1 км от шахты	A	0-20	0,155	0,07
Точка 39. В 1,3 км от шахты	A	0-20	0,185	0,09
Прикопка 1Г, г. Горняк, фон	A	0-3	0,060	0,03
		3-8	0,062	0,03
		8-13	0,047	0,02
		13-18	0,027	0,01

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание ртути в почвах исследуемого региона, не испытывающих влияния техногенных нагрузок и геохимических аномалий, аналогично уровню концентрации элемента в поверхностном слое почв мира, но выше регионального фона для почв Западной Сибири, что обусловлено исходным повышенным содержанием элемента в почвообразующих породах. Определенную роль играет привнос Hg местными источниками загрязнения, связанными с переработкой полиметаллических и золотоносных руд. Содержание ртути в почвах бассейна верховьев реки Алей (Северо-Западный Алтай) значительно ниже санитарно-гигиенических нормативов и глобального фона ртути; локальное превышение уровня местного фона наблюдается в почвах ландшафтов, сопряженных с Алтайским горно-обогатительным комбинатом. Ведущим фактором внутрипрофильного распределения ртути является процесс фиксации элемента органическим веществом почв.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН по проекту FUFZ-2026-0002 с использованием ресурсов Кызыл-Озёкского, Чемальского и Ануйского стационаров ИВЭП СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

Агрохимические методы исследования почв. Москва: Наука, 1975. 656 с.

Аношин Г.Н., Маликова И.Н., Ковалев С.И., Андросова Н.В., Сухоруков Ф.В., Цибульчик В.М., Щербов В.Л. Ртуть в окружающей среде юга Западной Сибири // Химия в интересах устойчивого развития. 1995. Том 3. № 1–2. С. 69–111.

Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. Москва: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.

Барановская Н.В., Иванов В.В., Осипова Н.А., Паничев А.М., Чекрызов И.Ю., Доронина В.Д., Хвощевская А.А. Ртуть в почвах и растительности на заповедных территориях Приморского края // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Том 333. № 11. С. 90–100. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/11/3759>

Байдина Н.Л. Статус ртути в фоновых и техногенных почвах Обь-Иртышского междуречья // Сибирский экологический журнал. 2001. № 2. С. 175–179.

Браунлоу А.Х. Геохимия. Москва: Недра, 1984. 436 с.

Ганзей К.С., Пшеничникова Н.Ф., Киселёва А.Г., Юрченко С.Г., Родникова И.М. Содержание ртути в почвенно-растительном покрове островов Русский и Шкота (залив Петра Великого, Приморский край) // Геохимия. 2021. Том 66. № 5. С. 473–480. <https://doi.org/10.31857/S0016752521030043>

Геохимия окружающей среды / Под ред. Ю.Е. Саеда, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. Москва: Недра, 1970. 335 с.

Гигиенические критерии состояния окружающей среды. 1. Ртуть. Женева: ВОЗ, 1979. 148 с.

Гладкова Н.С., Малинина М.С. Модель распределения валовой ртути в профиле лесных подзолистых почв // Почвоведение. 2005. № 8. С. 960–967.

Гладышев В.Б. Токсичные свойства ртути и ее влияние на организм животных и человека // The scientific heritage. 2021. № 81–2(81). С. 16–22. <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-81-2-16-22>

Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. Москва: Высшая школа, 1988. 327 с.

Глинка Н.Л. Общая химия. Ленинград: Химия, 1985. 702 с.

ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. Москва: Издательство стандартов, 1985. 8 с.

ГОСТ Р 70281-2022. Охрана окружающей среды. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. Москва: Российский институт стандартизации, 2022. 6 с.

Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.

Гусев А.И. Типизация золото-ртутного оруденения Горного Алтая // Успехи современного естествознания. 2012. № 12. С. 87–91.

Густайтис М.А., Мягкая И.Н. Особенности распределения ртути в волосах жителей поселка Акташ (Республика Алтай) // Почвы и окружающая среда. 2022. Том 5. № 1. С. 165. <https://doi.org/10.31251/pos.v5i1.165>

Ельчианинова О.А. Биогеохимические аспекты экологической оценки наземных экосистем Алтая. Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2009. 142 с.

