

Раздел 2

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Section 2

GEOECOLOGY

УДК 631.4

**РТУТЬ В ПОЧВАХ РЕКРЕАЦИОННЫХ РАЙОНОВ
БАССЕЙНА НИЖНЕЙ КАТУНИ**

И.А. Трошкова, О.А. Ельчи니нова, А.В. Пузанов, С.В. Бабошкина,
Т.А. Рождественская

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

E-mail: egorka_iren@mail.ru

Содержание Hg в большинстве почв районов с высокой рекреационной нагрузкой в бассейне Катунь превышает как региональный, так и глобальный фон, что связано с влиянием природных источников ртути – месторождений, рудопроявлений, ореолов рассеяния ртутных областей Алтае-Саянской горной страны. Однако, оно существенно ниже ПДК, и загрязнение ртутью воды, а также негативное влияние на биоту и высшие звенья экологической цепи маловероятны. Исходная неоднородность почвообразующих субстратов по гранулометрическому и минералогическому составу обусловила неравномерность распределения ртути в почвенном профиле и невозможность вычленения влияния почвообразовательных макропроцессов на внутривертикальное распределение элемента.

Ключевые слова: почвы; ртуть; концентрация; загрязнение; Катунь.

DOI: 10.24412/2410-1192-2025-17602

Дата поступления: 20.12.2024. Принята к печати: 20.02.2024

Уникальные геохимические свойства ртути обуславливают особенности ее концентрирования и перераспределения в различных компонентах окружающей среды, разнообразие форм миграции и специфику их трансформации в природных и техногенных условиях. Элемент способен накапливаться в пищевых цепях и оказывать широкий и разносторонний спектр негативных воздействий на человека и другие живые организмы, популяции и экосистемы в целом.

Ртуть является одним из наиболее опасных элементов-загрязнителей биосферы с самым высоким показателем токсичности среди тяжелых металлов.

Согласно ГОСТу 17.4.1.02-83 [1983], 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].

Различные формы ртути обладают собственными токсическими свойствами и требуют индивидуальной оценки их токсичности. При отравлениях парами ртути в первую очередь наблюдаются изменения нервной системы. Водорастворимые соединения элемента оказывают раздражающее действие на кожу, при попадании внутрь организма вызыва-

ют 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]. Ртуть относится к канцерогенным веществам. Наиболее распространенными соединениями ртути в природе являются неорганические соединения Hg (II), а наибольшую токсичность и опасность для живых организмов представляют органические производные ртути, а именно метилртуть [Метилртуть ..., 1993]. Метилртуть официально признана тератогенным ядом, способным проникать сквозь плацентарный барьер и приводить к порокам развития у потомства. У растений при отравлении ртутью возникают задержка появления всходов, роста и развития корней, торможение фотосинтеза, снижение урожайности. Существует мнение, что постоянное действие 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, 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 промышленность, цветная металлургия, сжигание топлива и химическая промышленность [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Роева и др., 1996; Ильин, 2004; Моисеенко и др., 2006]. Из этих источников Hg попадает в окружающую среду преимущественно с атмосферными осадками. Токсичные соединения элемента включаются в биогеохимические круговороты, поступают через почву, гидросферу и атмосферу в растения, корма, продукты питания, в 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]. Именно поэтому сейчас особое внимание уделяется изучению закономерностей поведения ртути и ее соединений в окружающей среде.

Река Катунь – главная водная артерия Горного Алтая, одна из самых живописных и значимых рек, привлекающая внимание туристов (рис. 1). Большинство туристических комплексов расположено на территории Чемальского района. Ранее на исследуемой территории планировалось строительство Катунской ГЭС.



Рис.1. Схема расположения разрезов в рекреационном районе
Fig. 1. The layout of the sections in the recreational area

Массовый поток отдыхающих приводит к ускоренной деградации уязвимых природных комплексов Горного Алтая, особенно в пределах водоохранных зон доступных для рекреантов рек. Наиболее неблагоприятная экологическая обстановка складывается в интенсивно используемой для массового неорганизованного отдыха в водоохранной зоне р. Катунь [Павлова, 2013]. Негативное воздействие массовой рекреации в горно-долинных лесных ландшафтах проявлено, главным образом, в форме деградации почвенно-растительного покрова. Ведущую причину этих процессов представляет собой вытаптывание, вызывающее уплотнение почвы, исчезновение лесной

подстилки, изменение видового состава растений, физических свойств. Заметное воздействие на ландшафты оказывает также автотранспорт рекреантов [Савенко, Робертус, 2021].

Наряду с механическими и физическими свойствами почв на рекреационных участках изменяется и их химический состав. В поверхностном слое почв рекреационных участков отмечается некоторое накопление меди, свинца и цинка. Величина отклонения средних концентраций от фоновых значений составляет 6–22%. При рекреационном воздействии в поверхностном слое почв отмечается также повышенное на 8–50% относительно фона содержание

алюминия, кальция, магния, натрия и железа, накопление которых происходит за счет уничтожения гумусового горизонта и «поднятия» вверх по профилю почвообразующих пород [Павлова, 2013].

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

Цель исследований – определение содержания ртути в почвенном покрове рекреационных районов бассейна Катунь 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

Многообразие факторов почвообразования, проявление высотной поясности (среднегорный и низкогорный пояса) в пределах исследуемого района предопределило целую гамму почвенных типов (табл. 1). Наибольшее распространение имеют черноземы южные и обыкновенные, наименьшее – каштановые и горно-лесные черноземовидные почвы.

