

И.А. АРХИПОВ\*, Р.В. ЛЮБИМОВ\*\*, И.А. ТРОШКОВА\*

\*Институт водных и экологических проблем СО РАН,

656038, Барнаул, ул. Молодежная, 1, Россия, arhipov@iwep.ru, egorka\_iren@mail.ru

\*\*Горно-Алтайский филиал Института водных и экологических проблем СО РАН,  
649105, Республика Алтай, Майминский район, с. Кызыл-Озёк, пер. Мирный, 8, Россия,  
aricol@mail.gorny.ru

### СОСТОЯНИЕ КОМПОНЕНТОВ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРНО-ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

*Дана оценка воздействия на окружающую среду со стороны нескольких горнодобывающих и горно-перерабатывающих предприятий Республики Алтай, в числе которых рудники Веселый и Калгутинский, ныне заброшенное Акташское горно-металлургическое предприятие. Промышленная зона расположена на высоте 2150–2200 м над ур. моря в верховье р. Ярлыамры (бассейн р. Чуи, Юго-Восточный Алтай). Территория Каракульского месторождения полиметаллических руд относится к Юго-Восточному Алтаю. Проведен сравнительный анализ содержания элементов-токсикантов в объектах окружающей природной среды в зоне воздействия горнодобывающих предприятий. Изучено содержание микроэлементов в горнопромышленных ландшафтах Алтая. Установлено, что отвалы руды являются основными носителями загрязняющих веществ, в связи с чем природоохранные мероприятия должны быть направлены на снижение их эмиссии в окружающую среду. Загрязняющие вещества, присутствующие в сточных водах горнодобывающих предприятий Республики Алтай, представлены тремя основными группами, из которых наибольшую экологическую опасность для компонентов окружающей среды представляют тяжелые металлы, в меньшей степени опасны применяемые химические реагенты, нефтепродукты, фенолы и др. Загрязнение стоков макрокомпонентами общего состава в целом незначительно.*

**Ключевые слова:** месторождение, экологический мониторинг, природные среды, тяжелые металлы, оценка экологического состояния.

I.A. ARKHIPOV\*, R.V. LYUBIMOV\*\*, I.A. TROSHKOVA\*

\*Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
656038, Barnaul, ul. Molodezhnaya, 1, Russia, arhipov@iwep.ru, egorka\_iren@mail.ru\*\*Gorno-Altai Branch, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch, Russian  
Academy of Sciences, 649105, Altai Republic, Maiminskii district, Kyzyl-Ozek, per. Mirnyi, 8, Russia,  
aricol@mail.gorny.ru

### STATUS OF THE NATURAL ENVIRONMENT COMPONENTS IN THE ZONE OF INFLUENCE OF THE MINING AND PROCESSING FACILITIES IN THE ALTAI REPUBLIC

*An assessment is made of the impact on the environment from several mining and mining and processing enterprises of the Altai Republic, including the Veselyi and Kalgutinskii mines, and the abandoned Aktash mining and metallurgical enterprise. The industrial zone is located 2150–2200 m above the sea level in the upper reaches of the Yarlyamry river (the Chuya river basin, Southeastern Altai). The territory of the Karakul deposit of polymetallic ores belongs to Southeastern Altai. A comparative analysis is made of the content of toxicant elements in environmental components in the zone of influence of the mining enterprises. A study is made of the content of trace elements in industrial mining landscapes of Altai. It is found that the waste ores are the main contributors of pollutants; therefore, environmental measures should be focused on decreasing their emissions to the environment. The pollutants in wastewaters from the mining enterprises of the Altai Republic are represented by three main groups, with heavy metals posing the greatest ecological hazard to the environment components; chemical reagents, petroleum products, phenols, etc. are dangerous to a lesser degree. Pollution of wastewaters with trace elements of a general composition is, in general, insignificant.*

**Keywords:** deposit, environmental monitoring, natural environments, heavy metals, environmental assessment.

## ВВЕДЕНИЕ

Современные масштабы антропогенной деятельности обуславливают необходимость учета и прогнозирования изменений окружающей среды, оценки возможностей сбалансированного развития экосистем. Ресурсный потенциал биосферы в значительной мере определяется почвой. Сегодня следствием ухудшения состояния почв стал целый ряд экологических проблем, связанных с состоянием атмосферы, гидросферы, биоразнообразия и здоровья людей.

