

Б.Н. АБРАМОВ*, Е.С. ЭПОВА*, Д.В. МАНЗЫРЕВ**

*Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН,
672002, Чита, ул. Недорезова, 16а, Россия, b_abramov@mail.ru, Apikur1@yandex.ru

**Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3, Россия, manzyrevdv@yandex.ru

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОТРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА В ВОСТОЧНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ

Установлено, что за длительный период эксплуатации золоторудных месторождений Восточного Забайкалья площадь земель, занятых под техногенные образования, превышает 4 тыс. га. Выявлено, что большинство хвостохранилищ Восточного Забайкалья сформированы в 1930–1950 гг. Их поверхность, как правило, не была покрыта слоем связующих материалов для закрепления. При их проектировании не предусматривались гидроизоляция оснований и защитные дамбы. Показано, что среди техногенных образований отработанных золоторудных месторождений Восточного Забайкалья наибольшую экологическую опасность представляет хвостохранилище золотоизвлекательной фабрики Карийского месторождения. Его потенциальная токсичность характеризуется значениями ГЭр = 52 632. Менее опасны отвалы золотоизвлекательных фабрик Ключевского (ГЭр = 4166) и Илинского (ГЭр = 6617) месторождений. Исследования показали, что хвостохранилища золоторудных месторождений Восточного Забайкалья содержат от 0,35 до 1,79 г/т золота. В ходе экспериментальных работ по выщелачиванию элементов из золотоносных руд установлена высокая подвижность As, Ca, Fe, Cu, Pb, Zn и меньшая — Ni, Co, Cd, Bi, Sb. Исследования, проведенные сотрудниками Научно-исследовательского института медицины труда и экологии человека (г. Иркутск), показали, что жители г. Балеи в сравнении с жителями городов Чита и Нерчинск, где отсутствуют горнодобывающие предприятия, значительно чаще имеют патологии органов кровообращения, патологии органов слуха и зрения, болезни органов дыхания.

Ключевые слова: хвостохранилища, токсичные элементы, выщелачивание, здоровье населения, экологические проблемы, золоторудные месторождения.

B.N. ABRAMOV*, E.S. EPOVA*, D.V. MANZYREV**

*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
672002, Chita, ul. Nedorezova, 16a, Russia, b_abramov@mail.ru, Apikur1@yandex.ru

**Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
630090, Novosibirsk, pr. Akademika Koptyuga, 3, Russia, manzyrevdv@yandex.ru

GEOECOLOGICAL PROBLEMS OF MINING GOLD ORE DEPOSITS IN EASTERN TRANSBAIKALIA

It has been established that over a long period of exploitation of gold deposits in Eastern Transbaikalia the area occupied by technogenic formations now measures more than 4 thou ha of land. Most of the tailings of Eastern Transbaikalia date back to the 1930s–1950s. Their surface was, for the most part, not covered with a layer of binding materials for fixing. When designing them, no waterproofing of the bases and protective dams was foreseen. It is shown that among the technogenic formations of the worked-out gold deposits in Eastern Transbaikalia the tailing dump of the gold extraction plant of the Kariiskoe deposit presents the greatest environmental hazard. Its potential toxicity is characterized by the values of GER = 52 632. Dumps of gold recovery plants of the Klyuchevskoe (GER = 4166) and Ilinskoe (GER = 6617) deposits are less dangerous. It was found that the tailings of gold deposits in Eastern Transbaikalia contain from 0.35 to 1.79 g/t of gold. In the course of experimental studies on the leaching of elements from gold-bearing ores, a high mobility of As, Ca, Fe, Cu, Pb and Zn, and a lower mobility of Ni, Co, Cd, Bi and Sb was determined. Studies conducted by specialists of the Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology (Irkutsk) showed that residents of Balei, compared to residents of the cities of Chita and Nerchinsk with no mining enterprises, significantly more often have pathologies of the circulatory organs, pathological disorders of the organs of vision and hearing and diseases of the respiratory system.

Keywords: tailings, toxic elements, leaching, public health, ecological problems, gold deposits.

ВВЕДЕНИЕ

Забайкальский край относится к числу старейших горнодобывающих регионов России. Рудные месторождения начали обрабатываться с 1879 г. небольшими рудниками [1]. На территории региона известно более 1000 рудопроявлений и месторождений золота. Из них к числу крупных по запасам относятся Балеysкое, Дарасунское, Ключевское и Карийское, а к менее крупным — Любавинское, Илинское, Средне-Голготайское и др. (рис. 1).

За длительный период эксплуатации золоторудных месторождений отходы золотодобывающей отрасли в Забайкальском крае достигли 209 млн т [2]. Техногенные скопления, размещенные вблизи поселений, занимают более 4 тыс. га земель [2]. Они в значительных количествах содержат химические элементы первого и второго классов опасности, которые оказывают неблагоприятное воздействие на жизнедеятельность населения. В результате высокой экологической нагрузки у населения, проживающего вблизи горно-обогатительных предприятий, развиваются разные формы вторичного неспецифического иммунодефицита (эндозкологической болезни), который представляет собой предпосылку к возникновению различных заболеваний, в том числе злокачественных новообразований.