Черноземы обыкновенные приурочены к право- и левобережным террасам Катунь различного уровня, к склонам и шлейфам разных экспозиций. Сведение естественной растительности при нерациональном землепользовании привело к эрозионным

и дефляционным процессам, которые обусловили потерю тонкодисперсных, наиболее ценных в биоэкологическом аспектах фракций мелкозема почв. Почвообразующими породами являются делювиальные, аллювиально-делювиальные, аллювиальные отложения щебнисто-песчаные, щебнисто-супесчаные, галечниково-песчаные и галечниково-супесчаные, а также хорошо сортированные песчаные отложения аллювиального генезиса. Для качественного состава гумуса свойственно преобладание гуминовых кислот над фульвокислотами. Почвенный поглощающий комплекс насыщен кальцием и магнием. Реакция среды в верхних горизонтах нейтральная, в нижних – слабощелочная. Среди черноземов обыкновенных преобладают разновидности легкого гранулометрического состава: песчаные, супесчаные, легкосуглинистые.

Черноземы южные приурочены к террасам право- и левобережной Катунь, к конусам выноса ее притоков, к шлейфам южных и юго-западных экспозиций. Южные черноземы формируются на аллювиальных сортированных песках, песчано(супесчано)-галечниковых отложениях, песчано(супесчано)-щебнистых отложениях делювиального генезиса. Черноземы южные имеют легкосуглинистый, супесчаный или песчаный гранулометрический состав. В зависимости от гранулометрического состава содержание гумуса может варьировать от 3 до 5%. Гумус имеет отчетливую гуматную природу. Реакция среды – щелочная.

Таблица 1

Физико-химические свойства почв долины Катунь

Table 1

Physico-chemical properties of soils of the Katun Valley

Генетический горизонт	Глубина образца, см	Гумус	CaCO ₃	pH водный	ЕКО	Ca ²⁺	Mg ²⁺
		%			мг-экв на 100 г почвы		
Горно-лесная черноземовидная, супесчаная, среднетяжелая на щебнисто-песчаном эдювии-делювии. Левобережье долины р. Эдиган. Разрез 2 МК							
A _{дер}	1–11	16.2	0.8	6.7	79.9	31.2	7.2
A	15–15	13.6	1.1	7.2	77.3	14.4	25.6
A	35–45	6.0	0.8	7.4	53.8	10.0	10.8
AB	45–55	4.9	2.5	7.7	27.7	–	–
B	56–66	1.2	33.6	8.0	14.3	–	–
B	70–80	1.0	3.1	8.7	15.1	–	–
C _к	90–100	0.5	23.1	8.1	10.9	–	–
Чернозем обыкновенный, супесчаный. Разрез 41							
A	0–10	5.2	3.6	8.3	30.0	20.3	1.8
B _к	20–30	0.8	27.6	8.5	11.6	8.5	2.4
BC _к	35–45	0.8	29.2	8.7	11.6	9.3	1.3
C _к	70–80	0.4	17.8	9.2	6.0	3.0	0.8
Чернозем южный, песчаный, маломощный на аллювиальном сортированном песке. На 60 м ниже по склону от разреза 6. Разрез 7 МК							
A	0–9	4.1	11.2	8.1	14.3	2.4	4.8
AB _к	9–18	2.1	15.8	8.1	9.2	5.6	0
B	20–30	1.4	18.4	8.3	9.2	–	–
B	37–47	0.9	16.9	8.6	7.6	–	–
BC _к	65–75	0.4	7.2	8.8	4.2	–	–
C _к	110–120	0.2	13.5	8.7	2.5	–	–
Темно-каштановая, супесчаная. Разрез 31							
A	0–10	4.3	8.2	8.1	29.9	19.8	0.5
B _к	15–25	4.3	10.0	8.2	28.2	23.7	2.2
C _к	50–60	1.6	13.2	8.3	13.3	2.6	0.5
Чернозем обыкновенный супесчаный маломощный на аллювиально-делювиальных песчано-галечниково-щебнистых отложениях. Разрез 53К							
A _{пах} ^к	0–10	5.4	2.3	7.8	36.3	18.9	8.6
A _к	10–20	5.2	2.7	7.9	27.6	19.2	1.5
B _к	26–36	2.1	22.0	8.0	6.9	–	–
BC _к	40–50	0.9	11.4	8.2	7.8	–	–
C _к	70–80	0.8	13.9	8.2	8.9	–	–

Примечание: – не определяли, ЕКО – емкость катионного обмена

Каштановые почвы занимают террасы аллювиальных окарбоначенных отложений Катунь и ее притоков, формируются в эрозийных условиях. Содержание гумуса гуматно-фульватного состава в гумусово-песчано- и супесчано-галечниковых отложениях

аккумулятивном горизонте варьирует в пределах 2.5–4.5%. Реакция среды слабощелочная в верхних горизонтах, щелочная и сильнощелочная – в нижних. Каштановые почвы долины Катунь характеризуются высоким содержанием карбонатов кальция и магния и незначительной емкостью поглощения.

Горно-лесные черноземовидные почвы занимают склоны разной крутизны преимущественно западной, северо-западной и северной экспозиций по долинам притоков Катунь. В качестве почвообразующих пород здесь выступают элювиальные, элювио-делювиальные, делювиальные, аллювиально-делювиальные отложения четвертичного возраста разнообразного петрографического и минералогического состава. Почвы характеризуются легким гранулометрическим составом, присутствием большого количества щебня и гальки, значительным накоплением органического вещества в гумусово-аккумулятивном горизонте (до 9–16%). Характерной чертой геохимического профиля почв является наличие хорошо выраженного карбонатного горизонта с содержанием карбонатов кальция и магния до 23.1%.

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 [1984]. Определение свойств почв выполнено общепринятыми в почвоведении методами [Аринушкина, 1970; Агрохимические..., 1975]. 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 спектрометрии. Нижний предел обнаружения Hg составляет 0.005 мг/кг.