Токсиканты проникают практически во все депонирующие и транспортирующие природные среды вследствие естественного разрушения рудных масс и в процессе освоения месторождений. Разведка и разработка месторождений во многих, особенно старых, горнорудных районах России уже привела к серьезному нарушению экологического равновесия. Возникли сложные природно-техногенные экосистемы, негативное влияние которых до конца не оценено и поэтому часто непредсказуемо. Экологическая опасность усугубляется еще и тем, что вблизи или в зоне влияния разрабатываемых рудных месторождений, как правило, располагаются градопромышленные агломерации, где проживает население, обеспечивающее их освоение.

Горнодобывающие предприятия являются заметным фактором антропогенного влияния на экологическое состояние окружающей среды. Основная роль в их негативном воздействии принадлежит сбросам и выбросам загрязняющих веществ, а также отходам добычи и переработки руд — вскрышным, вмещающим породам, хвостам обогащения и передела руд. При добыче и обогащении руд современная технология позволяет использовать лишь часть извлекаемой горной массы, а оставшаяся часть породы накапливается в виде техногенных отходов. Особенность руд и рудных минералов состоит в том, что на поверхность извлекаются глубинные минералы, которые в поверхностных условиях (обилие воды, кислорода, углекислоты и др.) неустойчивы и быстро выветриваются, переходят во вторичные минеральные формы, из которых тяжелые металлы легко выщелачиваются и в виде подвижных фаз (ионные растворы, газы и т. д.) попадают в компоненты природной среды [1].

К основным видам влияния отходов горнодобывающих предприятий на экологическое состояние компонентов окружающей среды относятся: газоаэрозольное и пылевое, гидродинамическое, гидрохимическое, механическое, химическое, радиационное, тепловое. Кроме того, размещение отходов приводит к нарушениям природных ландшафтов, отчуждению и изъятию земель из хозяйственного пользования и пр. Аномальные геохимические поля чаще связаны с изменением химии природной среды, а также с накоплением в процессе переработки и обогащения первичного минерального сырья высокотоксичных подвижных соединений [2].

Характер и степень воздействия отходов горнодобывающих предприятий на окружающую среду в значительной мере определяются совершенством технологий разведки и отработки месторождений, минеральным и химическим составом добываемого сырья, применяемыми технологиями его переработки, эффективностью очистки отходящих газов и сточных вод. Большинство исследователей выделяют следующие экологические проблемы, связанные с размещением и хранением отходов горнодобывающих предприятий:

- дополнительный привнос в экосистемы значительных объемов разнообразных загрязняющих веществ;
- пыление и эмиссия токсичных газов, создающих контрастные геохимические ореолы в объектах окружающей среды, особенно при длительном хранении отходов;
- размещение и обезвреживание жидких отходов (отработанных технологических вод и растворов), содержащих токсичные химические элементы и реагенты;
- активизация экзогенных геологических процессов на объектах размещения отходов (дефляция, эрозия, плоскостной смыв, аккумуляция и пр.), способствующие формированию вторичного загрязнения природных сред.

Цель настоящей работы — оценить эколого-биогеохимическую обстановку в районах горнодобывающего и перерабатывающего производства. Задачи исследования заключаются в проведении наблюдений (с определенным пространственно-временным разрешением) за концентрациями экотоксикантов в объектах окружающей среды в зоне влияния геохимических аномалий.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами изучения выступают почвы, поверхностные и сточные воды, донные отложения, представители водной флоры и фауны. Основные контролируемые химические вещества — тяжелые металлы, флотореагенты (ксантогенат бутиловый, полиакриламид), прочие загрязнители — фенолы, нефтепродукты, взвешенные вещества.

Пробы природных и техногенных вод отбирали в полиэтиленовую посуду. Содержание растворенной формы ртути в пробах воды устанавливали в соответствии с методом EPA-1631 на ртутном анализаторе АГП (с предварительным окислением проб  $\text{BrCl}$ ). Микроэлементы в водах определяли на атомно-абсорбционном анализаторе Solaar-6 в Аналитическом центре Института водных и экологических проблем (ИВЭП) СО РАН.

