

## ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 550.42:571.151

Ю. В. РОБЕРТУС, А. В. ПУЗАНОВ, Р. В. ЛЮБИМОВ

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

### ОСОБЕННОСТИ РТУТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РАЙОНЕ АКТАШСКОГО ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ)

Представлены новые данные об особенностях ртутного загрязнения как основного фактора формирования экологической обстановки в районе бывшего Акташского горно-металлургического предприятия (АГМП) — одной из экологически неблагоприятных территорий страны с высоким уровнем накопленного экологического ущерба. Охарактеризованы различные виды ртутьсодержащих минеральных отходов предприятия. Приведены новые достоверные данные по содержанию и балансу ртути в отходах предприятия. Изучен большой спектр компонентов окружающей среды, в том числе атмосферный и почвенный воздух, снежный покров, почвы, природные воды, донные осадки, растения. Впервые выявлена, картографирована и зонирована область негативного воздействия предприятия. Определены источники и объемы поступления ртути в окружающую среду в районе АГМП. Установлены концентрации ртути в природных средах и техногенных объектах, ее запасы в отходах предприятия. Расчетным и экспериментальным путем (биотестирование на двух тест-объектах) осуществлена оценка уровня токсичности основных твердых и жидких отходов предприятия. Охарактеризованы наложенные лито- и биогеохимические ореолы и потоки рассеяния ртути в районе предприятия. Установлен протяженный (более 20 км) литохимический поток рассеяния ртути, сурьмы и мышьяка в долине р. Ярлыамры, протекающей через населенные пункты Акташ и Чибит. Выявлен значительный по размерам очаг высокоинтенсивного загрязнения депонирующих природных сред ртутью и комплексом сопутствующих ей тяжелых металлов, основными источниками которых являются выбросы и сбросы металлургического производства.

Ключевые слова: ртутьсодержащие отходы, компоненты окружающей среды, экологическая обстановка, литохимические ореолы, уровни ртутного загрязнения.

Presented is the latest evidence concerning mercury pollution as the main factor for the formation of the ecological situation in the area of the former Aktash mining and metallurgical enterprise (AMME), one of the country's ecologically unfavorable territories with a high level of accumulated ecological damage. The various types of mercury-containing mineral wastes of the enterprise are outlined. New reliable data on mercury content and balance in the wastes from the enterprise are provided. A study is made of a broad spectrum of environmental components, including the atmospheric and soil air, snow cover, natural waters, bottom sediments, and plants. The negative influence area of the enterprise has been revealed, mapped and zoned for the first time. We determined the sources and volumes of mercury released to the environment in the area of the AMME. Mercury concentrations in natural environments, technogenic entities, and in the enterprise's wastes were ascertained. An assessment is made of the toxicity level of the enterprise's main solid and liquid wastes using experimental and computational methods (biotesting on two test-objects). Superimposed litho- and biogeochemical aureoles and mercury dispersion flows in the area of the enterprise are characterized. The study revealed an extended (more than 20 km in length) lithochemical dispersion flow of mercury, antimony and arsenic along the valley of the Yarlyamry river flowing through the villages of Aktash and Chibit. We determined a significant (in size) focus of highly intensive pollution of depositional natural environments by mercury and a set of accompanying heavy metals, the main sources of which are the emissions and discharges from the metallurgical works.

Keywords: mercury-containing wastes, environmental components, ecological situation, lithochemical aureoles, mercury pollution levels.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время ртуть относится к числу наиболее изученных опасных загрязнителей окружающей среды, обладающих ярко выраженной миграционной способностью и негативным воздействием на биоту и человека. Районы добычи и переработки ртутьсодержащего сырья характеризуются, как

правило, значительными по размерам и интенсивности ореолами ртути и ее элементов-спутников в депонирующих загрязнение природных средах.

К одной из таких сильно загрязненных ртутью территорий Российской Федерации относится промзона бывшего Акташского горно-металлургического предприятия (далее — АГМП), которым в 1942–1990 гг. было отработано одноименное ртутное месторождение на юге Горного Алтая, а в последующем перерабатывались ртутьсодержащие отходы (PCO), поступавшие от предприятий Сибирского федерального округа. В 2007 г. предприятие было ликвидировано, оборудование демонтировано и вывезено.