Результаты и обсуждение

Ртуть в горных и почвообразующих породах. Горные породы являются главным источником поступления ртути в почвообразующие субстраты. Кларк ртути в земной коре составляет 0.083 мг/кг, содержание в основных породах – 0.09, кислых – 0.08 мг/кг [Виноградов, 1962]. В экогеохимии в качестве кларка Hg в верхней части континентальной земной коры – резервуара природных ресурсов, используемых человечеством, и главного источника большинства химических элементов, вовлеченных в техногенез, Н.С. Касимов и Д.В. Власов [2015] считают целесообразным использовать оценку Н.А. Григорьева – 0.065 мг/кг [2009].

По данным [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989], концентрация Hg в магматических породах – 0.0n мг/кг. 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 мг/кг [Минеев, 1983].

Среднее валовое содержание ртути в лессовидных средних суглинках Приобс-

кого плато составляет 0.013 ± 0.002 мг/кг, в лессовидных суглинках Западной Сибири – 0.015 мг/кг [Ильин др., 2003], в суглинистых почвообразующих породах юга этого региона – 0.012 (при колебаниях от 0.005 до 0.018 мг/кг) [Ильин др., 2000]. Почвообразующие породы Тувы [Мальгин, Пузанов, 1993] содержат элемента в среднем 0.099 ± 0.014 мг/кг. Концентрация ртути в горных породах Алтая колеблется в пределах математического порядка (0.005–0.05 мг/кг), составляя в среднем 0.045 мг/кг [Оболенский, 1985; Росляков и др., 1992]. Аллювиальные отложения предгорных равнин Алтая содержат ртути 0.005–0.050 мг/кг, покровные суглинки 0.006–0.037 мг/кг [Мальгин, Пузанов, 1995].

Концентрация элемента в исследуемых почвообразующих породах (табл. 2) в 2 и более раз выше среднего содержания ртути в верхней части континентальной коры [Григорьев, 2009], почвообразующих пород Западной Сибири [Ильин др., 2000; Ильин др., 2003], Алтая в целом [Оболенский, 1985; Росляков и др., 1992] и его предгорий [Мальгин, Пузанов, 1995].

На достаточно большой части Алтае-Саянской горной страны находится ртутная провинция. На территории Республики Алтай природная группа источников ртути представлена рядом месторождений, рудопроявлений, литохимических ореолов и потоков рассеяния в пределах Салаиро-Алтайской ртутно-серебряно-металлической и Алтае-Кузнецкой ртутной-железо-золоторудной минерагенических областей [Мальгин, Пузанов, 1995; Робертус и др., 2018].

Относительно высокие концентрации ртути в исследуемых почвообразующих породах (0.096–0.444 мг/кг) обусловлены влиянием природного фактора загрязнения окружающей среды этим элементом. Широкий диапазон колебаний обусловлен петрографией горных пород и условиями рассеяния ртути.

Зависимость содержания ртути в почвообразующих породах от их гранулометрического состава, на которую указывают многие исследователи [Скрипниченко, Золотарева, 1983; Мальгин, Пузанов, 1993; Ильин, 2000; Ильин др., 2003], наблюдается не всегда, что, вероятно, связано с большим разнообразием исходного петрографического материала по происхождению и содержанию элемента. Так, концентрации ртути даже в отложениях одинакового гранулометрического состава могут различаться в несколько раз. Часто почвообразующие породы в пределах даже одного генетического типа характеризуются различными уровнями концентрации Hg.

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.

Таблица 2

Ртуть в почвах долины Катунь

Table 2

Mercury in the soils of the Katun Valley

Название почвы	Генетический горизонт	Глубина образца, см	Ртуть, мг/кг
Горно-лесная черноземовидная супесчаная среднетощая на аллювиальной сортированной карбонатной супеси. Левобережье Катунь. Профиль за р. Каспа. Верхняя остаточная терраса Катунь северной экспозиции с большим уклоном к Катунь. Разрез 81	A _{дер}	1–6	0.052
	A ₁	10–20	0.032
	A ₂	25–35	0.064
	B	45–55	0.080
	C _к	70–80	0.096
Горно-лесная черноземовидная супесчаная среднетощая на песчаном сортированном аллювии. Левобережная высокая терраса р. Чеба, склон Северо-Западной экспозиции. Разрез 103	A _{дер}	0–5	0.168
	A	5–15	0.088
	A	20–30	0.088
	AB	30–40	0.208
	B _к	48–56	0.224
	B _к	60–70	0.192
	BC _к	80–90	0.203
Чернозем обыкновенный супесчаный маломощный на аллювиально-делювиальных песчано-галечниково-щебнистых отложениях. Вторая правобережная терраса Катунь в 800 м выше места предполагаемой плотины Катунской ГЭС. Разрез 53.	C _к	110–120	0.224
	A ^к _{пах}	0–10	0.192
	A _к	10–20	0.256
	B _к	26–36	0.180
	BC _к	40–50	0.256
Чернозем обыкновенный супесчаный на аллювиально-делювиальных отложениях. Древняя терраса. Хорошо оформленный конус выноса у подножия скал. Разрез 57	C _к	70–80	0.288
	A _{дер}	0–10	0.160
	AB	16–26	0.272
	B _к	30–40	0.320
	B	50–60	0.368
Чернозем южный, песчаный маломощный на отложениях сортированного песка. Эдигано-Ороктойский профиль, верхняя левобережная терраса р. Эдиган. Разрез 27	CD _к	80–90	0.272
	A _{пах}	0–8	0.408
	A	10–20	0.384
	B _к	26–35	0.396
	BC _к	50–60	0.444
	C	70–80	0.432
Чернозем южный, маломощный супесчаный на песчаных аллювиальных отложениях. 4-я правобережная терраса Катунь, в 0.5 км ниже с. Куюс. Разрез 21	C	130–140	0.240
	A _{пах}	0–8	0.152
	A	10–20	0.176
Каштановая среднетощая супесчаная на аллювиальных отложениях. Правобережная терраса Катунь. Разрез 124	CD	40–50	0.240
	A	0–10	0.164
	B _к	20–30	0.152
Каштановая песчаная маломощная на песчаном аллювии. Эродированная верхняя терраса Катунь. Склон средней крутизны южной экспозиции. Разрез 125	BC	50–60	0.144
	A	0–10	0.144
	B _к	10–19	0.240
	C _к	25–35	0.312
	CD _к	60–70	0.408

Концентрация ртути в почве связана с уровнем содержаний органического вещества, железа и серы [Метилртуть, 1993; Гладышев, 2021; Ignatavičius et. al., 2022]. 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; Qu R. et. al., 2019; Ляпина, 2021].