Ефимова Н.В., Коваль П.В., Рукавишников В.С., Безгодов И.В. Проблемы, связанные с загрязнением ртутью объектов окружающей среды // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2005. № 1(39). С. 127–133.

Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Справочник. Книга 5. Редкие d-элементы. Москва: Экология, 1997. 576 с.

Ильин В.Б. Природный статус тяжелых металлов в почвенном покрове на юге Западной Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2004. № 1. С. 13–20.

Ильин В.Б., Сысо А.И., Конарбаева Г.А., Байдина Н.Л., Черевко А.С. Содержание тяжелых металлов в почвообразующих породах юга Западной Сибири // Почвоведение. 2000. № 9. С. 1086–1090.

- Ильин В.Б., Сысо А.И., Байдина Н.Л., Конарбаева Г.А., Черевко А.С. Фоновое количество тяжелых металлов в почвах юга Западной Сибири // Почвоведение. 2003. № 5. С. 550–556.
- Иматали К.К. Биогеохимическая оценка почвенно-растительного покрова ртутной техногенной провинции Айдаркен (Хайдаркен) // Наука и новые технологии. 2015. № 1. С. 97–101.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. Москва: Мир, 1989. 439 с.
- Карта полезных ископаемых: М-44-Х. Геологическая карта Российской Федерации. Второе издание. Карта полезных ископаемых. Алтайская серия, масштаб: 1:200000, серия: Алтайская, составлена: ОАО Рудно-Алтайская экспедиция, 2000 г., редактор Я.М. Гутак. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geokniga.org/maps/10752?ysclid=lvf65dwn3300114019> (дата обращения 10.11.2025).
- Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения Академия наук СССР, Почвенный институт им. В. В. Докучаева АН СССР. Москва: Издательство Академии наук СССР, 1958. 192 с.
- Кузубова Л.И., Шуваева О.В., Аношин Г.Н. Метилртуть в окружающей среде (распространение, образование в природе, методы определения). Аналитический обзор / ГПНТБ СО РАН. Институт неорганической химии. Аналитический центр Объединенного института геологии, географии и минералогии СО РАН. Новосибирск, 2000. 82 с.
- Ляпина Е.Е. Распределение форм нахождения ртути в профиле типичных почв Южной Сибири // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Том 2. № 2. С. 130–136. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2021-2-2-130-136>
- Мальгин М.А., Пузанов А.В. Ртуть в почвах Тувы // Охрана окружающей среды и человек. Кызыл, 1993. С. 45–47.
- Мальгин М.А., Пузанов А.В. Ртуть в почвах, почвенном и приземном воздухе Алтае-Саянской горной области // Химия в интересах устойчивого развития. 1995а. Том 3. № 1–2. С. 161–173.
- Мальгин М.А., Пузанов А.В. Ртуть в почвах Алтая // Сибирский экологический журнал. 1995б. Том 2. № 1. С. 60–72.
- Метилртуть: [Пер. с англ.]. Совместное издание Программы ООН по окружающей среде, Междунар. орг. труда и ВОЗ. Москва: Медицина, 1993. 124 с.
- Минеев В.Г., Тришина Т.А., Алексеева А.А. Распределение ртути и ее соединений в биосфере // Агрохимия. 1983. № 1. С. 122–132.
- Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л.П., Гашкина Н.А. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: Технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. Москва: Наука, 2006. 261 с.
- Наумов Е.А., Задорожный М.В., Борисенко А.С. Гущина Л.В. Особенности состава и условия образования самородного золота разных типов Au-Hg месторождений // Металлогения древних и современных океанов – 2006. Условия рудообразования: материалы двенадцатой научной студенческой школы. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. С. 167–171.
- Осипова Н.А., Язиков Е.Г., Янкович Е.П. Тяжелые металлы в почве и овощах как фактор риска для здоровья человека // Фундаментальные исследования. 2013. № 8. С. 681–686.
- Перегудина Е.В., Ляпина Е.Е., Барановская Н.В. Эколого-геохимические особенности ртутной нагрузки на территорию юга Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Том 334. № 12. С. 65–75. <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/12/4373>
- Пузанов А.В., Рождественская Т.А. Ртуть в почвах бассейна верхнего Алая // Мир науки, культуры, образования. 2009. № 1. С. 16–19.
- Пузанов А.В., Мальгин М.А., Горюнова Т.А. Тяжелые металлы и мышьяк в почвах Кулундинской степи // Степи Северной Евразии: стратегия сохранения природного разнообразия и степного природопользования в XXI веке. Материалы международного симпозиума. Оренбург: Институт степи Уральского отделения Российской академии наук, 2000. С. 320–322.
- Пузанов А.В., Ельчиной О.А., Рождественская Т.А. Тяжелые металлы в основных почвах Горного Алтая // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: Материалы IV Международной научно-практической конференции (Семипалатинск, 19–21 октября 2006 г.). Том 1. Семипалатинск: Семипалатинский государственный педагогический институт, 2006. С. 380–388.
- Пузанов А.В., Робертус Ю.В., Горбачев И.В. Бабошкина С.В., Любимов Р.В. Загрязнение окружающей среды под влиянием горнодобывающих и горно-перерабатывающих предприятий Алтая // Проблемы региональной экологии. 2008. № 6. С. 28–32.