Основная задача данного исследования — эколого-геохимическая оценка потенциальной опасности техногенных образований, возникших при обработке месторождений золота в Забайкальском крае.

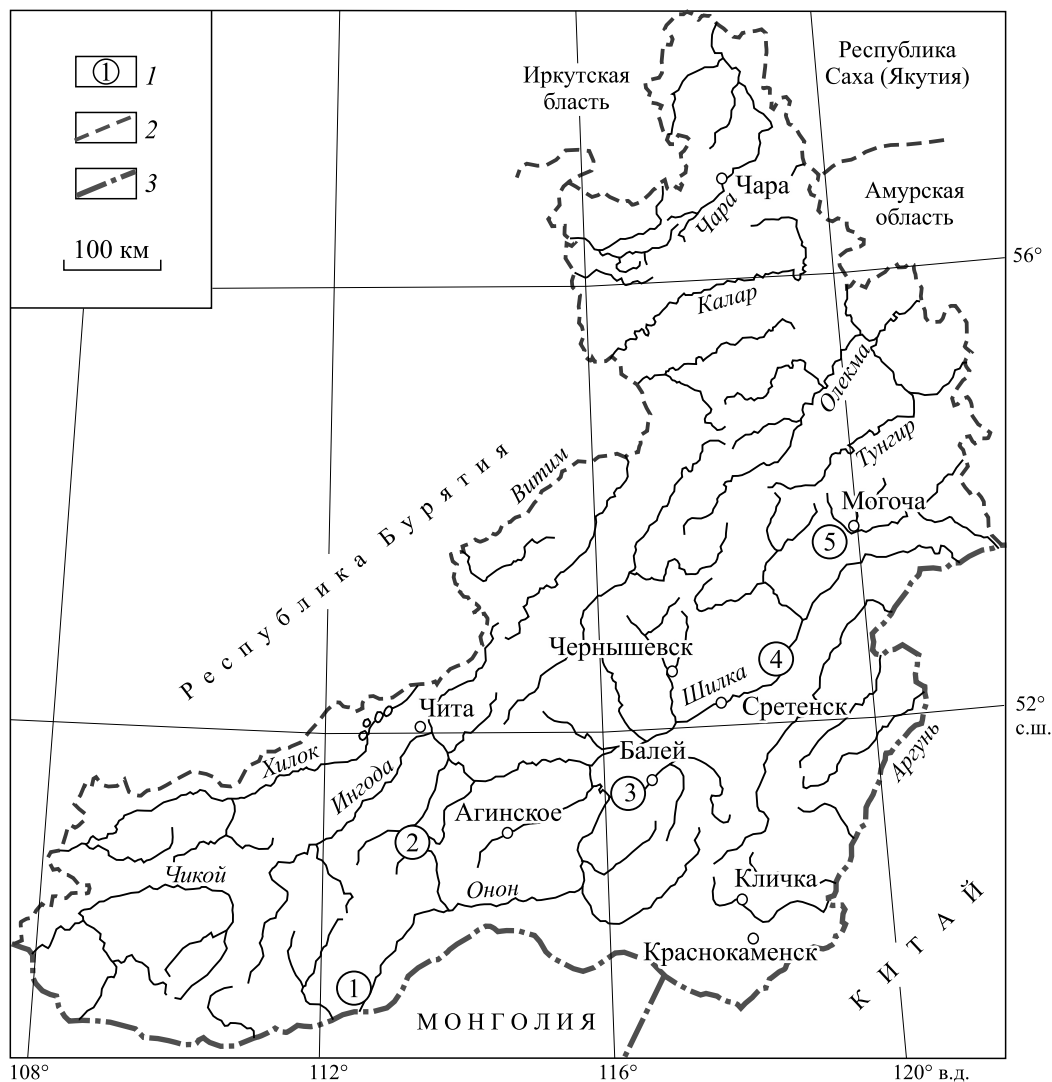


Рис. 1. Схема размещения золоторудных месторождений Восточного Забайкалья.

1 — цифры в кружках: месторождения золота: 1 — Любавинское, 2 — Илинское, 3 — Балеysкое, 4 — Карийское, 5 — Ключевское; 2, 3 — границы: 2 — Забайкальского края, 3 — государственная.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу статьи положен фактический материал, собранный авторами в процессе тематических исследований по программам Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН в 1998–2016 гг., а также данные территориальных геологических фондов (г. Чита) [2]. Полевые исследования проводились в рудных полях Балейского, Илинского, Ключевского, Карийского и Любавинского золоторудных месторождений (см. рис. 1).