Пробы почв отбирали из полнопрофильных разрезов по генетическим горизонтам либо из шурфов сечением  $10 \times 10$  см. Неглубокие шурфы (0–10 см) закладывали непосредственно в штольнях, вблизи объектов инфраструктуры завода, и на условно фоновых участках, не затронутых разработками. В дальнейшем пробы почв высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали и просеивали через сито с диаметром ячеек 1 мм. Пробы почв на содержание ртути проанализированы в Институте геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск) и в Аналитическом центре Алтайского государственного университета.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Горнодобывающие предприятия — один из основных источников загрязнения окружающей среды Республики Алтай, при этом наиболее значимым фактором негативного воздействия служат жидкие отходы производства — технологические растворы (воды) и наследующие их химизм сточные воды. Это обусловлено высоким содержанием в них загрязняющих веществ 1–4 классов опасности, продуцированием токсичных газов, испарением, фильтрацией, утечкой, уносом [3].

В числе горнодобывающих предприятий Республики Алтай — ОАО «Рудник Веселый» (золотодобывающее предприятие на северо-востоке Алтая), ООО «Калгутинское» (мелкое горнодобывающее предприятие, обрабатывающее в последние годы подземным способом одноименное редкометалльное месторождение на северо-востоке плоскогорья Укок в Кош-Агачском районе), ОАО «Акташское ГМП» (месторождение и ныне заброшенное горно-металлургическое предприятие находятся вне населенной местности на территории Улаганского района, на юго-западном макросклоне Курайского хребта). Промышленная зона расположена на высоте 2150–2200 м над ур. моря в верховье р. Ярлыамры (левый приток р. Чибитки, бассейн р. Чуи, Юго-Восточный Алтай), в 10 км восточнее пос. Акташ. Территория Каракульского месторождения полиметаллических руд расположена в Юго-Восточном Алтае.

Комплекс экотоксикантов, установленных в основном потоке, кроме рудных и сопутствующих им тяжелых металлов, включает сульфаты, азотные соединения, нефтепродукты и пр.

Помимо тяжелых металлов, в жидких отходах рудников, транслируемых в природные (поверхностные и грунтовые) воды, присутствует в превышающих ПДК концентрациях комплекс других специфических загрязнителей в зависимости от технологии обогащения руд — азотные и органические соединения (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав сточных вод горнодобывающих (перерабатывающих) предприятий Республики Алтай [3]

Параметр	Показатель состава и свойств воды								ОМ	ХПК	рН
	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$			
ОАО «Рудник Веселый» (стоки золотоизвлекательной фабрики, n = 10)											
Сред., мг/дм <sup>3</sup>	25,3	17,8	0,16	97,8	24,4	11,6	0,24	6,3	189,0	2,6	7,6
Макс., мг/дм <sup>3</sup>	30,9	32,1	0,84	140,3	35,5	16,1	0,69	11,9	210,7	5,0	8,2
V, %	15,8	40,6	163,2	28,2	20,2	19,2	81,0	46,7	9,7	56,6	4,4
ООО «Калгутинское» (технологические воды обогатительной фабрики, n = 9)											
Сред., мг/дм <sup>3</sup>	14,6	15,8	3,96	13,6	65,1	5,7	0,44	4,3	125,0	7,0	5,7
Макс., мг/дм <sup>3</sup>	39,6	48,4	9,36	42,7	135,2	7,6	1,30	13,0	235,5	14,4	7,2
V, %	47,2	108,1	55,6	150,3	36,7	50,4	132,9	43,4	32,8	47,6	19,4
ОАО «Акташское ГМП» (технологические воды ртутного завода, n = 2)											
Сред., мг/дм <sup>3</sup>	47,8	48,6	0,08	59,5	110,7	52,9	0,04	1,6	324,7	4,9	9,4
Макс., мг/дм <sup>3</sup>	49,5	96,9	0,13	79,3	127,2	98,3	0,07	2,5	452,5	8,4	10,8
V, %	5,0	140,6	95,8	47,1	21,0	121,5	108,4	86,3	55,7	102,0	21,7

Примечание. Курсивом выделены концентрации более 1 ПДК для вод рыбохозяйственных водоемов [4]. ОМ — общая минерализация; ХПК — химическое потребление кислорода. n — количество исследованных химических элементов.