Пузанов А.В., Бабошкина С.В., Рождественская Т.А. Влияние горноперерабатывающей промышленности на почвенный покров Северо-Западного Алтая // Почвенные ресурсы Сибири: вызовы XXI века: Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 110-летию выдающегося организатора науки и первого директора ИПА СО РАН Романа Викторовича Ковалева (Новосибирск, 04–08 декабря 2017 г.) / Ответственный редактор А.И. Сысо. Часть II. Новосибирск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2017а. С. 115–119.

Пузанов А.В., Ельчиногова О.А., Бабошкина С.В., Робертус Ю.В., Рождественская Т.А., Горбачев И.В., Трошкова И.А., Ковригин А.О. Эколого-геохимические и биогеохимические проблемы в бассейне Верхней Оби // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: Труды III Всероссийской научной конференции с международным участием (в четырех томах) (Барнаул, 28 августа – 01 сентября 2017 г.). Том II. Барнаул: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, 2017б. С. 176–186.

Пути повышения эффективности и экологической безопасности открытой добычи твердых полезных ископаемых / [В.И. Ческидов и др.]; отв. ред. В.Н. Опарин; Российская акад. наук, Сибирское отд-ние, Ин-т горного дела, Ин-т горного дела Севера им. Н. В. Черского, Ин-т угля и углехимии, Ин-т водных и экологических проблем, Ин-т мониторинга климатических и экологических систем, Ин-т почвоведения и агрохимии, Уральское отд-ние, Ин-т горного дела, Дальневосточное отд-ние, Ин-т горного дела. Новосибирск: Изд-во Сибирского отд-ния Российской акад. наук. 2010. 250 с.

Роева Н.Н., Ровинский Ф.Я., Кононов Э.Я. Специфические особенности поведения тяжелых металлов в различных природных средах // Журнал аналитической химии. 1996. Том 51. № 4. С. 384–397.

Рождественская Т.А. Тяжелые металлы в почвах и растениях юго-западной части Алтайского края. Диссертация ... канд. биол. наук. Барнаул, 2003. 116 с.

Росляков Н.А., Кусковский В.С. Нестеренко Г.В. Шварцев С.Л., Геря А.В., Калинин Ю.А., Крестовоздвиженский Д.Ю., Лукин А.А., Осинцев С.Р., Рыбакова С.Т. Катунь: экогеохимия ртути. Новосибирск: Наука, 1992. 182 с.

СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания Москва, 2021.

Скрипниченко И.И., Золотарева Б.Н. Распределение ртути по гранулометрическим фракциям лесостепных почв // Почвоведение. 1983. № 3. С. 128–135.