Для определения содержаний элементов-примесей в породах и отвалах хвостохранилищ использовались ISP-MS и РФА методы анализа. Атомно-эмиссионная спектроскопия (ISP-MS) с индуктивно связанной плазмой предназначена для определения элементного состава металлов и металлоидов. Суть метода состоит в том, что при возбуждении и ионизации с последующим переходом в стабильное состояние каждый элемент испускает квант света с определенной длиной волны. Определяя длину волны и интенсивность его испускания, проводится качественный анализ. Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) — один из современных спектроскопических методов для определения элементного состава, основанный на сборе и анализе спектра, возникающего при облучении исследуемого материала рентгеновским излучением.

Содержания элементов в рудах определены методом РФА в лаборатории инструментальных методов анализа Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ), концентрации элементов в отвалах хвостохранилищ — методом ICP-MS в ООО «ХАЦ “Плазма”» (г. Томск). Определение элементного состава водных проб проводилось методом масс-спектрометрии в ЗАО «СЖС Восток Лимитед» (г. Чита).

Нами осуществлялись экспериментальные исследования, моделирующие процессы выщелачивания рудных элементов из золотосодержащих руд Любавинского и Ключевского золоторудных месторождений, в условиях, приближенных к природным. Фильтрационные эксперименты проводились в проточных сосудах объемом 20 мл с прозрачными стенками. Через навеску руды массой 25 г пропускался поток серноокислотного раствора (рН 2) с заданной скоростью ($n = 3$ мл/мин). Фильтрат отбирался в пробирки по 45 мл и анализировался. На выходе фильтрационной колонки помещался фильтр, регулирующий скорость потока и предотвращающий попадание частичек руды в фильтрат. Общий объем исходного раствора составил 450 мл. Эксперименты проводились по методике для стандартных условий [3, 4], постоянная подача раствора в сосуд обеспечивалась с помощью перистальтического насоса марки Peristaltic pump type pp1-05 (Польша). Кислотность исходного раствора определялась рН-метром «Анион-7000» (Россия) с использованием комбинированного электрода марки ЭСР10601/4. Для получения статистически достоверных данных опыты ставились в трех параллелях, по их средним значениям строились графики.

ТЕХНОГЕННЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

К настоящему времени многие месторождения Забайкальского края отработаны (Илинское, Балейское, Любавинское и др.). В результате их эксплуатации образованы многочисленные техногенные образования — отвалы вскрышных пород, карьеры, хвостохранилища золотоизвлекательных фабрик (ЗИФ), оказывающие негативное воздействие на окружающую среду [5]. В процессе отработки на поверхность поступают породы, вмещающие рудные тела, в той или иной степени обогащенные металлами, представляющие собой источники токсичных элементов в результате воздействия кислых дренажных вод, что характерно для горнорудных территорий [6, 7]. При отработке месторождений карьерами масштабы выработок очень значительны. Отходы золотодобывающей отрасли в 1998 г. составляли 208 782 тыс. т. Из них 72 % — породы вскрыши, 932 тыс. т (0,5 %) — отвалы бедных и забалансовых руд, 54 330 тыс. т (26 %) — хвосты гравитационно-флотационного обогащения руд, 1650 тыс. т (около 0,8 %) — отходы химической переработки руд [8]. В отвалах золотоизвлекательных фабрик золоторудных месторождений концентрации золота колеблются от 0,85 до 1,8 г/т, мышьяка — от 287 до 2107 г/т, свинца — от 8 до 750 г/т, цинка — от 8 до 65 г/т.

Отвалы хвостохранилищ ЗИФ, содержащие повышенные концентрации золота, по сути, представляют собой техногенные месторождения золота. Всего в техногенных образованиях Забайкальского края содержится более 150 т золота [8]. По данным фондовых материалов [2], слабоминерализованные породы вскрыши золоторудных месторождений (Ключевское, Балейское, Тасеевское) содержат в среднем 0,33–0,35 г/т золота. Отвалы бедных и забалансовых руд Ключевского и Любавинского месторождений содержат 0,85–1,1 г/т золота, Усть-Карского — до 3 г/т. Хвосты гравитационно-флота-

ционного обогащения руд этих месторождений содержат от 0,35 до 1,79 г/т золота. Таким образом, отвальные хвосты ЗИФ Забайкалья могут стать важным источником получения благородных металлов. Техногенные месторождения золота характеризуются следующими особенностями: расположены в освоенных районах, имеют поверхностное залегание, рудная масса раздроблена. С другой стороны, они представляют собой опасный источник загрязнения токсичными элементами поверхностных и подземных вод.