За период разведочно-эксплуатационных работ, передела ртутных руд и PCO в промзоне АГМП накопились значительные объемы минеральных отходов (пустые породы, некондиционные руды, металлургические шлаки, шламы), содержащих ртуть, мышьяк, сурьму, свинец, никель, медь, цинк и другие элементы I–II класса опасности для окружающей природной среды.

Обстановка в районе нахождения АГМП неоднократно оценивалась природоохранными органами и эпизодически изучалась различными научными организациями, однако полные и достоверные данные по содержанию и балансу ртути, а также по экологическому состоянию компонентов окружающей среды в зоне влияния предприятия отсутствовали.

Предпосылкой проведенного авторами углубленного изучения последствий многолетней деятельности предприятия послужило включение Министерством природных ресурсов и экологии РФ промзоны Акташского ГМП и близлежащего пос. Акташ в число пилотных проектов по ликвидации прошлого накопленного экологического ущерба на территории России.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Основные задачи проведенного исследования заключались в уточнении концентраций и особенностей распределения ртути и ее элементов-спутников в природных средах и производственных отходах, а также в картографировании и изучении строения наложенных ореолов и потоков рассеяния ртутного загрязнения в пределах промзоны АГМП и на смежной с ней территории. Для этого на площади 16,5 км<sup>2</sup> (3 × 5,5 км) проведено лито- и биогеохимическое опробование применительно к м-бу 1:25 000–1:100 000. Природные среды транзитных рек района Ярлыамры и Чибитки (вода, донные осадки, прибрежные почвы) опробованы с шагом 1–2 км.

Изученные компоненты окружающей среды представлены широким спектром, включающим атмосферный и почвенный воздух, снежный покров, почвы, природные воды, донные осадки, растения (всего 375 проб), а техногенные объекты — породами вскрыши, металлургическими шлаками (огарками), шламами, PCO, технологическими и штольневые воды (75 проб). В Аналитическом центре Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН (аналитик Н. В. Андросова) методом атомной абсорбции в пробах определены валовые и подвижные формы ртути, мышьяка, сурьмы и других специфических химических элементов, присутствующих в переработанных рудах и PCO.

Для расчета баланса основного экотоксиканта (ртути) были использованы данные по погашенным запасам ртути Акташского месторождения и ее массе в утилизированных PCO, которые сопоставлялись с объемом полученной товарной продукции (ртуть марки Р-1, Р-2) и расчетной массой ртути во всех видах производственных отходов, а также в загрязненных ею компонентах окружающей природной среды.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Источники поступления ртути в окружающую природную среду в районе АГМП можно разделить на четыре основные группы: природные, природно-техногенные, техногенные и антропогенные (рис. 1). К природно-техногенной группе относятся отходы добычи руд (вмещающие породы, некондиционные руды, штольневые воды), к техногенной — отходы их передела (выбросы, сбросы, металлургические шлаки и шламы ртутного завода), в которых аккумулировано до 18 % ртути (380 т) переработанных руд и утилизированных PCO.

К антропогенным «рукотворным» источникам ртути относятся участки автодорог, отсыпанные ртутьсодержащими шлаками, и несанкционированные захоронения PCO, поступившие в разные годы на утилизацию (до 25 т ртути).

Следует отметить, что особенности проявления ртути в геологических образованиях района АГМП обуславливают низкую степень опасности ее природных источников. Предварительно установлено,



Рис. 1. Источники и объемы поступления ртути в окружающую природную среду в районе АГМП.

что в районе предприятия доля ртути в природных и природно-техногенных источниках составляет всего 1,7 и 3 % соответственно, при этом она находится в связанной минеральной форме, преимущественно в виде киновари. В техногенных же источниках — прошлых выбросах, сбросах и отходах металлзавода — заключено более 90 % ртути с относительно высокой долей ее подвижных форм.

Полученные данные о содержании ртути в техногенных объектах (табл. 1) и природных средах (табл. 2) в районе промзоны АГМП свидетельствуют о преобладании ее повышенных и аномально высоких концентраций, многократно превосходящих региональный и местный фоны, а также действующие эколого-гигиенические регламенты.