Степанов В.А. Месторождения благородных металлов и ртути Камчатки // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. 2023. № 103. С. 88–94. https://doi.org/10.22250/20730268_2023_103_88

Толкушкина Г.Д., Сарычев Н.Г., Кашин А.С. Концентрация токсичных элементов в почве, воде и кормах лесостепной зоны Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2005. № 3(19). С. 30–33.

Трошкова И.А., Ельчиногова О.А., Пузанов А.В., Бабошкина С.В., Рождественская Т.А. Ртуть в почвах рекреационных районов бассейна нижней Катуни // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2025. № 1(76). С. 20–40. <https://doi.org/10.24412/2410-1192-2025-17602>

Янин Е.П. Ртуть, человек, окружающая среда: краткий очерк. Москва: Изд-во ИМГРЭ, 2005. 29 с.

Ignatavičius G., Unsal M.H., Busher P.E., Wołkiewicz S., Satkūnas J., Šulijienė G., Valskys V. Geochemistry of mercury in soils and water sediments // AIMS Environmental Science. 2022. Vol. 9. No. 3. P. 277–297. <https://doi.org/10.3934/environsci.2022019>

Qu R., Han G., Liu M., Li X. The Mercury Behavior and Contamination in Soil Profiles in Mun River Basin, Northeast Thailand // International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH). 2019. Vol. 16. No. 21. P. 4131. <https://doi.org/10.3390/ijerph16214131>

Поступила в редакцию 30.12.2025

Принята 23.06.2026

Опубликована 15.07.2026

Сведения об авторах:

Трошкова Ирина Александровна — младший научный сотрудник лаборатории биогеохимии ФГБУН Институт водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул, Россия); egorka_iren@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2809-8022>

Рождественская Тамара Анатольевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии ФГБУН Институт водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул, Россия); rtamara@iwep.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8487-2495>

Пузанов Александр Васильевич – доктор биологических наук, профессор, заместитель директора ФГБУН Институт водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул, Россия); puzanov@iwep.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1340-486X>

Бабошкина Светлана Вадимовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии ФГБУН Институт водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул, Россия); arsenida@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9904-991X>

Ельчиннинова Ольга Анатольевна – доктор сельскохозяйственных наук, директор Горно-Алтайского филиала ФГБУН Институт водных и экологических проблем СО РАН (с. Кызыл-Озек, Россия); coa59@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4482-9000>

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Mercury in soils of the Alei river basin (the north-west of the Altai Territory)

© 2026 I. A. Troshkova , T. A. Rozhdestvenskaya , A. V. Puzanov , S. V. Baboshkina ,
O. A. Elchininova 

*Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Molodezhnaya St., 1, Barnaul, Russia. E-mail: rtamara@iwep.ru*

The aim of the study. To assess mercury content in soils of the Alei River basin and identify the specific behavior of the element in different soil types.

Location and time of the study. The study was conducted in the Tretyakovsky, Loktevsky, and Zmeinogorsky administrative districts of the Altai Territory from 1990 to 2023.

Methods. The comparative geographical method was used quijto assess the impact of anthropogenic loads and geochemical anomalies on the spatial distribution of mercury content in soils, as well as common soil methods for analyzing general soil properties. Mercury content was determined using atomic absorption spectrometry.

Results. The concentration of mercury in soil-forming rocks was within the range of 0,1–0,05 mg/kg, whereas in soils it ranged 0,01–0,06 mg/kg. Elevated mercury levels were detected in the upper soil horizons of the Altai Mining and Processing Plant area, but they did not exceed 0,12 times the maximum permissible concentration (MPC) for mercury in soils. Tailings from the gold extraction plant accumulated up to 1,3 times the MPC.