Из рассматриваемых золоторудных месторождений наиболее крупное — Балеysкое. В результате более чем полувековой работы комбината «Балеysзолото» была накоплена огромная масса тонких флотационных золотосодержащих рудных хвостов (илов), которые складировались в хвостохранили-

Средние содержания элементов в рудах и отвалах хвостохранилищ золоторудных месторождений Восточного Забайкалья, г/т

Показатель	Элементы											
	Au	Hg	As	Pb	Zn	Cd	Cu	Sn	Mo	Sb	Ba	Sr
x^*	0,0045	0,08	1,5	20	60	0,1	20	3	1	0,26	830	300
Балеysкое месторождение												
Золотоносные кварцевые жилы ($n = 7$) ГЭр = 11 578												
x	7,7**	0,006–0,78 [11]	162	18	80	–	–	9	2	215	99	36
s	–	–	201	7	49	–	–	11	1	328	70	21
Отвалы золотоизвлекательной фабрики № 2 ($n = 1$) ГЭр = 10 517												
x	1,0**	–	868	750	10	–	25	3	4	102	–	–
Любавинское месторождение												
Золотоносные кварцевые жилы ($n = 10$) ГЭр = 68 460												
x	2,85**	–	9831	110	141	0,6	39	7	8	27	214	104
s	–	–	10702	129	51	–	–	4	–	20	150	138
Отвалы золотоизвлекательной фабрики ($n = 2$) 13543												
x	0,85–1,0**	–	1860	21	65	–	23	5	4	–	–	–
s	–	–	2107	8	8	–	3	2	3	–	–	–
Карийское месторождение												
Золотоносные кварцевые жилы ($n = 41$) ГЭр = 779 123												
x	5,3**	–	24876	221	88	–	379	20	172	56	289	239
s	–	–	55485	333	66	–	305	23	525	70	446	250
Отвалы золотоизвлекательной фабрики ($n = 7$) ГЭр = 52 632												
x	0,35–1,8**	–	237	135	47	–	146	30	15	68	–	–
s	–	–	91	66	20	–	66	7	4	77	–	–
Ключевское месторождение												
Золотоносные кварцевые жилы ($n = 7$) ГЭр = 36 840												
x	3,25**	0,001–0,307 [11]	924	22	59	0,7	230	7	26	52	200	417
s	–	–	767	21	16	–	187	3	23	48	352	253
Отвалы золотоизвлекательной фабрики ($n = 7$) ГЭр = 4166												
x	0,85–1,1**	–	286	26	45	–	107	3	7	42	–	–
s	–	–	59	4	9	–	30	1	2	3	–	–
Илинское месторождение												
Брекчии сульфидизированные ($n = 8$) ГЭр = 13 125												
x	2,5**	–	1711	23	43	–	–	6	7	42	381	160
s	–	–	1272	7	15	–	–	7	2	84	151	56
Отвалы золотоизвлекательной фабрики ($n = 3$) ГЭр = 6617												
x	0,44–1,59**	–	946	18	30	–	13	5	1	7	–	–
s	–	–	267	4	5	–	9	1	1	1	–	–

Примечание. x — среднее арифметическое; s — стандартное отклонение; n — число анализов. Прочерк — нет данных.

* Кларки концентраций элементов в породах кислого состава по [11].

** Среднее содержание золота в рудах и отвалах золотоизвлекательных фабрик по данным фондовых материалов.

ше фабрики № 1 (ЗИФ-1). Отходы новой фабрики, с более совершенной технологией, подавались в хвостохранилище ЗИФ-2. Установлено, что содержание золота в них представляет промышленный интерес (см. таблицу). Так, при подсчете запасов золота в хвостохранилище ЗИФ-1 выявлено, что по категориям А + В + С₁ запасы золота составляют около 15 т. Распределение золота в отложениях равномерное, среднее его содержание — около 1 г/т. Характерная особенность этих руд Балейского месторождения — преобладание тонкозернистых разновидностей кварца и халцедона. Содержание сульфидов в них составляет 1–1,5 %, доминируют пирит и марказит.

В процессе отработки золоторудных месторождений произошло накопление очень большого количества ртути и других токсичных элементов в отвалах и хвостах ЗИФ. Как правило, золотодобывающие предприятия относятся к числу градообразующих. Техногенные образования, возникающие в процессе золотодобычи, расположены в пределах населенных пунктов или вблизи них (рис. 2), поэтому проблема загрязнения окружающей среды очень актуальна. При изучении хвостохранилищ особое внимание уделяют минералогическому анализу с выделением гипергенных стадий минералообразования. Выделяют следующие этапы трансформации в зоне окисления: сульфиды—сульфаты—карбонаты (оксиды). Минералы сульфатной стадии обладают наибольшей растворимостью и представляют наибольшую опасность для окружающей среды. Хвостохранилища изучаемых месторождений отличаются составом пород и руд, разным временем их образования. Хвостохранилища, заложенные позднее, характеризуются меньшей степенью гипергенных преобразований, которая зависит также от количества и состава сульфидов. Хвостохранилища с повышенными содержаниями сульфидов харак-



Рис. 2. Схема размещения техногенных образований Балейского золоторудного месторождения.