В техногенных объектах, особенно в утилизируемых РСО, а также в отходах передела руд (шлаках и шламах) концентрации ртути на один-три порядка выше, чем в геологических образованиях района. В частности, в компонентах окружающей среды на территории промзоны АГМП содержание ртути превышает местный фон в 110–5300 раз, а коэффициенты ее концентрации нарастают в следующем ряду природных сред: растения — поверхностные воды и донные осадки — почвы и снеговой покров, т. е. увеличиваются от транслируемых к закрепленным концентрациям ртути.

Высокие концентрации в рудах ртути и ее спутников, основными из которых являются мышьяк и сурьма, обуславливают высокие значения биотоксичности отходов предприятия и загрязненных ими природных сред.

Расчетным и экспериментальным путем (биотестирование на двух тест-объектах) установлено, что технологические воды металлзавода, в прошлом сбрасываемые без очистки в транзитную р. Ярлыамры, относятся к гипертоксичным водам (I класс токсичности), утилизируемые РСО — к I–III, шлаки (огарки) и загрязненные почвы — к III–IV классам токсичности [1].

Более половины вклада в показатель токсичности твердых отходов принадлежит ртути. Для металлургических шлаков он составляет 67 %, мышьяк и сурьма привносят 16 и 4 % соответственно. Токсичность утилизированных РСО в значительной степени определяют также медь и литий (по 1 %),

Таблица 1

Концентрации ртути в техногенных объектах промзоны АГМП

Содержание	Выбросы завода, мг/м <sup>3</sup>	Сбросы* завода, мг/дм <sup>3</sup>	Шлаки (огарки)	Рудный шлам	PCO	Штольневые отвалы	Штольневые воды, мкг/дм <sup>3</sup>
<i>n</i>		5	17	5	28	15	5
min	Нет данных	0,26	25	15 000	270	11	0,012
max		13,90	7900	28 000	99 000	271	0,38
$\bar{x}$	6,3	1,50	160	25 000	21 900	78	0,20

\* Фильтраты технологических вод.

Таблица 2

## Содержание ртути в компонентах окружающей природной среды в зоне влияния АГМП [2]

Параметры	Почвенный воздух, мг/м <sup>3</sup>	Почва	Растения*	Снеготалая вода**	Поверхностная вода	Донные осадки, мг/кг
<i>n</i>	35	172	74	12	25	32
<i>C</i> <sub>min</sub>	<1·10 <sup>-6</sup>	0,22	0,04	0,08	<0,01	1,6
<i>C</i> <sub>max</sub>	458·10 <sup>-6</sup>	330,0	35,0	53,0	2,40	103,0
$\bar{x}$	50·10 <sup>-6</sup>	6,8	0,86	9,2	0,08	31,5
Местный фон	<1·10 <sup>-6</sup>	0,2	0,1	<0,01	<0,01	0,2
ПДК	—	2,1	—	—	0,01	—

\* Содержание в сухо-воздушной массе.

\*\* На территории металлзавода.

никель (до 0,25 %), цинк (0,16 %). Отметим, что среди отходов АГМП и привозных РСО максимальные концентрации спутников ртути отмечены в рудных шлаках: цинк — до 5000 мг/кг, никель — 1500, свинец — 550, мышьяк — 300, сурьма — 100, кадмий — до 50 мг/кг (табл. 3).

Значительно выше вклад ртути в загрязнение сбросных технологических вод. Установлены следующие усредненные показатели техногенной добавки химических веществ в используемую для этих целей воду р. Ярлыамры (ед. фона): Hg (2320) — Zn, NO<sub>2</sub> (>50) — Cu, As, Sb (>30) — Cl (12) — SO<sub>4</sub> (6,5) [2].

Полученные данные по основным источникам загрязнения в районе АГМП позволили оценить их роль в эмиссии ртути в окружающую среду. Предварительно установлено, что в процессе многолетних выбросов металлзавода (в среднем 0,5 т в год) и в меньшей степени его сбросов и переноса мелкой фракции ртутьсодержащих шлаков в окружающую природную среду поступило около 30 т ртути, в том числе 7–10 т за счет отходов, перемещенных водотоками. В результате этого в районе АГМП сформировались значительные по размерам и протяженности техногенные литохимические ореолы и потоки рассеяния ртути и ее элементов-спутников.