Hg является довольно подвижным элементом, что обуславливает неоднородность ее распределения в почвах [Наумов и др., 2006]. По мнению других авторов [Метилртуть, 1993], 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 [Наумов и др., 2006; Ганзей и др., 2021]. По данным [Метилртуть, 1993], сорбция ртути глинистыми почвами ограничена и не зависит от pH.

Важнейшую роль в биогеохимическом цикле ртути играют слаборастворимые органические соединения, метилированная форма элемента, которой придается

решающее значение в ртутной экологии.

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].

Результаты исследований (табл. 2) свидетельствуют о достаточно широком диапазоне колебаний содержания ртути (практически в пределах математического порядка) как в гумусовом горизонте почв, так и в профиле в целом: от 0.032 до 0.408 мг/кг и от 0.064 до 0.444 мг/кг соответственно. Содержание Hg в большинстве исследованных почв превышает как региональный, так и глобальный фон (табл. 2, 3), что связано с влиянием природных источников ртути.

На повышенные содержания ртути в почвах районов месторождений, ртутных, золото-ртутных, полиметаллических, в рудах которых часто как примесь встречается ртуть, указывают К.К. Иматали [Иматали, 2015] в Кыргызстане, Н.А. Росляков и др. [1992], А.И. Гусев [2012], М.А. Густайтис и И.Н. Мягкая [2022] – на Алтае, В.А. Степанов [2023] – на Камчатке, Е.А. Наумов и др. [2006] – в Монголии и Хакасии.

Заметных межтиповых различий в содержании Hg не обнаружено (табл. 2). Даже почвы одного типа могут существенно различаться по содержанию ртути (разрезы 81 и 103). Исходная неоднородность по гранулометрии и минералогии почвообразующих субстратов исследуемого района предопределяет неравномерность распределения ртути в почвенном профиле и затрудняет вычленение влияния почвообразовательных макропроцессов на внутрипрофильное распределение элемента.

Таблица 3

Содержание ртути в почвах разных регионов, мг/кг

Table 3

Mercury content in soils of different regions, mg/kg

Почвы, район	Пределы	Среднее
Почвы мира	–	–
[Геохимия..., 1970]	–	0.01
[Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]	0.004–0.99	0.0n
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 др., 2003]	–	0.021±0.005
Почвы юга Западной Сибири [Ильин, 2004]	0.02–0.03	–
Почвы Сибири [Аношин и др., 1995]	0.005–1.275	–
Почвы Южной Сибири	–	–
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
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 [Пузанов и др., 2017]	–	–
фоновые районы	–	0.093
районы месторождений	0.06–36	–
Почвы Горного Алтая [Ельчиногова, 2009]	–	0.12±0.01

Примечание: «–» – нет данных

Строгой зависимости содержания ртути в почвах от количества элемента в почвообразующей породе нет. В одних разрезах концентрация элемента в верхних горизонтах и в почвообразующих породах практически идентичны, в других – различаются более чем в 3 раза (табл. 2).

Не выявлено и явного накопления ртути в гумусово-аккумулятивных горизонтах, на которое указывают многочисленные литературные источники [Геохимия..., 1970; Метилртуть, 1993; Иматали, 2015; Qu R. et.al., 2019; Гладышев, 2021; Ляпина, 2021; Ignatavičius G. et. al., 2022], несмотря на довольно высокое содержание гумуса.

Возможно, это свойственно только почвам с содержанием ртути в пределах кларка.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) ртути в почвах населенных мест и сельскохозяйственных угодий, к категории которых возможно отнесение и почв районов с туристско-рекреационной нагрузкой – 2.1 мг/кг [СанПиН 1.2.3685-21] (лимитирующий показатель вредности – транслокационный, характеризующий способность химического вещества переходить из почвы в сельскохозяйственные растения и накапливаться в них). Норматив содержания ртути в песке песочниц детских организаций – также не более

2.1 мг/ кг [СанПиН 1.2.3685-21].

Миграционный водный показатель вредности характеризует способность перехода вещества из почвы в грунтовые и поверхностные воды, миграционный воздушный – из почвы в атмосферный воздух. Общесанитарный показатель вредности характеризует влияние загрязняющего вещества на самоочищающую способность почвы и ее биологическую активность [Бессонов, Янин, 2005]. Миграционный водный лимитирующий показатели вредности Hg в почвах – 33.3 мг/кг, миграционный воздушный – 2.5 мг/кг, общесанитарный – 5.0 мг/кг [МУ 2.1.7.730-99]. Сравнение обнаруженного в исследованных почвах количества ртути с ПДК и лимитирующими показателями вредности показало, что отрицательное воздействие почв на воздух, воды, растения, здоровье человека

и самоочищающую способность почв рекреационных районов бассейна Катунь практически исключается.

Заключение

Неоднородность литохимического фона, сложность и контрастность природных условий, многообразие почвообразовательных процессов и почв в системе вертикальной поясности предопределили существенное разнообразие в содержании ртути в почвах и почвенном покрове районов с высокой рекреационной нагрузкой в бассейне Катунь. Полученные данные свидетельствуют о том, что сложившаяся ситуация с ртутью неоднозначна. Уровень концентрации элемента в почвах выше фоновый, однако, он существенно ниже ПДК, и загрязнение ртутью воды, а также негативное влияние на биоту и высшие звенья экологической цепи маловероятны.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflict of interests.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (по проекту FUFZ-2021-0003 «Оценка эколого-биогеохимической обстановки в речных бассейнах Сибири в условиях изменения климата и антропогенного воздействия»).