теризуются более высокой кислотностью водных растворов, представляющих собой главные факторы выщелачивания и миграции токсикантов. Большое значение имеет также временной интервал их существования. Процесс перехода сульфидных минералов в окисленные формы занимает 150–200 лет. При изучении хвостов обогатительных фабрик особое внимание уделяется степени однородности, особенностям макро- и микрослоистости в эфельных отложениях.

ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

К основным видам воздействия на окружающую среду относятся: изменение рельефа, загрязнение атмосферы, речного стока, почвенного покрова. Согласно ГОСТ 17.4.1.02-83 [9], по классу опасности химические элементы подразделяются на три класса: I класс — As, Cd, Hg, Pb, Zn; II класс — Co, Ni, Mo, Cu, Sn, Sb, Cr; III класс — Ba, V, W, Mn, Sr.

Потенциальная опасность рудных месторождений определяется разными способами. Один из них предложен коллективом авторов Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья [10]. Учитываются кларки концентраций элементов, а также концентрации токсиканта в рудном месторождении. Оценка потенциальной экологической опасности месторождений производится на основе литотоксичности (Тл) элементов, которые сгруппированы по нескольким классам, в зависимости от токсичности. Потенциальная токсичность месторождений (ГЭр) рассчитывается по сумме концентраций токсичных элементов. При расчете учитываются класс токсичности элементов и фоновые концентрации элементов окружающей среде [10]. Расчет степени экологической опасности рассматриваемых золоторудных месторождений Восточного Забайкалья показал, что наиболее опасны в экологическом отношении сульфидно-кварцевые руды (ГЭр = 779 123) и отвалы ЗИФ (ГЭр = 52 632) Карийского месторождения. Наименьшую опасность в экологическом отношении представляют хвостохранилища ЗИФ Ключевского (ГЭр = 4166) и Илинского (ГЭр = 6617) месторождений (см. таблицу). Это объясняется разными содержаниями сульфидов в рудах. Средние концентрации токсичных элементов в хвостохранилищах на несколько порядков превышают кларковые содержания (см. таблицу).

Рудные тела в золоторудных месторождениях представлены в основном прожилково-вкрапленными и жильными зонами, в которых развиты главным образом золото-кварцевый и золото-сульфидно-кварцевый типы руд. Содержание рудных минералов в золото-кварцевых рудах составляет около 1 %, в золото-сульфидно-кварцевых рудах — до 30 %. В золото-кварц-арсенопиритовых рудах к числу основных рудных минералов относятся арсенопирит и пирит, количество рудных минералов достигает 30 % [12].

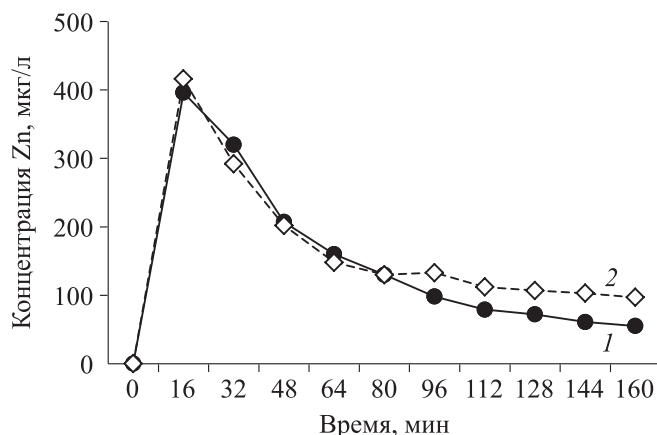
По сравнению с отвалами хвостохранилища представляют особую опасность, потому что накапливаемые отходы в них измельчены. При этом быстрому переходу токсичных элементов в подвижное состояние способствуют благоприятные для растворения минералов физико-химические условия (свободный доступ кислорода и др.).

К числу особо опасных для здоровья людей относится загрязнение окружающей среды ртутью. До 1988 г. ртуть использовалась при амальгамации золотоносного сырья. В поверхностных водах этот металл мигрирует в двух основных фазовых состояниях: в растворе вод (растворенные формы) и в составе взвеси (взвешенные формы). Типичные фоновые уровни валовой ртути (растворенные формы) в природных пресных водах Забайкалья составляют 0,03–0,07 мкг/л [13]. Растворенные формы обладают слабой миграционной способностью за счет их активной сорбции на частицах глинистого и органического происхождения. В водотоках региона фоновые концентрации растворенной ртути составляют 0,005–0,01 мкг/л, в техногенных зонах — 0,005–5,0 мкг/л [14]. Фоновые содержание ртути во взвешенной форме составляют 0,005–0,38 мкг/л, в водах техногенных образований — 0,005–27,8 мкг/л. Повышенные концентрации взвешенной формы ртути, превышающие на три порядка фоновые (321 мкг/кг), установлены в фильтрационном бассейне Балецкого ГОКа [14]. В 2012 г. опробование содержания ртути в интервале 0–20 м в водах озера Тасеевского карьера показало нарастание его концентраций по глубине с 0,01 до 0,03 мкг/л. В водах Балецкого карьера содержание ртути ниже предела обнаружения [14].