Таблица 2

Среднее содержание (мг/дм<sup>3</sup>) тяжелых металлов в стоках горнодобывающих предприятий Республики Алтай

Объект	Элемент									
	Fe	Cu	Zn	Hg	Pb	Li	Sb	W	Mo	Be
ОАО «Рудник Веселый» сток фабрики	0,8	<i>0,066</i>	0,007	0,0002	0,0012	—	—	—	—	—
ООО «Калгутинское» сток фабрики	<i>1,2</i>	<i>3,8</i>	0,23	0,0003	<i>0,025</i>	0,015	0,008	<i>0,11</i>	<i>3,26</i>	0,003
сток отстойника	<i>6,6</i>	<i>3,8</i>	0,17	<i>0,036</i>	<i>0,017</i>	<i>0,07</i>	0,015	<i>0,08</i>	<i>1,25</i>	0,003
ОАО «Акташское ГМП» (технологическая вода)	—	0,003	0,08	<i>7,08</i>	<i>0,01</i>	—	0,024	—	—	—

Примечание. Прочерк — отсутствие данных. Курсивом выделено содержание более 30 ПДК.

Результаты анализа вклада специфических загрязнителей в токсичность технологических вод оказывают на преобладающую роль тяжелых металлов в ее формировании.

Данные об уровне присутствия в стоках предприятий тяжелых металлов позволяют сделать вывод как об их прямой связи с исходной концентрацией в перерабатываемых рудах, так и о заметном превышении действующих ПДК большинства изученных тяжелых металлов (в десятки и тысячи раз) (табл. 2) и их содержания в используемых водах [5, 6].

Сточные воды изученных предприятий являются в разной степени потенциально опасными для окружающей среды, в том числе для биоты. Загрязняющие вещества, поступающие из отходов обогащения руд, в той или иной степени участвуют в трофических цепях питания гидробионтов, в частности ихтиофауны. Основным фактором влияния АГМП на экологическое состояние объектов окружающей среды является воздействие отвалов некондиционных руд и пустых пород (5 млн т), содержащих высокие концентрации комплекса тяжелых металлов 1–3 классов токсичности (Hg, As, Sb, Zn, Cu и др.) [7–9]. В частности, установлена незначительная роль геологических образований Акташской рудной кулисы в формировании очага ртутного загрязнения.

Таким образом, проведенные исследования в районе рудника Веселого показали наличие специфического загрязнения и генотоксической активности водных систем транзитных водотоков 2–3-го порядка. С учетом этого обстоятельства можно считать, что зона потенциального влияния производственной инфраструктуры рудника имеет линейный характер и длину около 15 км — от истоков руч. Синюха до устья р. Ынырга (табл. 3).

Анализ вклада специфических загрязнителей сточных вод в их биотоксичность указывает на преобладающую роль тяжелых металлов. Так, максимальное значение (501 187) Кр — коэффициента безвредного разбавления, основного показателя биотоксичности изученных типов вод, — отмечено для насыщенных тяжелыми металлами стоков Калгутинского рудника, а минимальные (Кр = 1,5–6,8) — для стоков золотоизвлекательной фабрики рудника Веселого [10].

**Почвенный покров.** Сложное сочетание различных факторов почвообразования обуславливает распространение разнообразных по строению, составам и свойствам почв — от примитивных пятнистых мохово-лишайниковых почвенных образований до имеющих достаточно развитый профиль горно-тундровых, горно-луговых альпийских, горно-луговых субальпийских и горно-лугово-степных почв. Изучение почвенного покрова было проведено на 19 точках.

Техноземы отобраны в штольнях, почвы — на условно фоновых участках, расположенных вблизи штолен, а также выше и ниже рудного поля. В районе месторождения была заложена катена (точки К-1–К-5), включающая пять полнопрофильных почвенных разрезов (от примитивных горно-тундровых до горно-лесных и каштановых почв), располагающихся в четырех высотных поясах — горно-тундровом, горно-луговом субальпийском, горно-лесном и сухо-степном [11]. Катена заложена на однородной геологической основе, высшая точка — на высоте 2700 м над ур. моря, низшая — в прирусловой части р. Ярлыамры. В результате многолетнего водного переноса материала загрязненных почвогрунтов и отходов Акташского горно-металлургического предприятия (АГМП) в субкавальных ландшафтах долин рек Ярлыамры и Чибитка сформировался интенсивный протяженный (более 20 км) литохимический поток рассеяния ртути и ее элементов-спутников [12].