Существенные различия в особенностях их строения позволяют выделить три разномасштабных экогеохимических объекта: 1-го порядка — ореол, отражающий зону влияния предприятия; 2-го порядка — ореол в пределах промзоны; 3-го порядка — локальные ореолы на участках отдельных инфраструктурных объектов АГМП. Размеры ореолов в этом ряду уменьшаются, а интенсивность ртутного загрязнения, напротив, увеличивается.

С учетом этого, в зоне влияния АГМП отчетливо устанавливаются три вложенные друг в друга овалоподобные области ртутного загрязнения почвенного покрова: 1) внешняя область слабого (субфонового) загрязнения площадью более 20 км<sup>2</sup> с содержанием ртути до 1 мг/кг, в основном 0,2–0,4 мг/кг; 2) средняя область умеренно повышенного загрязнения почв (10 км<sup>2</sup>) с содержанием ртути 1–10 мг/кг; 3) эпицентральная область высокого уровня загрязнения (2 км<sup>2</sup>) с содержанием ртути в почвах 10–88 мг/кг. Последняя область, в центре которой находится ртутный завод, занимает днище долины р. Ярлыамры и имеет гантелеобразную форму с размерами 3,5 × 0,5–0,7 км, ориентированную в субширотном направлении по розе местных ветров (рис. 2).

Установлено, что максимальное содержание ртути в наложенных ореолах проявлено в основном в верхней части профиля превалирующих в районе горно-тундровых и каштановых почв. Так, в их

Таблица 3

## Усредненный химический состав основных видов РСО Акташского ГМП, мг/кг

Вид отходов	Hg	As	Sb	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd	Li	Sn
Шлаки (огарки)	160	300	34	67	42	39	139	0,55	76	6,5
Рудные шламы	До 10 000	100	80	2900	170	550	900	30	175	50
Привозные РСО	До 10 000	Нет данных		До 1640	До 10 000	До 300	До 2500	До 20	До 10 000	500