Одна из наиболее острых экологических проблем территорий горнодобывающих предприятий — это загрязнение природных вод. Степень загрязнения токсичными элементами дренажных вод техногенных образований, образующихся при эксплуатации месторождений, определяется составом руд и вмещающих пород. В зонах окисления сульфидных руд образуются растворы кислого состава до pH 1–2 и ниже [15]. При наличии в составе руд и вмещающих пород карбонатных образований кислотные

Рис. 3. Зависимость интенсивности выщелачивания цинка сернокислыми растворами золото-содержащих руд Любавинского и Ключевского месторождений от времени воздействия.

Золотоносные руды месторождений: 1 — Ключевского, 2 — Любавинского.



растворы могут нейтрализоваться. По данным Л.В. Заманы [16], для дренажных вод техногенных образований золоторудных месторождений Восточного Забайкалья характерен кислотный дренажный сток. Для дренажных вод Тасеевского месторождения рН 2,89, Дарасунского — 4,9. Концентрации токсичных элементов в пределах месторождений, в зависимости от места отбора, широко варьируют. Так, в пределах Тасеевского месторождения содержания Cd в пробах, отобранных в карьере, хвостохранилище и отстойниках между отвалами, варьируют от 2,0 до 195 мкг/л; Pb — от 1,2 до 321 мкг/л соответственно; Zn — от 0,802 до 6,31 мг/л. В шахтном водоотливе Дарасунского рудника концентрации химических веществ следующие: Cd — 8,5, Pb — 0,1 мкг/л, Zn — 0,144 мг/л, а в подотвальных водах Ключевского золоторудного месторождения содержание Cd составляет 5,1, Pb — 312,0 мкг/л, Zn — 0,98 мг/л [14]. Эти показатели (кроме Zn) значительно превышают ПДК элементов в питьевой воде (Cd — 0,005, Pb — 0,03 мкг/л, Zn — 5,0 мг/л).

Результаты моделирования процессов извлечения элементов из руд Любавинского и Ключевского месторождений в окислительных условиях показали высокую подвижность As, Ca, Fe, Cu, Pb, Zn, в меньших концентрациях — Ni, Co, Cd, Bi, Sb. Для большинства элементов характерны более высокие содержания в начальных стадиях фильтрации с постепенным уменьшением значений и выходом на плато с течением времени (рис. 3). Такая закономерность определяется быстрым протеканием реакций окисления на поверхности зерен в начале фильтрации и постепенным извлечением из более глубоких слоев рудных частиц в конце.

При расчете показателя потенциальной экологической опасности (ГЭр) основными индикаторами токсичности рассмотренных золоторудных месторождений являются элементы пятой группы (As, Sb, Bi), наличие которых характерно для всех отобранных образцов. Миграционная активность этих элементов *in situ* определяется карбонатацией пород, что подтверждается экспериментальными данными. Так, в фильтрационных растворах с рудами месторождения Любовь концентрации Sb значительно выше (в 10^3 раз) нежели с рудами месторождения Ключи, причина чего — высокое содержание карбонатов (в частности, доломита), нейтрализующих кислые дренажные воды. В природных условиях поверхностные воды территории Любавинского рудника характеризуются высокими показателями рН (7–8) и большими концентрациями Sb (в среднем 140 мкг/л), хорошо мигрирующей в таких условиях, и As (в среднем — 210 мкг/л), что соответствует экспериментальным данным (315 мкг/л). В то время как экспериментальное извлечение As из руд месторождения Ключи, где карбонатов мало и кислота расходуется лишь на окисление сульфидов, соответствует 6,97 мг/л.

Значительный переход таких элементов, как As, Ca, Cu, Fe, Pb, Zn, в подвижное состояние обуславливает их участие в образовании гипергенных минералов (таких как скородит, малахит, халькантит, англезит, церуссит, эпсомит, миметизит и пр.), а также включение в них в качестве примесей либо изоморфно замещая основной металл.

Установлено, что состав продуктов окисления минералов в хвостохранилищах определяется гидродинамическими условиями и концентрацией кислорода и ионов трехвалентного железа в растворе. Последовательность окисления сульфидных минералов, исходя из ряда электродных потенциалов, изменяется при переходе раствора серной кислоты к раствору $FeCl_3$. В растворе H_2SO_4 отмечается следующая последовательность окисления минералов: сфалерит → галенит → пентландит → пирротин → пирит; в растворе $FeCl_3$: галенит → пентландит → сфалерит → пирит → халькопирит → пирротин [17, 18].