Значительное превышение ПДК почв (2,1 мг/кг) характерно для почвенных проб, отобранных в местах хранения и несанкционированного сброса ртутьсодержащих отходов, при том что в целом по

Таблица 3

## Среднее содержание тяжелых металлов в воде, донных осадках, флоре и фауне водоемов в районе рудника Веселого, мг/кг

Место отбора проб	Объект	Элемент			
		Zn	Cu	Pb	Hg
Т-3. Отстойник	Вода (мг/дм <sup>3</sup> )	0,0614	0,0276	0,0023	0,05
Т-3. Отстойник	Донные отложения	110	450	80	0,98
Т-3. Отстойник	Растения	15	<b>105</b>	<b>1,4</b>	0,029
Т-3. Отстойник	Рыба	<b>110</b>	11	<1	0,01
Т-4. Река Синюха, мост	Вода (мг/дм <sup>3</sup> )	0,0526	0,0189	0,0007	0,04
Т-4. Река Синюха, мост	Донные отложения	90	150	50	0,2
Т-4. Река Синюха, мост	Бентос	23	<b>20</b>	<0,05	0,025
Т-4. Река Синюха, мост	Рыба	<b>53</b>	1,3	<0,05	0,014
Т-6. Река Сёйка, ниже с. Сёйка	Вода	0,0313	0,0024	0,0008	0,05
Т-6. Сёйка (ниже с. Сёйка)	Донные отложения	70	150	15	0,32
Т-6. Река Сёйка, ниже с. Сёйка	Рыба	<b>63</b>	11	<1	0,001
Т-7. Река Ынырга, ср. теч.	Вода (мг/дм <sup>3</sup> )	0,0333	0,0305	0,0038	0,03
Т-7. Ынырга, ср. теч.	Бентос	38	11	0,62	0,015
Т-7. Ынырга, ср. теч.	Рыба	<b>70</b>	2,0	0,36	0,02
Т-7. Ынырга, ср. теч.	Растения	13	<b>13</b>	1,0	0,012
Т-8. Ынырга, устье	Вода (мг/дм <sup>3</sup> )	0,0575	0,0144	0,0079	0,12
Т-8. Ынырга, устье	Донные отложения	45	21	13	0,32
Т-8. Ынырга, устье	Бентос	10	4,5	0,25	0,008
Т-8. Ынырга, устье	Растения	10	5,0	0,73	0,005
ПДК, мг/кг, для свежей пресноводной рыбы		40	10	1	0,5

Примечание. Т-3–Т-8 – точки отбора проб. Жирным шрифтом показано превышение ПДК.

территории месторождения значительных колебаний концентрации ртути или отклонений от местного фона, характерного для рудных месторождений, нет (табл. 4).

Для уточнения состояния почвенного покрова лицензионного участка сотрудниками ИВЭП СО РАН проведен отбор 33 почвенных проб. Из них 16 было отобрано на площади Каракульского месторождения.

Проявленные на площади лицензионного участка особенности пространственного распределения тяжелых металлов и характер их корреляционных связей свидетельствуют о наличии по крайней мере

Таблица 4

## Концентрации ртути в почвах и растениях Акташского ртутного месторождения, мг/кг [10]

Точка отбора проб	Почва	Растения	Точка отбора проб	Почва	Растения	Точка отбора проб	Почва	Растения
К-1	1	0,195	К-5	7,2	0,100	ШТ-4	9,1	0,160
К-1	1,4		К-5	<i>61</i>		ШТ-4	10	
К-2	0,8	0,152	К-5	0,48		ШТ-4	0,75	
К-2	7,2		К-5	13		ШТ-9	<i>212</i>	<i>5,422</i>
К-2	0,69		Т-12	11	0,279	ШТ-9	<i>330</i>	
К-3	3,8	0,484	Т-13	<i>88</i>	0,115	ШТ-14	15	0,092
К-3	1,3		Т-13	<i>91</i>		ШТ-30	62	0,139
К-3	2,2		Т-13	22		ШТ-36	4,5	0,116
К-4	2,7	0,035	Т-14	<i>44</i>	0,086	ШТ-21	0,57	0,050
К-4	1		Т-16	<i>43</i>	0,094	ШТ-27	9,1	0,096
ШТ-25	2,6	0,044	ШТ-34	1,2	0,130	ШТ-41	1,5	0,042

Примечание. К-1–К-5 – см. текст. ШТ – штольня, Т – точка отбора проб. Курсивом выделено содержание более 30 ПДК.