Conclusions. In the study region the mercury content in the soils, which are not affected by anthropogenic impacts or geochemical anomalies, is similar to the global average concentration of the element in the soil surface layers, but higher than the regional background for the soils of West Siberia due to the initial increased content of the element in the parent rocks. Locally mercury concentrations exceed the background level can be observed due to the mercury pollution by local sources associated with polymetallic ores processing. The leading factor in the intraprofile distribution of mercury is the element fixation by soil organic matter.

Keywords: mercury; soils; soil-forming rocks; concentration; intraprofile distribution; contamination.

How to cite: Troshkova I.A., Rozhdestvenskaya T.A., Puzanov A.V., Baboshkina S.V., Elchininova O.A., Mercury in soils of the Alei river basin (the north-west of the Altai Territory). The Journal of Soils and Environment. 2026. 9(3). e350. DOI: [10.31251/pos.v9i3.350](https://doi.org/10.31251/pos.v9i3.350) (in Russian with English abstract).

FUNDING

The work was carried out as part of the state assignment of the Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences under the project FUFZ-2026-0002, using the resources of the Kyzyl-Ozek, Chemalsky, and Anuisky stations of the IWEP SB RAS.

REFERENCES

Agrochemical methods of soil research. Moscow: Nauka Publ., 1975. 656 p. (in Russian).

- Anoshin G.N., Malikova I.N., Kovalev S.I., Androsova N.V., Sukhorukov F.V., Tsibulchik V.M., Shcherbov V.L. Mercury in the environment of southern Western Siberia. *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya*. 1995. Vol. 3. No. 1–2. P. 69–111. (in Russian).
- Arinushkina E.V. Manual on chemical analysis of soils. Moscow: Moscow State University Press, 1970. 488 p. (in Russian).
- Baranovskaya N.V., Ivanov V.V., Osipova N.A., Panichev A.M., Chekryzhov I.Yu., Doronina V.D., Khvashchevskaya A.A. Mercury in soils and vegetation in protected areas of Primorsky Krai. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2022. Vol. 333. No. 11. P. 90–100. (in Russian). <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/11/3759>
- Baidina N.L. Mercury status in background and technogenic soils of the Ob-Irtysh interfluvium. *Sibirskiy Ekologicheskij Zhurnal*. 2001. No. 2. P. 175–179. (in Russian).
- Brownlow A.H. *Geochemistry*. Moscow: Nedra Publ., 1984. 436 p. (in Russian).
- Ganzei K.S., Pshenichnikova N.F., Kiselyova A.G., Yurchenko S.G., Rodnikova I.M. Mercury content in the soil-vegetation cover of Russky and Shkot Islands (Peter the Great Bay, Primorsky Territory). *Geochemistry International*. 2021. Vol. 59. No. 5. P. 537–544. <https://doi.org/10.1134/S0016702921030046>
- Environmental geochemistry* / Edited by Yu.E. Saet, B.A. Revich, E.P. Yanin and others. Moscow: Nedra Publ., 1970. 335 p. (in Russian).
- Hygienic criteria for the state of the environment. 1. Mercury. Geneva: WHO, 1979. 148 p. (in Russian).