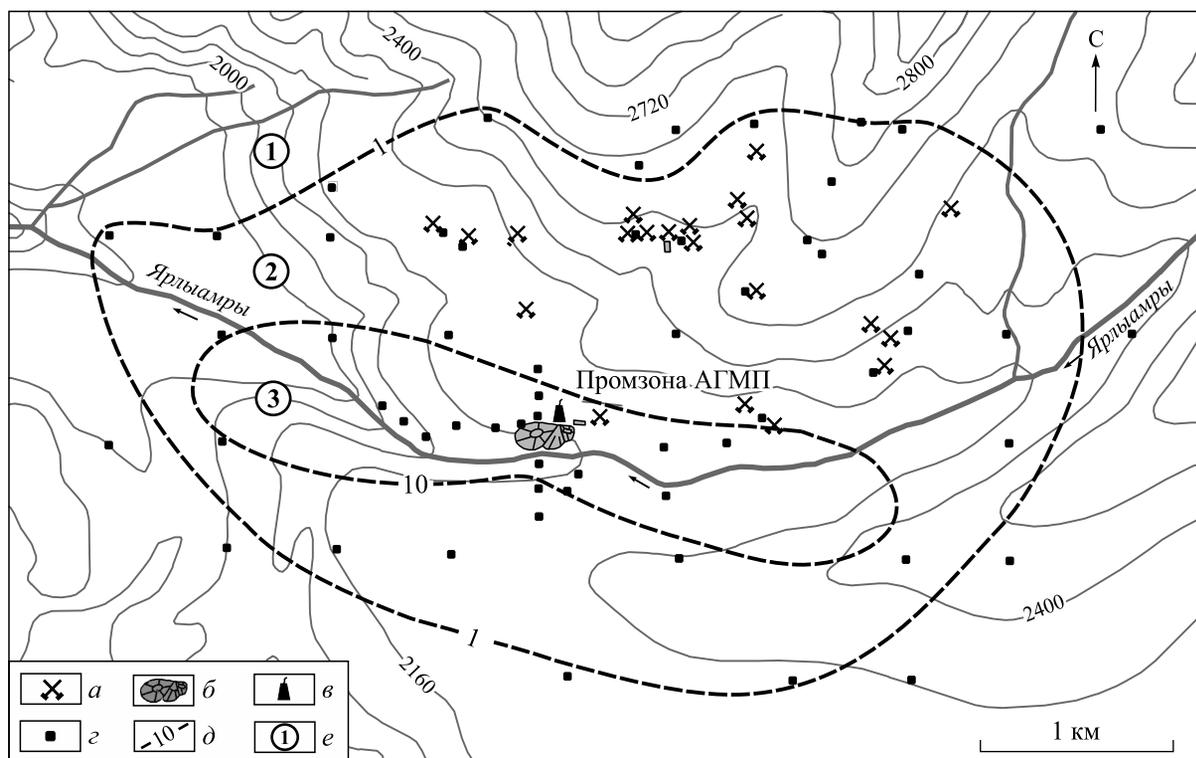


Рис. 2. Источники и области ртутного загрязнения почв промзоны АГМП.

Основные источники ртутного загрязнения: *а* — отвалы эксплуатационных штолен, *б* — терриконы огарков, *в* — металлзавод; *г* — пункты опробования почв; *д* — изоконцентраты ртути в почве, мг/кг; *е* — области слабого (1), умеренного (2) и высокого (3) уровня ртутного загрязнения почв.

гумусовом горизонте мощностью 5–10 см концентрируется до 60–70 % запасов ртути, что говорит о повышенной роли органического геохимического барьера в ее аккумуляции.

Литохимические ореолы рассеяния ртути пространственно совпадают с ореолом суммарного показателя загрязнения (СПЗ) почв тяжелыми металлами I–III классов опасности, что указывает на единый источник их поступления. Внутри него также выделяется ряд областей тяжелометалльного загрязнения разной интенсивности — от слабого и умеренного (СПЗ = 16–32 ед.) до очень сильного (СПЗ = 64–194 ед.). Доля ртути в СПЗ составляет в среднем более половины (53 %) и достигает 95 % от вклада всех тяжелых металлов в загрязнение почв. Среди других тяжелых металлов следует отметить медь и цинк (до 150 мг/кг каждый), никель (до 100), свинец (до 40), мышьяк и сурьму (до 12), висмут (до 1), кадмий (до 0,15 мг/кг).

С эпицентральной областью интенсивного загрязнения почв совпадает биогеохимический ореол ртути размером 4 × 0,5 км по изоконцентрате 1 мг/кг. Среднее содержание токсиканта в травянистых растениях этого ореола составляет 7 мг/кг, максимальное — 24–35 мг/кг. На участке промзоны предприятия коэффициенты биологического поглощения ртути очень высокие (в среднем 0,22), что указывает на широкое присутствие в почвах ее биодоступных форм.

Имеющиеся данные позволяют считать, что в специфических природных условиях района АГМП основными факторами прошлого и, частично, текущего влияния отходов предприятия на окружающую среду являются (в порядке значимости): выбросы токсичных ртутьсодержащих газов; плоскостной смыв, водный и ветровой перенос отходов переработки руд и РСО; сбросы, утечки, фильтрация и испарение загрязненных ртутью технологических вод.

Выявленные закономерности распределения ртути позволили в общих чертах выяснить особенности ее миграции и перехода в компонентах окружающей природной среды. В частности, предварительно установлено преобладание пылеаэрозольного ветрового и механического водного перемещения ртути и ее соединений при резко подчиненной роли химической миграции в виде водорастворимых форм [3].