Список литературы

- Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
- Аношин Г.Н., Маликова И.Н., Ковалев С.И., Маликов Ю.И. Ртуть в окружающей среде юга Западной Сибири // Химия в интересах устойчивого развития. 1995. Т. 3, № 1–2. С. 69–111.
- Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: 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. Т. 333, № 11. С. 90–100.

Бессонов В.В., Янин Е.П. Способы оценки и ремедиации загрязненных ртутью городских почв // Ртуть. Проблемы геохимии, экологии, аналитики. Сборник научных трудов. М.: ИМГРЭ, 2005, С. 160–180.

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

Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. №7. С. 555–571.

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.

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

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

Гладышев В.Б. Токсичные свойства ртути и ее влияние на организм животных и человека // The Scientific Heritage. 2021. № 81–2 (81). С. 16–22.

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

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

ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М.: Госстандарт, 1983. 5 с.

ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Госстандарт, 1984. 8 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. Т. 5, № 1. e165. doi: 10.31251/pos.v5i1.165

Ельчианинова О.А. Биогеохимические аспекты экологической оценки наземных экосистем Алтая: монография. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2009. 141 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. М.: 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., Байдина Н.Л., Конарбаева Г.А., Черевко А.С. Фоновое количество тяжелых металлов в почвах юга Западной Сибири // Почвоведение. 2003. № 5. С. 550–556.

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.

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. М.: Мир, 1989. 440 с.

Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015. № 2. С. 7–17.

Кузубова Л.И., Шуваева О.В., Аношин Г.Н. Метилртуть в окружающей среде (распространение, образование в природе, методы определения). Аналит. обзор / ГПНТБ СО РАН. Ин-т неорг. химии. Аналит. центр Объедин. ин-та 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. Т. 2, № 2. С. 130–136. doi: 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. 1995. Т. 3, № 1–2. С. 161–173.

Метилртуть: [Пер. с англ.]. Совмест. изд. Прогр. ООН по окружающей среде, Междунар. орг. труда и ВОЗ. М.: Медицина, 1993. 124 с.

МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. М.: Департамент санэпиднадзора Министерства здравоохранения РФ, 1999. 20 с.

Минеев В.Г., Тришина Т.А., Алексеев 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. М.: 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.

Оболенский А.А. Генезис месторождений ртутной рудной формации. Наука, Новосибирск. 1985. 193 с.

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.

Павлова К.С., Робертус Ю.В., Кивацкая А.В. Характер изменения свойств и состава почв рекреационных территорий (на примере Катунского района Республики Алтай) // Мир науки, культуры, образования. 2013. № 1 (38). С. 338–342.

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. Т. 334, № 12. С. 65–75.

Пузанов А.В., Ельчиногова О.А., Рождественская Т.А. Тяжелые металлы в основных почвах Горного Алтая // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: Мат. IV Междунар. научно-практ. конф. (19–21 октября 2006 г., Казахстан). Семипалатинск, 2006. С. 380–388.

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). 2017. С. 176–186.

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. Мат. междунар. Симпозиума (31 декабря 2000 г., Россия). Оренбург, 2000. С. 320–322.

Робертус Ю.В., Рихванов Л.П., Ляпина Е.Е., Любимов Р.В., Юсупов Д.В., Осипова Н.А. Формы нахождения и переноса ртути в компонентах экосистем Горного Алтая // Химия в интересах устойчивого развития. 2018. Т. 26, № 2. С. 185–192.

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

Росляков Н.А., Кусковский Г.В., Нестеренко В.С., 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.

Савенко К.С., Робертус Ю.В. Новые подходы к оценке экологического состояния рекреационных ландшафтов Республики Алтай // География и природные ресурсы. 2021. Т. 42, № 2. С. 59–68.

СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (с измене-

ниями на 30 декабря 2022 года). 2022. 1163 с.

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 АмГУ. 2023. Выпуск 103. С. 88–94.

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.

Янин Е.П. Ртуть, человек, окружающая среда: краткий очерк. М.: Изд-во МГРЭ, 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. Is. 3. P. 277–297. doi: 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. 2019. Vol. 16(21). P. 4131. doi: 10.3390/ijerph16214131

References

Agrohimicheskie metody issledovaniya pochv [Agrochemical methods of soil research]. M.: Nauka, 1975. 656 p. (in Russian).

Anoshin G.N., Malikova I.N., Kovalev S.I., Malikov Y.I. Rtut' v okruzhayushchej srede yuga Zapadnoj Sibiri [Mercury in the environment of the South of Western Siberia] // Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya. 1995. Vol. 3, no. 1–2. P. 69–111. (in Russian).

Arinushkina E.V. Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv [Guidelines for chemical analysis of soils]. M.: Izd-vo MGU, 1970. 488 p. (in Russian).

Baranovskaya N.V., Ivanov V.V., Osipova N.A., Panichev A.M., Chekryzhov I.Yu., Doronina V.D., Hvashevskaya A.A. Rtut' v pochvah i rastitel'nosti na zapovednyh territoriyah Primorskogo kraja [Mercury in soils and vegetation in protected areas of Primorsky Krai] // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2022. Vol. 333, no. 11. P. 90–100. (in Russian).

Bessonov V.V., Yanin E.P. Sposoby ocenki i remediacii zagryaznennyh rtut'yu gorodskih pochv [Methods of assessment and remediation of mercury-contaminated urban soils] // Rtut'. Problemy geohimii, ekologii, analitiki. Sbornik nauchnyh trudov. M.: IMGRE, 2005. P. 160–180. (in Russian).