- Gladkova N.S., Malinina M.S. A model for the total mercury distribution in a forest podzolic soil profile. *Eurasian Soil Science*. 2005. Vol. 38. No. 8. P. 848–854.
- Gladyshev V.B. Toxic properties of mercury and its effect on the body of animals and humans. *The scientific heritage*. 2021. No. 81–2(81). P. 16–22. <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-81-2-16-22>
- Glazovskaya M.A. *Geochemistry of natural and man-made landscapes of the USSR*. Moscow: Higher School, 1988. 327 p. (in Russian).
- Glinka N.L. *General chemistry*. Leningrad: Khimiya Publ., 1985. 702 p. (in Russian).
- GOST 17.4.4.02-84. Nature conservation. Soils. Methods of sampling and preparation of samples for chemical, bacteriological, and helminthological analysis. Moscow: Standard Publishing House, 1985. 8 p. (in Russian).
- GOST R 70281-2022. Environmental protection. Soils. Classification of chemicals for pollution control. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2022. 6 p. (in Russian).
- Grigoriev N.A. Distribution of chemical elements in the upper part of the continental crust. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2009. 382 p. (in Russian).
- Gusev A.I. Typification of gold-mercury mineralization in the Altai Mountains. *Advances in Current Natural Sciences*. 2012. No. 12. P. 87–91. (in Russian).
- Gustaitis M.A., Myagkaya I.N. Distribution of mercury in the hair of residents of Aktash (Republic of Altai). *The Journal of Soils and Environment*. 2022. Vol. 5. No. 1. e165. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v5i1.165>
- Elchinina O.A. Biogeochemical aspects of environmental assessment of terrestrial ecosystems of Altai. Barnaul: Publishing house of Altai State Agrarian University, 2009. 142 p. (in Russian).
- Efimova N.V., Koval P.V., Rukavishnikov V.S., Bezgodov I.V. Problems associated with mercury pollution of environmental objects. *Bulletin of the East Siberian Scientific Center SB RAMS*. 2005. No. 1(39). P. 127–133. (in Russian).
- Ivanov V.V. *Ecological geochemistry of elements. Guide. Book 5. Rare elements*. Moscow: Ecology, 1997. 576 p. (in Russian).
- Ilyin V.B. Natural status of heavy metals in soil cover on the south of Western Siberia. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2004. No. 1. P. 13–20. (in Russian).
- Il'in V.B., Syso A.I., Konarbaeva G.A., Baidina N.L., Cherevko A.S. Heavy metal contents of soil-forming rocks in the south of Western Siberia. *Eurasian Soil Science*. 2000. Vol. 33. No. 9. P. 950–953.
- Il'in V.B., Syso A.I., Baidina N.L., Konarbaeva G.A., Cherevko A.S. Background concentrations of heavy metals in soils of southern Western Siberia. *Eurasian Soil Science*. 2003. Vol. 36. No. 5. P. 494–500.
- Imatali K.K. Biogeochemical estimation of soil-vegetable cover of mercury technogenic province of Aidarken (Haydarken). *Science and new technologies*. 2015. No. 1. P. 97–101. (in Russian).

- Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace elements in soils and plants. Moscow: Mir Publ., 1989. 439 p. (in Russian).
- Map of minerals: M-44-X. Geological map of the Russian Federation. Second edition. A map of minerals. Altai series, scale: 1:200000, series: Altai, compiled: JSC Rudno-Altayskaya Expedition, 2000, editor Ya.M. Gutak. [Electronic resource]. URL: <https://www.geokniga.org/maps/10752?ysclid=lvf65dtwn3300114019> (accessed on 10.11.2025). (in Russian).
- Kachinsky N.A. Mechanical and microaggregate composition of soil, methods of its study. Academy of Sciences of the USSR, V.V. Dokuchaev Soil Institute of the USSR Academy of Sciences. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1958. 192 p. (in Russian).
- Kuzubova L.I., Shuvaeva O.V., Anoshin G.N. Methylmercury in the environment (distribution, formation in nature, methods of determination). Analytical review / GPSTB SB RAS. Institute of Inorganic Chemistry. Analytical Center of the Joint Institute of Geology, Geography and Mineralogy SB RAS. Novosibirsk, 2000. 82 p. (in Russian).
- Lyapina E.E. Distribution of mercury concentrations in the profile of typical soils of Southern Siberia. Interexpo Geo-Siberia. 2021. Vol. 2. No. 2. P. 130–136. (in Russian). <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2021-2-2-130-136>
- Malgin M.A., Puzanov A.V. Mercury in the soils of Tuva. Environmental protection and man. Kyzyl, 1993. P. 45–47. (in Russian).
- Malgin M.A., Puzanov A.V. Mercury in Soils, Soil and Ground Air of the Altai-Sayan Mountain Region. Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya. 1995a. Vol. 3. No. 1–2. P. 161–173. (in Russian).
- Malgin M.A., Puzanov A.V. Mercury in Altai soils. Sibirskij Ekologicheskij Zhurnal. 1995b. Vol. 2. No. 1. P. 60–72. (in Russian).
- Methylmercury: [Translated by from English]. [A joint publication of the United Nations Environment Programme, the International Labour Organization and WHO. Moscow: Medicine, 1993. 124 p. (in Russian).
- Mineev V.G., Trishina T.A., Alekseeva A.A. Distribution of mercury and its compounds in the biosphere. Agrokhirnia. 1983. No. 1. P. 122–132. (in Russian).
- Moiseenko T.I., Kudryavtseva L.P., Gashkina N.A. Dispersed elements in land surface waters: Technophilicity, bioaccumulation, and ecotoxicology. Moscow: Nauka Publ., 2006. 261 p. (in Russian).
- Naumov E.A., Zadorozhny M.V., Borisenko A.S., Gushchina L.V. Features of the composition and conditions of formation of native gold of various types of Au-Hg deposits. In book: Metallogeny of ancient and modern oceans – 2006. Ore formation conditions: materials of the twelfth scientific student school. Miass: IMin Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2006. P. 167–171. (in Russian).
- Osipova N.A., Yazikov E.G., Yankovich E.P. Heavy metals in soil and vegetables as a risk factor for health of consumers. Fundamental Research. 2013. No. 8. P. 681–686. (in Russian).
- Peregudina E.V., Lyapina E.E., Baranovskaya N.V. Ecological and geochemical features of the mercury load on the territory of the south of Western Siberia. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2023. Vol. 334. No. 12. P. 65–75. (in Russian). <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/12/4373>
- Puzanov A.V., Rozhdestvenskaya T.A. Mercury in soils of the Upper Alei Basin. Mir nauki, kultury, obrazovaniya. 2009. No. 1. P. 16–19. (in Russian).
- Puzanov A.V., Malgin M.A., Goryunova T.A. Heavy metals and arsenic in the soils of the Kulunda steppe. In book: Steppes of Northern Eurasia: The strategy of conservation of natural diversity and steppe nature management in the 21st century. Proceedings of the international symposium. Orenburg: Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2000. P. 320–322. (in Russian).
- Puzanov A.V., Yelchinina O.A., Rozhdestvenskaya T.A. Heavy metals in the main soils of Gorny Altai. In book: Heavy metals and radionuclides in the environment. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference (Semipalatinsk, 19–21 October, 2006). Vol. 1. Semipalatinsk: Semipalatinsk State Pedagogical Institute, 2006. P. 380–388. (in Russian).
- Puzanov A.V., Robertus Yu.V., Gorbachev I.V., Baboshkina S. V., Lyubimov R.V. Environmental pollution from Altai mining factories. Regional environmental issues. 2008. No. 6. P. 28–32. (in Russian).
- Puzanov A.V., Baboshkina S.V., Rozhdestvenskaya T.A. The influence of the mining industry on the soil cover of the Northwestern Altai. In book: Soil resources of Siberia: Challenges of the XXI century. A collection of materials of the All-Russian Scientific conference with international participation dedicated to the 110th anniversary of the outstanding organizer of science and the first director of the IPA SB RAS Roman Viktorovich Kovalev (Novosibirsk, 04–08 December, 2017) / Executive editor A.I. Syso. Part II. Novosibirsk: Publishing House of Tomsk State University, 2017a. P. 115–119. (in Russian).