В Забайкальском крае многие горнорудные предприятия являются градообразующими. Непосредственно в пределах городов и в ближайших их окрестностях расположены горнодобывающие и горнообогатительные предприятия. В результате их деятельности значительную часть территории занимают карьеры, отвалы рудоносных и «пустых» горных пород, хвостохранилища рудоизвлекающих

фабрик. Тем самым в потенциале формируется мощный источник техногенного загрязнения с широкой ассоциацией токсичных химических элементов в отходах горнорудного производства. Естественно, это повсеместно оказывает неблагоприятное воздействие на все жизнеобеспечивающие среды: почвы, воду (как поверхностную, так и подземную), воздух и пищевую растительную и животную продукцию, аккумулирующие токсичные химические элементы. Отсюда неизбежны отрицательные биологические реакции всех живых организмов, включая человека (рост общей и специфической заболеваемости, снижение биологической продуктивности, отдаленные мутагенные последствия и т. д.).

Население в городских поселениях с горнорудными предприятиями, в сравнении с населенными пунктами, не имеющими их, значительно чаще подвержено заболеваниям. Численность жителей в населенных пунктах с ранее функционирующими золотодобывающими предприятиями, по данным Росстата за 2015 г. [19] составляет: г. Бaley — 11 696 чел., пгт Ключевский — 1309, с. Любовь — 691, с. Ара-Иля — 329, пгт Усть-Карск — 1787 чел. Во всех этих населенных пунктах остро стоит проблема состояния здоровья населения. В г. Бaley эта проблема усугубляется присутствием рядом (в 3 км от города) в пос. Новотроицк вскрытых еще в 1980-х гг. россыпей монацитовых песков, которые также были использованы в строительстве многих зданий. Так, например, детский сад «Саранка», дом культуры «Горняк», детская амбулатория и некоторые жилые дома имеют радиоактивный фон внутри здания, доходящий до 300–400 мкР/ч и выше. На данный момент многие из таких домов разрушены, но рекультивация вскрытых песков не проводилась. Экологическая обстановка региона обостряется местными климатическими условиями (лесостепная зона с резко континентальным климатом характеризуется частой ветреной погодой и длительными засушливыми периодами). Монацитовые пески подвержены воздушной миграции, а цианистые растворы в хвостохранилищах золотоизвлекательных фабрик в летний период при интенсивном испарении увеличивают загрязнение атмосферы поселка [20].

В 1994–1996 гг. Восточно-Сибирский научный центр Российской академии медицинских наук (г. Иркутск) проводил работы в г. Бaley силами сотрудников НИИ медицины труда и экологии человека, Института педиатрии и репродукции человека и регионального центра медицинской экологии. Цель исследований заключалась в обосновании территории г. Бaley как зоны экологического неблагополучия [21]. Анализ показал, что уровень заболеваемости жителей города значительно превышает таковой в городах Нерчинск и Чита, где отсутствуют горнодобывающие предприятия. В структуре заболеваемости взрослого населения обращают на себя внимание следующие особенности: 1-й ранг значимости имеет патология органов кровообращения (более 15 %, а в среднем по РФ — 6,8 %); 2-й ранг — болезни органов дыхания, среди которых отмечается склонность к хронизации и рецидивам; часто отмечаются анемия, патология органов слуха и зрения, как врожденная (нейросенсорная потеря слуха, афакция, катаракта), так и возникающая в более поздние сроки. Жители г. Бaley часто страдают тиреотоксикозом, причем не только женщины, для которых это заболевание характерно, но и мужчины. При этом болезнь проявляется в более раннем возрасте (до периода полового созревания). Обращаемость по поводу данного заболевания в несколько раз превышает таковую в соседних районах Забайкальского края.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ И УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Хвостохранилища золоторудных месторождений Восточного Забайкалья представляют собой техногенные месторождения золота и служат источниками токсичных элементов для окружающей среды. По методике расчета экологической опасности месторождений, предложенной ВИМС [10], среди золоторудных месторождений Восточного Забайкалья наибольшую экологическую опасность представляют отвалы ЗИФ (ГЭр = 52 632) Карийского месторождения. Менее опасны отвалы ЗИФ Ключевского (ГЭр = 4166) и Илинского (ГЭр = 6617) месторождений. Это объясняется особенностями состава золотоносных руд, характеризующихся незначительными содержаниями сульфидов. Рациональное использование хвостохранилищ предполагает проведение определенных видов работ.