Braunlou A.H. Geohimiya [Geochemistry]. M.: Nedra, 1984. 436 p. (in Russian).

Vinogradov A.P. Srednee sodержание himicheskikh elementov v glavnyh tipah izverzhennyh gornyh porod zemnoj kory [The average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the Earth's crust] // Geohimiya. 1962. No. 7. P. 555–571. (in Russian).

Ganzej K.S., Pshenichnikova N.F., Kiselyova A.G., Yurchenko S.G., Rodnikova I.M.

Soderzhanie rtuti v pochvenno-rastitel'nom pokrove ostrovov Russkij i Shkota (zaliv Petra Velikogo, Primorskij kraj) [Mercury content in the soil and vegetation cover of Russian and Shkota Islands (Peter the Great Bay, Primorsky Krai)] // *Geohimiya*. 2021. Vol. 66, no. 5. P. 473–480. (in Russian).

Geohimiya okruzhayushchej sredy [Environmental geochemistry] / Eds. Yu.E. Saet, B.A. Revich, E.P. Yanin et al. M.: Nedra, 1970. 335 p. (in Russian).

Gigienicheskie kriterii sostoyaniya okruzhayushchej sredy. 1. Rtut' [Hygienic criteria for the state of the environment. Tsch. 1. Mercury]. Zheneva: VOZ. 1979. 148 p. (in Russian).

Gladyshev V.B. Toksichnye svoystva rtuti i ee vliyanie na organizm zhivotnyh i cheloveka [Toxic properties of mercury and its effects on animals and humans] // *The Scientific Heritage*. 2021. No. 81–2 (81). P. 16–22. (in Russian).

Glazovskaya M.A. Geohimiya prirodnyh i tekhnogennyh landshaftov SSSR [Geochemistry of natural and man-made landscapes of the USSR]. M.: Vysshaya shkola, 1988. 327 p. (in Russian).

Glinka N.L. Obshechaya himiya [General chemistry]. L.: Himiya, 1985. 702 p. (in Russian).

GOST 17.4.1.02-83. Ohrana prirody. Pochvy. Klassifikatsiya himicheskikh veshchestv dlya kontrolya zagryazneniya [Nature conservation. Soils. Classification of chemicals for pollution control]. M.: Gosstandart, 1983. 5 p. (in Russian).

GOST 17.4.4.02-84 Ohrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlya himicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza [Nature conservation. Soils. Methods of sampling and preparation of samples for chemical, bacteriological, helminthological analysis]. M.: Gosstandart, 1984. 8 p. (in Russian).

Grigor'ev N.A. Raspredelenie himicheskikh elementov v verhnej chasti kontinental'noj kory [Distribution of chemical elements in the upper part of the continental crust]. Ekaterinburg: UrO RAN. 2009. 382 p. (in Russian).

Gusev A.I. Tipizatsiya zoloto-rtutnogo orudneniya Gornogo Altaya [Typification of gold-mercury mineralization in Gorny Altai] // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2012. No.12. P. 87–91. (in Russian).

Gustajtis M.A., Myagkaya I.N. Osobennosti raspredeleniya rtuti v volosah zhitelej poselka Aktash (Respublika Altaj) [Features of mercury distribution in the hair of residents of the village of Aktash (Altai Republic)] // *Pochvy i okruzhayushchaya sreda*. 2022. Vol. 5, no. 1. e165. doi: 10.31251/pos.v5i1.165 (in Russian).

El'chinina O.A. Biogeohimicheskie aspekty ekologicheskoy ocenki nazemnyh ekosistem Altaya: monografiya [Biogeochemical aspects of ecological assessment of Altai terrestrial ecosystems: monograph]. Barnaul: Izd-vo AGAU, 2009. 141 p. (in Russian).

Efimova N.V., Koval' P.V., Rukavishnikov V.S., Bezgodov I.V. Problemy, svyazannye s zagryazneniem rtut'yu ob'ektov okruzhayushchej sredy [Problems related to mercury pollution of environmental facilities] // *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo centra Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii medicinskih nauk*. 2005. No. 1 (39). P. 127–133. (in Russian).

Ivanov V.V. *Ekologicheskaya geohimiya elementov* [Ecological geochemistry of the elements]. Spravochnik. Kniga 5. Redkie delementy. M.: Ekologiya. 1997. 576 p. (in Russian).

Il'in V.B. Prirodnyj status tyazhelyh metallov v pochvennom pokrove na yuge Zapadnoj Sibiri [Natural status of heavy metals in soil cover in the south of Western Siberia] // *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki*. 2004. No.1. P. 13–20. (in Russian).

Il'in V.B., Syso A.I., Bajdina N.L., Konarbaeva G.A., Cherevko A.S. Fonovoe kolichestvo tyazhelyh metallov v pochvah yuga Zapadnoj Sibiri [Background amount of heavy metals in soils of the south of Western Siberia] // *Pochvovedenie*. 2003. No. 5. P. 550–556. (in Russian).

Il'in V.B., Syso A.I., Konarbaeva G.A., Baidyna N.L., Cherevko A.S. Soderzhanie tyazhelyh metallov v pochvoobrazuyushchih porodah yuga Zapadnoj Sibiri [The content of heavy metals in the soil-forming rocks of the south of Western Siberia] // *Pochvovedenie*. 2000. No. 9. P. 1086–1090. (in Russian).

Imatali K.K. Biogeohimicheskaya ocenka pochvenno-rastitel'nogo pokrova rtutnoj tekhnogennoj provincii Ajdarken (Hajdarken) [Biogeochemical assessment of the soil and vegetation cover of the mercury technogenic province of Aydarken (Haydarken)] // *Nauka i novye tekhnologii*. 2015. No. 1. P. 97–101. (in Russian).