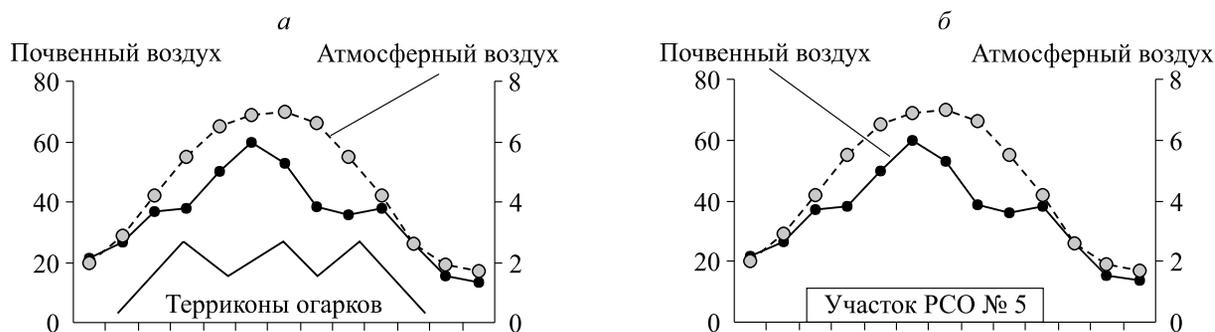


Рис. 3. Содержание ртути ( $\text{мкг}/\text{м}^3$ ) в почвенном и атмосферном воздухе на участках размещения огарков (а) и захоронений РСО (б).

Ветровой перенос — причина перемещения ртутьсодержащих выбросов (газов и аэрозолей) и пылеватых частиц отходов. Для АГМП, в отличие от выбросов, пыление твердых отходов добычи и передела руд проявлено слабо, дальность их ветрового переноса не превышает первых сотен метров (выбросов — до 3–4 км). Кроме пыления, отходы и загрязненные почвы при испарении эмитируют ртуть в атмосферу. Образующие газортутные ореолы имеют локальный характер, не выходящий за пределы объектов эмиссии [4].

Концентрации ртути в атмосферном воздухе на объектах хранения отходов (терриконы огарков, захоронения РСО) достигают 5–7  $\text{мкг}/\text{м}^3$  при ПДК 0,3  $\text{мкг}/\text{м}^3$ . В пос. Акташ они достигают 200  $\text{нг}/\text{м}^3$  при среднем значении 68,4  $\text{нг}/\text{м}^3$ , что на порядок выше среднего содержания ртути в воздухе городов Горно-Алтайск, Бийск, Барнаул (4–8  $\text{нг}/\text{м}^3$ ) [5]. Отметим, что в сопряженных пробах почвенного воздуха на объектах хранения РСО концентрации ртути на порядок выше, чем в приземной атмосфере — до 60–80  $\text{мкг}/\text{м}^3$  (рис. 3).

Заметная роль в переносе и промежуточной аккумуляции твердых отходов принадлежит плоскостному смыву, чему способствует слабо закрепленное нахождение ртути в почвах и отходах, резко расчлененный рельеф и повышенное количество атмосферных осадков в районе предприятия.

Наиболее значителен по протяженности (до 20 км) водный перенос тонкой фракции отходов добычи и передела руд и загрязненных ртутью частиц почв. Установлено, что содержание ртути в донных осадках транзитных рек Ярлыамры и Чибитки резко возрастает ниже терриконов огарков (до 103  $\text{мг}/\text{кг}$ ) и затем постепенно уменьшается до 8–10  $\text{мг}/\text{кг}$  при впадении последней в р. Чуя (правый приток Катуня). Эти концентрации многократно превышают местный фон ртути для незагрязненных речных осадков — 0,2–0,4  $\text{мг}/\text{кг}$  (рис. 4).

Идентичное распределение в этом литохимическом потоке рассеяния характерно для сурьмы и мышьяка — основных спутников ртути, а также для значений СПЗ, причем не только в донных осадках, но и в сопряженных с ними прибрежных почвах и растениях. Примечательны близость и выдержанность значений градиентов уменьшения содержания этих приоритетных загрязнителей окружаю-

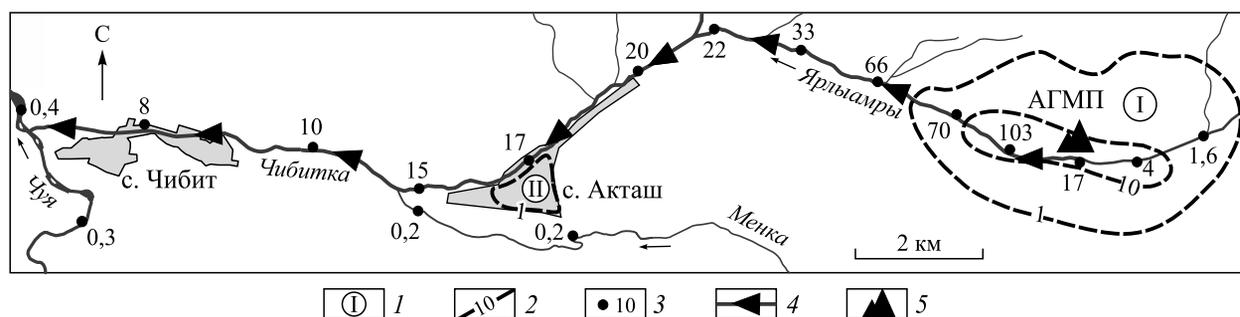


Рис. 4. Схема ртутного загрязнения окружающей среды в районе Акташского ГМП.