трех ассоциаций рудных и сопутствующих им ТМ, одна из которых представлена свинцом и цинком, вторая — висмутом, мышьяком, медью и кобальтом, а третья — всеми вышеотмеченными элементами. Анализ геохимических особенностей рудовмещающих отложений и полиметаллических руд месторождения позволяет сделать вывод, что первая ассоциация тяжелых металлов характерна для вмещающих пород, вторая — для наложенного оруденения. Выявлено повышенное содержание свинца, мышьяка и цинка в почвах лицензионного участка. По нашим оценкам, до 40 % его площади (1,85 км<sup>2</sup>) — это территория с изначально неблагоприятной эколого-гигиенической ситуацией в плане загрязнения почв тяжелыми металлами [11].

Основное горнодобывающее предприятие в Республике Алтай — ОАО «Рудник Веселый». Исходя из орографических, гидрологических и гидрогеологических особенностей промзоны рудника, исследования были проведены на трех пробных участках с различной степенью токсической нагрузки. Объект исследования — вода и донные отложения ручьев Амур и Синюха, рек Сёйка и Ынырга, а также шахтная вода и вода из пруда-отстойника. Всего в июле 2011 г. было отобрано восемь проб воды и пять проб донных отложений.

Интенсивность загрязнения почв тяжелыми металлами в районе Калгутинского рудника варьируется в больших пределах, но в целом находится на фоновом и слабо повышенном уровне (суммарный показатель загрязнения (СПЗ) — 2–16). В районе установки предварительного обогащения (УПО) отмечено аномально повышенное содержание рудных тяжелых металлов — до 3–5 фонов, в связи с чем почвы по величине СПЗ (35–38) относятся к категориям умеренно загрязненных и (частично) сильно загрязненных. Предварительно установлена тенденция к нарастанию загрязнения почв на участке УПО — до 30 % в год [13].

На основании проведенного расчета и анализа особенностей пространственного распределения микроэлементов был произведен подсчет потенциальной токсичности рудного месторождения. Имея уточненные экотоксикологические показатели элементов Тл (коэффициент литотоксичности элемента для объектов геологической среды) и геохимический показатель Кк (кларк концентрации элемента), можно установить экогеохимическое значение любого объекта, для которого известен химический состав (по методике Р.В. Голева и соавторов [14]). Этот прием был использован нами для экспресс-оценки потенциальной токсичности Каракульского месторождения:

$$ГЭр = \Sigma(Тл \times Кк)_1 + + (Тл \times Кк)_n,$$

где ГЭр — потенциальная токсичность месторождения, n — количество исследованных химических элементов.

В результате подсчета получили величину ГЭр = 1815, что соответствует n<sup>3</sup>–n<sup>4</sup> и относится к объектам с высокой потенциальной опасностью (по ранжированию В.В. Иванова [15]).

Концентрации изученных элементов в пределах выделенных вторичных геохимических аномалий заметно превышают ПДК почв. Приведенные данные свидетельствуют о локальном и местами весьма интенсивном загрязнении тяжелыми металлами различных компонентов окружающей среды вблизи производственных объектов, источником которого, несомненно, является местный воздушный и водный перенос пыли, аэрозольных частиц и растворенных веществ, содержащихся в рудовмещающих породах, рудах, хвостах их обогащения и пр. Механическому переносу минеральной пыли способствуют плоскостной смыв, водная эрозия, гравитационные процессы (осыпание, оползание). Морфология, размеры, интенсивность и внутреннее строение наложенных ореолов и потоков рассеяния ртути в районе также зависят от таких природных факторов, как термический режим и количество осадков; скорость, направление и повторяемость господствующих ветров; крутизна, экспозиция и обводненность горных склонов; наличие геохимических барьеров и др. [16].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Концентрации изученных элементов в пределах выделенных вторичных геохимических аномалий заметно превышают ПДК почв. В связи с неполнотой имеющихся фактических данных по содержанию микроэлементов, а также об особенностях их распространения в основных депонирующих средах, эти оценки должны рассматриваться как предварительные. Недостаточность статистического материала не позволяет в настоящее время рассчитать все показатели токсичности месторождения.