Kabata-Pendias A., Pendias H. Mikroelementy v pochvah i rasteniyah [Trace elements in soils and plants]. M.: Mir, 1989. 440 p. (in Russian).

Kasimov N.S., Vlasov D.V. Klarki himicheskikh elementov kak etalony sravneniya v ekogeohimii [Clarks of chemical elements as reference standards in ecogeochemistry] // *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya*. 2015. No. 2. P. 7–17. (in Russian).

Kuzubova L.I., Shuvaeva O.V., Anoshin G.N. Metilrtut' v okruzhayushchej srede (rasprostranenie, obrazovanie v prirode, metody opredeleniya) [Methylmercury in the environment (distribution, formation in nature, methods of determination)] *Analit. obzor / GPNTB SO RAN. In-t neorg. himii. Analit. centr Ob''edin. in-ta geologii, geografii i mineralologii SO RAN. Novosibirsk*. 2000. 82 p. (in Russian).

Lyapina E. E. Raspredelenie form nahozhdeniya rtuti v profile tipichnyh pochv Yuzhnoj Sibiri [Distribution of mercury concentrations in the profile of typical soils in Southern Siberia] // *Interekspo Geo-Sibir'*. 2021. Vol. 2, no. 2. P. 130–136. doi: 10.33764/2618-981X-2021-2-2-130–136. (in Russian).

Mal'gin M.A., Puzanov A.V. Rtut' v pochvah Tuvy [Mercury in the soils of Tuva] // *Ohrana okruzhayushchej sredy i chelovek*. Kyzyl. 1993. P. 45–47. (in Russian).

Mal'gin, M.A., Puzanov A.V. Rtut' v pochvah, pochvennom i prizemnom vozduhe Altae-Sayanskoj gornoj oblasti [Mercury in the soils, soil and surface air of the Altai-Sayan mountain region] // *Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya*. 1995. Vol. 3, no. 1–2. P. 161–173. (in Russian).

Metilrtut' [Methylmercury]: [Per. s angl.] / Sovmest. izd. Progr. OON po okruzhayushchej srede, Mezhdunar. org. truda i VOZ. M.: Medicina, 1993. 124 p. (in Russian).

MU 2.1.7.730-99. Gigienicheskaya ocenka kachestva pochvy naselennyh mest

[Methodological guidelines of MU 2.1.7.730-99 Hygienic assessment of soil quality in populated areas]. M.: Department of Sanitary and Epidemiologic Surveillance of the Ministry of Health of the Russian Federation, 1999. 20 c. (in Russian).

Mineev V.G., Trishina T.A., Alekseev A.A. Raspredelenie rtuti i ee soedinenij v biosfere [Distribution of mercury and its compounds in the biosphere] // Agrohimiya. 1983. No. 1. P. 122–132. (in Russian).

Moiseenko T.I., Kudryavceva L.P., Gashkina N.A. Rasseyannye elementy v poverhnostnykh vodakh sushi: Tekhnofil'nost', bioakkumulyatsiya i ekotoksikologiya [Dispersed elements in land surface waters: Technophilicity, bioaccumulation, and ecotoxicology]. M.: Nauka, 2006. 261 p. (in Russian).

Naumov E.A., Zadorozhnyj M.V., Borisenko A.S. Gushchina L.V. Osobennosti sostava i usloviya obrazovaniya samorodnogo zolota raznykh tipov Au-Hg mestorozhdenij [Features of the composition and conditions of formation of native gold of different types of Au-Hg deposits] // Metallogeniya drevnih i sovremennykh okeanov – 2006. Usloviya rudoobrazovaniya: materialy dvenadcatoy nauchnoy studencheskoj shkoly. Miass: IMin UrO RAN. 2006. P. 167–171 (in Russian).

Obolenskij A.A. Genezis mestorozhdenij rtutnoj rudnoj formacii [Genesis of mercury ore formation deposits]. Nauka, Novosibirsk. 1985. 193 p. (in Russian).

Osipova N.A., Yazikov E.G., Yankovich E.P. Tyazhelye metally v pochve i ovoshchah kak faktor riska dlya zdorov'ya cheloveka [Heavy metals in soil and vegetables as a risk factor for human health] // Fundamental'nye issledovaniya. 2013. No. 8. P. 681–686. (in Russian).

Pavlova K.S., Robertus Yu.V., Kivackaya A.V. Harakter izmeneniya svoystv i sostava pochv rekreacionnykh territorij (na primere Katunskogo rajona Respubliki Altaj) [The nature of changes in the properties and composition of soils in recreational areas (using the example of the Katunsky district of the Altai Republic)] // Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya. 2013. No. 1 (38). P. 338–342. (in Russian).

Peregudina E.V., Lyapina E.E., Baranovskaya N.V. Ekologo-geohimicheskie osobennosti rtutnoj nagruzki na territoriyu yuga Zapadnoj Sibiri [Ecological and geochemical features of the mercury load on the territory of the South of Western Siberia] // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2023. Vol. 334, no. 12. P. 65–75 (in Russian).

Puzanov A.V., El'chinina O.A., Rozhdestvenskaya T.A. Tyazhelye metally v osnovnykh pochvah Gornogo Altaya [Heavy metals in the main soils of the Altai Mountains] // Tyazhelye metally i radionuklidy v okruzhayushchej srede: Mat. IV Mezhdunar. nauchno-prakt. konf (October 19–21, 2006). Semipalatinsk. 2006. P. 380–388. (in Russian).

Puzanov A.V., El'chinina O.A., Baboshkina S.V., Robertus Yu.V., Rozhdestvenskaya T.A., Gorbachev I.V., Troshkova I.A., Kovrigin A.O. Ekologo-geohimicheskie i biogeohimicheskie problemy v bassejne Verhnej Obi [Ecological, geochemical and biogeochemical problems in the Upper Ob basin] // Vodnye i ekologicheskie problemy Sibiri i Central'noj Azii. Trudy III

Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (v chetyrekh tomah). 2017. P. 176–186. (in Russian).