1 — очаги ртутного загрязнения в промзоне АГМП (I) и в пос. Акташ (II); 2 — изоконцентраты ртути в почвах,  $\text{мг}/\text{кг}$ ; 3 — содержание ртути в пробах речных донных осадков,  $\text{мг}/\text{кг}$ ; 4 — литохимический поток ртути и элементов-спутников; 5 — терриконы шлаков (огарков) АГМП.

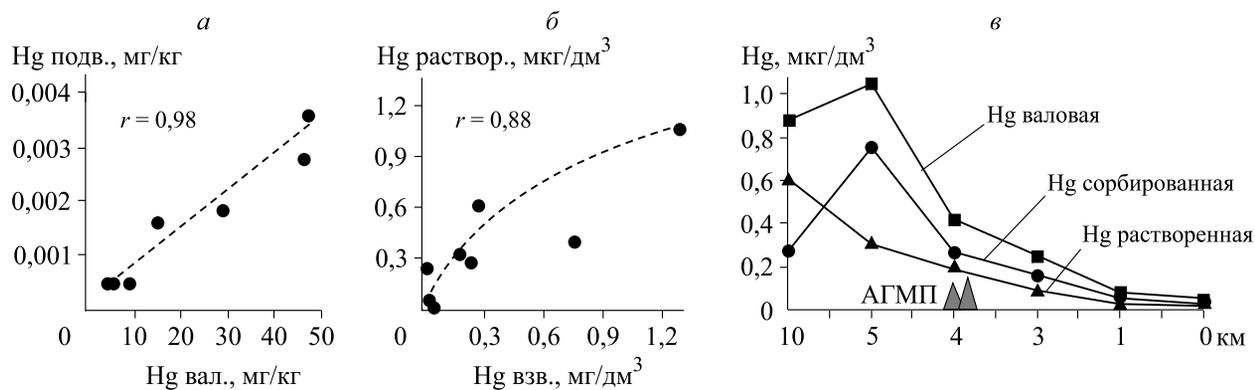


Рис. 5. Связь между формами ртути в почвах (а), в речной воде (б) и тренды их изменения от АГМП вниз по течению р. Ярлыамры (в).

щей среды в донных осадках и пойменных почвах транзитных рек. Их величины следующие: Hg — 10,3 и 13,7; As — 14,0 и 12,5; Sb — 7,0 и 8,0 мг/кг/км; значения СПЗ — 14,4 и 10,0 ед/км соответственно. Это свидетельствует о единстве их источников и процессов миграции в условиях расчлененной горной страны, а также о низком потенциале самоочищения рек из-за их каменистых русел, быстрого течения, низкой температуры воды и пр.

Предварительно установлено превалирование механического переноса ртути и других специфических экотоксикантов АГМП над их миграцией в форме химических растворов. В частности, выявлена тесная ( $r = 0,84-0,94$ ) прямая связь между массой взвешенных частиц в речной воде и массой сорбированной на них ртути, которая примерно на три порядка больше ее растворенной формы. Их отношение не зависит от содержания ртути и закономерно изменяется от промзоны АГМП вниз по течению р. Ярлыамры.

Показано, что на участке АГМП содержание ртути в воде заметно увеличивается, но преобладание ее сорбированной формы над растворенной сохраняется. В интервале 5–10 км ниже предприятия валовое содержание ртути в воде постепенно уменьшается, и ее растворенная форма начинает превалировать над сорбированной (рис. 5). По данным [6], это указывает на постепенное осаждение взвешенных частиц и увеличение перехода сорбированной на них ртути в растворимую форму.