Puzanov A.V., Yelchinina O.A., Baboshkina S.V., Robertus Yu.V., Rozhdestvenskaya T.A., Gorbachev I.V., Troshkova I.A., Kovrigin A.O. Ecologo-geochemical and biogeochemical problems in the upper ob basin. In book: Water and environmental problems of Siberia and Central Asia. Proceedings of the III All-Russian Scientific Conference with International Participation (in four volumes) (Barnaul, 28 August – 01 September, 2017). Vol. II. Barnaul: Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2017b. P. 176–186. (in Russian).

Ways to increase the efficiency and environmental safety of open-pit mining of solid minerals / [V.I. Cheskidov et al.]; ed. by V.N. Oparin; Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Institute of Mining, N.V. Chersky Institute of Mining of the North, Institute of Coal and Coal Chemistry, Institute of Water and Environmental Problems, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Ural Department, Institute of Mining, Far Eastern Department, Institute of Mining. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 2010. 250 p. (in Russian).

Roeva N.N. Special features of the behavior of heavy metals in various natural environments. Journal of Analytical Chemistry. 1996. Vol. 51. No. 4. P. 352–364.

Rozhdestvenskaya T.A. Heavy metals in the soils and plants of the southwestern part of the Altai Territory. Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Barnaul, 2003. 116 p. (in Russian).

Roslyakov N.A., Kuskovsky V.S., Nesterenko G.V., Shvartsev S.L., Gerya A.V., Kalinin Yu.A., Krestovozdvizhensky D.Yu., Lukin A.A., Osintsev S.R., Rybakova S.T. Katun: ecogeochemistry of mercury. Novosibirsk: Nauka Publ., 1992. 182 p. (in Russian).

SanPiN 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans. Moscow, 2021. (in Russian).

Skripnichenko I.I., Zolotareva B.N. Mercury content in granulometric fractions of forest-steppe soils. Pochvovedenie. 1983. No. 3. P. 128–135. (in Russian).

Stepanov V.A. Deposits of precious metals and mercury of Kamchatka. Bulletin of Amur State University. Series: Natural and Economic Sciences. 2023. No. 103. P. 88–94. (in Russian). https://doi.org/10.22250/20730268_2023_103_88

Tolkushkina G.D., Sarychev N.G., Kashin A.S. Concentration of toxic elements in soil, water and feed of the forest-steppe zone of the Altai Territory. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2005. No. 3(19). P. 30–33. (in Russian).

Troshkova I.A., Elchinina O.A., Puzanov A.V., Baboshkina S.V., Rozhdestvenskaya T.A. Mercury in soils of recreational areas of the lower Katunya basin. Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society. 2025. Vol. 76. (1), 20–40. No. 1. P. 20–40. (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2410-1192-2025-17602>

Yanin E.P. Mercury, man, environment: a short essay. Moscow: IMGRE Publishing House, 2005. 29 p. (in Russian).

Ignatavičius G., Unsal M.H., Busher P.E., Wołkowicz S., Satkūnas J., Šulijienė G., Valskys V. Geochemistry of mercury in soils and water sediments. AIMS Environmental Science. 2022. Vol. 9. No. 3. P. 277–297. <https://doi.org/10.3934/environsci.2022019>

Qu R., Han G., Liu M., Li X. The Mercury Behavior and Contamination in Soil Profiles in Mun River Basin, Northeast Thailand. International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH). 2019. Vol. 16. No. 21. P. 4131. <https://doi.org/10.3390/ijerph16214131>

Received 30 December 2025

Accepted 23 June 2026

Published 15 July 2026

About the authors:

Irina A. Troshkova — Junior Researcher at the Laboratory of Biogeochemistry of the Institute for Water and Environmental Problems, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Barnaul, Russia); egorka_iren@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2809-8022>

Tamara A. Rozhdestvenskaya — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Biogeochemistry of the Institute for Water and Environmental Problems, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Barnaul, Russia); rtamara@iwep.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8487-2495>

Alexander V. Puzanov — Doctor of Biological Sciences, Professor, Deputy Director of the Institute for Water and Environmental Problems, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; puzanov@iwep.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1340-486X>

Svetlana V. Baboshkina – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Biogeochemistry of the Institute for Water and Environmental Problems, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Barnaul, Russia); arsenida@rambler.ru; [https://orcid.org / 0000-0001-9904-991X](https://orcid.org/0000-0001-9904-991X)

Olga A. Yelchininova – Doctor of Agricultural Sciences, Director of the Gorno-Altai Branch of the Institute for Water and Environmental Problems, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Kyzyl-Ozek village, Russia); eoas59@mail.ru; [https://orcid.org / 0000-0002-4482-9000](https://orcid.org/0000-0002-4482-9000)

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)