Необходимы разведочные работы по подсчету запасов золота в хвостохранилищах; изучение минералого-геохимических особенностей их составляющих (минеральный состав, рН, Eh и др.); расчеты использования кучного выщелачивания золота и возможности применения для производства строительных материалов (песок, щебень, гравий, цемент и т. д.). По результатам исследования рекомендуется проведение мероприятий по рекультивации техногенных образований: для снижения кислотности водных составляющих зон техногенеза использование карбонатных образований (известняков) и цеолитов; рекультивация нарушенных земель с высадкой растений; полная отработка хвостов обогати-

тельных фабрик; работы по перехвату и отведению вод, дренирующих отвалы карьеров и хвостохранилищ; рекультивация монацитовая россыпи и разрушенных построек с высоким радиоактивным фоном. Также необходимо проведение мониторинга состояния здоровья населения, проживающего в зонах техногенных загрязнений. В особых случаях должно быть произведено переселение людей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юргенсон Г.А. Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья: История, современное состояние, проблемы, перспективы развития. К 300-летию основания Приказа рудокопных дел. — Новосибирск: Наука, 1999. — 574 с.
2. Харитонов Ю.Ф. Отчет по теме № 256 за 1996–1998 гг. «Создать кадастр техногенных скоплений горнорудных предприятий Читинской области». — Чита: Изд-во Забайк. филиала ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по СФО», 1998. — 202 с.
3. Ерёмин О.В., Эпова Е.С., Юргенсон Г.А., Смирнова О.К. Прогноз геоэкологических последствий разработки месторождения вольфрама Бом-Горхон (Забайкалье) // Химия в интересах устойчивого развития. — 2014. — Т. 22, № 2. — С. 125–131.
4. Птицын А.Б., Маркович Т.И., Павлюкова В.А., Эпова Е.С. Моделирование криогеохимических процессов в зоне окисления сульфидных месторождений с участием кислородных соединений азота // Геохимия. — 2007. — № 7. — С. 795–800.
5. Птицын А.Б. Проблемы освоения техногенных месторождений Забайкалья // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. — 2014. — № 3. — С. 128–130.
6. Gutiérrez M., Mickus K., Camacho L.M. Abandoned Pb-Zn mining wastes and their mobility as proxy to toxicity: A review // Science of the Total Environment. — 2016. — Vol. 565. — P. 392–400.
7. Drahota P., Knappová M., Kindlová H., Culka A., Majzlan J., Mihaljevič M., Rohovec J., Veselovský F., Fridrichová M., Jehlička J. Mobility and attenuation of arsenic in sulfide-rich mining wastes from the Czech Republic // Science of the Total Environment. — 2016. — Vol. 557–558. — P. 192–203.
8. Харитонов Ю.Ф. Расширение сырьевой базы действующих золоторудных предприятий Забайкалья // Недропользование — XXI век. — 2016. — № 1. — С. 43–47.
9. ГОСТ 17.4.1 02-83 «Охрана природы (ССОП). Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения» [Электронный ресурс]. — docs.cntd.ru/document/1200012797 (дата обращения 17.02.2017).
10. 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 (методические рекомендации). — М.: РИЦВИМС, 2001. — 53 с.
11. Краткий справочник по геохимии / Ред. Г.В. Войткевич. — М.: Недра, 1971. — 183 с.
12. Абрамов Б.Н. Особенности распределения элементов-примесей в рудах основных типов мезозойских золоторудных месторождений Восточного Забайкалья // ДАН. — 2014. — Т. 455, № 6. — С. 681–686.
13. Лапердина Т.Г. Определение ртуть в природных водах. — Новосибирск: Наука, 2000. — 222 с.
14. Замана Л.В. Ртуть в поверхностных водах Балей-Тассевского золотопромышленного узла // Зап. Забайк. отд. РГО. — 2012. — Вып. 131. — С. 83–89.
15. Nordstrom D.K. Aqueous pyrite oxidation and the consequent formation of secondary iron minerals // Acid Sulfate Weathering. — 1982. — Vol. 3. — P. 37–39.
16. Замана Л.В. Геохимия кислых дренажных вод золоторудных месторождений Восточного Забайкалья // Вода, химия и экология. — 2013. — № 8. — С. 92–97.
17. Макаров Д.В., Павлов В.В. Исследование электрических свойств сульфидных минералов в кислых средах // Вестн. Моск. техн. ун-та. — 2004. — Т. 7, № 1. — С. 58–63.
18. Donato P. de, Kongolo M., Barres O., Yvon J., Enderle F., Bouquet E., Alnot M., Cases J.M. Chemical surface modifications of sulphide minerals after comminution // Powder Technology. — 1999. — Vol. 105. — P. 141–148.
19. Численность населения Забайкальского края согласно данным Росстата на 01.01.2016 [Электронный ресурс]. — <http://www.statdata.ru/naselenie/zabaikalskogo-kraja> (дата обращения 17.02.2017).
20. Корольков А.Т. Монацитовая проблема города Балей // Изв. Сиб. отд. Секции наук о Земле РАЕН. — 2016. — № 1 (54). — С. 96–103.
21. Тихонова Е.В., Бишарова Г.И. Причины формирования трансформации шитовидной железы у детей дошкольного возраста г. Балей // Бюл. Вост.-Сиб. науч. центра СО РАМН. — 2005. — № 4 (42). — С. 137–138.

Поступила в редакцию 17.03.2017

После доработки 12.05.2017

Принята к публикации 27.12.2018