В заключение анализа особенностей ртутного загрязнения окружающей природной среды и формирования негативной экогеохимической обстановки в районе Акташского ГМП необходимо отметить, что ряд исследователей проецирует ее и на отстоящий в 8 км к западу пос. Акташ, где более полувека находилась часть объектов предприятия, в том числе его ремонтная, складская и автотранспортная инфраструктуры.

Полученные авторами значения содержания ртути в поселковых почвах (0,16–1,90 мг/кг), растениях (0,06–0,61), природных водах, донных осадках (0,2 мг/кг, кроме р. Чибитки) на один-два порядка ниже, чем в промзоне АГМП, но заметно выше уровня местного фона. Это обусловлено главным образом многолетним привносом транспортными средствами на территорию поселка отходов предприятия, в том числе с отсыпанных огарками технологических дорог, а также нередкими проливами и испарением товарной ртути и завозимых РСО.

С учетом отмеченного эколого-гигиеническая ситуация в пос. Акташ, обусловленная ртутным и сопутствующим ему загрязнением компонентов окружающей среды, по сравнению с промзоной АГМП является более благополучной, но в то же время напряженной и в целом малоблагоприятной для проживания местного населения.

## ВЫВОДЫ

За многолетний период деятельности Акташского ГМП в зоне его влияния сформировался значительный по размерам очаг высокоинтенсивного загрязнения депонирующих природных сред ртутью и комплексом сопутствующих ей тяжелых металлов, основными источниками которых являются выбросы и сбросы металлостроительного завода, а также отходы передела ртутных руд Акташского месторождения и, частично, утилизации привозных РСО.

Этот очаг опасного загрязнения служит источником долговременного поступления ртути и ее элементов-спутников в экосистемы транзитных рек Ярлыамры и Чибитки, протекающих по территории населенных пунктов Акташ и Чибит. С учетом этого можно считать, что в зоне слабоинтенсивного влияния АГМП проживают около 4 тыс. чел.

Изученные особенности распределения и поведения ртути позволили наметить модель миграции и перехода ртути в компонентах окружающей среды, уточняющую имеющиеся представления [7] о формировании наложенных атмо-, сноу-, лито-, гидро- и биогеохимических ореолов и потоков ее рассеяния под воздействием прошлой и текущей экогеохимической ситуации в районе АГМП.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сакладов А. С.** Характер и масштабы влияния на окружающую среду отходов горнодобывающих предприятий Республики Алтай: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2008. — 22 с.
2. **Робертус Ю. В.** Вещественный состав и токсичность отходов горнодобывающих предприятий Республики Алтай // Пробл. регион. экологии. — 2009. — № 4. — С. 17–20.
3. **Пузанов А. В., Архипов И. А., Робертус Ю. В., Сакладов А. С.** Акташское ртутное месторождение и промзона АГМП (Юго-Восточный Алтай) как источник поступления ртути и сопутствующих элементов в объекты окружающей природной среды // IV Междунар. науч.-практ. конф. «Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде». — Семипалатинск, 2006. — Т. 1. — С. 122–128.
4. **Робертус Ю. В., Пузанов А. В., Любимов Р. В., Архипов И. А.** Уровни присутствия и особенности поведения ртути в природных средах и техногенных объектах района Акташского ГМП (Республика Алтай) // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты: Материалы Междунар. симпоз. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2010. — С. 144–149.
5. **Мальгин М. А., Пузанов А. В., Робертус Ю. В., Смирнов Н. В.** Ртуть в почвах и воздухе ложа проектируемого Катунского гидроузла и сопредельных районов // Катунский проект: проблемы экспертизы: Материалы к обществ.-науч. конф. — Новосибирск: Наука, 1990. — С. 39–40.
6. **Тausон В. Л., Зубков В. С., Калмычков Г. В., Меньшиков В. И.** Формы нахождения ртути в твердом стоке и донных наносах бассейна р. Катунь // Геология и геофизика. — 1995. — Т. 36, № 2. — С. 115–121.
7. **Голева Р. В., Клочков А. С., Пронин А. П.** Принципы разбраковки токсичных природных и техногенных геохимических аномалий // Геоэкологические исследования и охрана недр. — 1994. — № 3. — С. 33–38.

*Поступила в редакцию 14 июля 2014 г.*