Puzanov A.V., Mal'gin M.A., Goryunova T.A. Tyazhelye metally i mysh'yak v pochvah Kulundinskoj stepi [Heavy metals and arsenic in the soils of the Kulunda steppe] // Step'i Severnoj Evrazii: Strategiya sohraneniya prirodnogo raznoobraziya i stepnogo prirodopol'zovaniya v XXI veke. Mat. mezhdunar. Simpoziuma (December 31, 2000). Orenburg. 2000. P. 320–322. (in Russian).

Robertus Yu.V., Rihvanov L.P., Lyapina E.E., Lyubimov R.V., Yusupov D.V., Osipova N.A. Formy nahozhdeniya i perenosa rtuti v komponentah ekosistem Gornogo Altaya [Forms of mercury finding and transport in the components of ecosystems of the Altai Mountains] // Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya. 2018. Vol. 26. no. 2. P. 185–192. (in Russian).

Roeva N.N., Rovinskij F.Ya., Kononov E.Ya. Specificheskie osobennosti povedeniya tyazhelykh metallov v razlichnykh prirodnnykh sredah [Specific features of the behavior of heavy metals in various natural environments] // Zhurnal analiticheskoy himii. 1996. Vol. 51, no. 4. P. 384–397. (in Russian).

Roslyakov N.A., Kuskovskij G.V. Nesterenko V.S. i dr. Katun': ekogeohimiya rtuti [Katun: ecogeochemistry of mercury]. Novosibirsk: Nauka, 1992. 182 p. (in Russian).

Savenko K.S., Robertus Yu.V. Novye podhody k ocenke ekologicheskogo sostoyaniya rekreacionnykh landshaftov Respubliki Altaj [New approaches to the assessment of the ecological state of the recreational landscapes of the Altai Republic] // Geografiya i prirodnye resursy. 2021. Vol. 42, no. 2. P. 59–68. (in Russian).

SanPiN 1.2.3685-21 Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya [Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans] (s izmeneniyami na 30 dekabrya 2022 goda). 2022. 1163 p.

Skripnichenko I.I., Zolotareva B.N. Raspredelenie rtuti po granulometricheskim frakciyam lesostepnykh pochv [Distribution of mercury by granulometric fractions of forest-steppe soils] // Pochvovedenie. 1983. No. 3. P. 128–135. (in Russian).

Stepanov V.A. Mestorozhdeniya blagorodnykh metallov i rtuti Kamchatki [Deposits of precious metals and mercury in Kamchatka] // Vestnik AmGU. 2023. Vol. 103. P. 88–94. (in Russian).

Tolkushkina G.D., Sarychev N.G., Kashin A.S. Koncentraciya toksichnykh elementov v pochve, vode i kormah lesostepnoj zony Altajskogo kraya [The concentration of toxic elements in the soil, water and feed of the forest-steppe zone of the Altai Territory] // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2005. No. 3(19). P. 30–33. (in Russian).

Yanin E.P. Rtut', chelovek, okruzhayushchaya sreda: kratkij ocherk [Mercury, man, and the environment: a brief outline]. M.: Izd-vo MGRE, 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. Is. 3. P. 277–297. doi: 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. 2019. Vol. 16(21). P. 4131. doi: 10.3390/ijerph16214131

MERCURY IN SOILS OF RECREATIONAL AREAS OF THE LOWER KATUNYA BASIN

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

Institute of Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

E-mail: egorka_iren@mail.ru

The Hg content in most soils of areas with high recreational load in the Katun basin exceeds both the regional and global background, which is associated with the influence of natural mercury sources - deposits, ore occurrences, dispersion halos of mercury regions of the Altai-Sayan Mountain country. However, it is significantly lower than the MAC, and mercury pollution of water, as well as a negative impact on biota and higher links of the ecological chain are unlikely. The initial heterogeneity of soil-forming substrates in terms of granulometric and mineralogical composition determined the uneven distribution of mercury in the soil profile and the impossibility of isolating the influence of soil-forming macroprocesses on the intra-profile distribution of the element.

Keywords: soils; mercury; concentration; pollution; Katun.

Received December 20, 2024. Accepted: February 20, 2024

Сведения об авторах

Трошкова Ирина Александровна – младший научный сотрудник лаборатории био-геохимии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0003-2809-8022. E-mail: egorka_iren@mail.ru.

Ермолаева Надежда Ивановна – доктор биологических наук, главный научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0003-4529-034X. E-mail: hope413@mail.ru.

Пузанов Александр Васильевич – профессор, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-1340-486X. E-mail: puzanov@iwerp.ru.

Бабошкина Светлана Вадимовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0001-9904-991X. E-mail: svetlana@iwerp.ru.

Рождественская Тамара Анатольевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0001-8487-2495. E-mail: rtamara@iwep.ru.

Information about authors

Troshkova Irina Aleksandrovna – Junior Researcher, Laboratory of Biogeochemistry of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-2809-8022. E-mail: egorka_iren@mail.ru.

Elchinina Olga Anatolyevna – Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher of the Gorno-Altai Branch of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-4482-9000. E-mail: eoa59@mail.ru.

Puzanov Alexander Vasilyevich – Dr Sc. in Biology, Associate Professor, Chief Researcher, Laboratory of Biogeochemistry of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-1340-486X. E-mail: puzanov@iwep.ru.

Baboshkina Svetlana Vadimovna – PhD in Biology, Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0001-9904-991X. E-mail: svetlana@iwep.ru.

Rozhdestvenskaya Tamara Anatolyevna – PhD in Biology, Senior Researcher, Laboratory of Biogeochemistry of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0001-8487-2495. E-mail: rtamara@iwep.ru.