Хранилища отходов обогащения руд на Калгутинском руднике и на руднике Веселом относятся ко 2-й категории — умеренно опасных в экологическом отношении объектов размещения отходов, а

металлургических шлаков АГМП к 1-й категории — опасных объектов. Основным интегральным показателем, снижающим экологическую безопасность всех объектов размещения отходов на территории республики, является низкая степень их инженерно-технического обустройства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ильин В.Б.** О нормировании тяжелых металлов в почве // Почвоведение. — 1986. — № 9. — С. 90–98.
2. **Беляев А.М.** Принципы эколого-геохимической оценки потенциальной опасности промышленных месторождений твердых полезных ископаемых: Материалы VI межвуз. молодежн. науч. конф. «Школа экологической геологии и рационального недропользования». — СПб.: Изд-во Санкт-Петерб. ун-та, 2005. — С. 78–95.
3. **Робертус Ю.В., Любимов Р.В., Сакладов А.С.** Предварительная оценка опасности отходов горнодобывающих предприятий и объектов их размещения на территории Республики Алтай // Природные ресурсы Горного Алтая. — 2005. — № 2. — С. 135–138.
4. **Приказ** Министерства сельского хозяйства Российской Федерации № 552 от 13 декабря 2016 года «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» [Электронный ресурс]. — <http://base.garant.ru/71586774/> (дата обращения 13.10.2018).
5. **Робертус Ю.В.** Результаты работ по мониторингу окружающей среды в районе промзоны АГМП и пос. Акташ. — Горно-Алтайск: Изд-во Алтайск. регион. ин-та экологии, 2005.
6. **Кивацкая А.В.** Особенности состава сточных вод при кучном выщелачивании золота (на примере Горного Алтая) // Труды VII Междунар. симпозиума «Проблемы геологии и освоения недр». — Томск: Изд-во Том. политех. ун-та, 2003. — С. 633–635.
7. **Архипов И.А., Пузанов А.В.** Акташское ртутное месторождение (Юго-Восточный Алтай) как потенциальный источник поступления ртути в объекты окружающей природной среды // Мир науки, культуры, образования. — 2007. — № 4 (7). — С. 23–26.
8. **Робертус Ю.В., Пузанов А.В., Любимов Р.В., Архипов И.А.** Экогеохимия ртути в природных средах и техногенных объектах Акташского ГМП (Республика Алтай) // Мир науки, культуры, образования. — 2010. — № 2 (21). — С. 280–282.
9. **Робертус Ю.В., Пузанов А.В., Любимов Р.В.** Особенности ртутного загрязнения окружающей среды в районе Акташского горно-металлургического предприятия (Республика Алтай) // География и природ. ресурсы. — 2015. — № 3. — С. 48–55.
10. **Архипов И.А., Пузанов А.В., Сакладов А.С., Робертус Ю.В.** Акташское ртутное месторождение и промзона АГМП (Юго-Восточный Алтай) как источник поступления ртути и сопутствующих элементов в объекты окружающей природной среды // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. — Семипалатинск: Изд-во Семипалат. ун-та, 2006. — С. 122–128.
11. **Архипов И.А., Робертус Ю.В.** Распределение микроэлементов в почвах районов естественных геохимических аномалий (на примере Каракульского месторождения полиметаллов) // Вестн. Алтайск. аграрн. ун-та. — 2018. — № 2 (160). — С. 53–58.
12. **Юсупов Д.В., Робертус Ю.В., Рихванов Л.П., Любимов Р.В., Ляпина Е.Е., Турсуналиева Е.М.** Распределение ртути в компонентах окружающей среды горнорудных районов Республики Алтай // Оптика атмосферы и океана. — 2018. — Т. 31, № 1. — С. 73–78.
13. **Рихванов Л.П.** Информационная записка о результатах полевых работ по предварительной оценке состояния минерально-сырьевой базы Республики Алтай. — Томск: МГП «Экогеос», 1998.
14. **Голева Р.В., Иванов В.В., Куприянова И.И., Маринов Б.Н., Новикова М.И., Шпанов Е.П., Шурига Т.Н.** Экологическая оценка потенциальной токсичности рудных месторождений: Метод. рекомендации. — М.: Изд-во ООО «Русинжкомплект», 2001. — 53 с.
15. **Иванов В.В.** Экологическая геохимия элементов: справочник: В 6 т. — М.: Недра, 1996. — Т. 3. — 352 с.
16. **Сакладов А. С.** Характер и масштабы влияния на окружающую среду отходов горнодобывающих предприятий Республики Алтай: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. — Томск, 2008. — 157 с.

*Поступила в редакцию 18.08.2018*

*После доработки 29.01.2020*

*Принята к публикации 25.09.2021*