

9. Чевычелов, А.П. Радиоактивное загрязнение мерзлотных почв ²³⁸U в зоне урановых месторождений Центрального Алдана (Южная Якутия) / А.П. Чевычелов, П.И. Собакин // Современные проблемы загрязнения почв: Матер. II между. научн. конф. — 2007. — Т. 1. — С. 261–264.
10. Чевычелов, А.П. Ландшафтно-климатические и почвенно-геохимические условия миграции естественных радионуклидов в ландшафтах зоны урановых месторождений Центрального Алдана (Южная Якутия) / А.П. Чевычелов, П.И. Собакин, В.Е. Ушницкий // Вестник Том. гос. ун-та. Приложение. — 2003. — Т. 3. — С. 312.
11. Nilsson, J.A. Environmental impacts and health aspects in the mining industry—a comparative study of the mining and extraction of uranium, copper and gold / J.A. Nilsson, J. Randhem, 2008.

© Коллектив авторов, 2019

Павлова Инна Владимировна // pavlovaiv@tpu.ru
Домаренко Виктор Алексеевич // viktor_domarenko@mail.ru
Галактионов Вячеслав Анатольевич // pavlovaiv@tpu
Журавлев Валерий Георгиевич // pavlovaiv@tpu

УДК622.85:504.064.2

Целюк Д.И.¹, Целюк И.Н.² (1 — ГПКК «Красноярский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья», 2 — АО «Росгеология», АО «Сибирское ПГО»)

ТЕХНОГЕННОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ЗОЛОТОРУДНОГО КОМПЛЕКСА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

*Раскрыты причины накопления ртути в техногенных хвостах золотодобывающей промышленности с дореволюционного времени до современного промышленного периода. Установлено, что в хвостохранилищах, характеризующихся длительным периодом эксплуатации, может быть сконцентрировано до 100 т техногенной ртути. Изучены формы нахождения металла в техногенных минеральных образованиях, проведен анализ миграционных свойств ртути, прослежены механизмы загрязнения поверхностных водотоков. Дана оценка потенциальной опасности техногенного загрязнения ртутью районов традиционной золотодобычи. Для предотвращения негативных экологических последствий в регионе предлагается природоохранным органам провести инвентаризацию ртутьсодержащих хвостохранилищ и внести коррективы в исполнение нормативных процедур по выдаче природопользователям разрешительной документации на обращение с отходами производства. **Ключевые слова:** горнопромышленные отходы, вещественные состав, ртуть, загрязнение окружающей среды.*

Tselyuk D.I.¹, Tselyuk I.N.² (1 — Krasnoyarsk Research Institute of Geology and Mineral Resources, 2 — Rosgeologia, Siberian Production Geological Association)

TECHNOGENIC ENVIRONMENTAL HERITAGE GOLD MINING INDUSTRY OF EASTERN SIBERIA

In article the reasons of accumulation of mercury in technogenic tails of gold mining since the end of the nineteenth century to the modern industrial period are opened. It is estab-

*lished that the long period of operation of tailings dams, can lead up to 100 tons of technogenic mercury to accumulation. Forms of finding of metal in technogenic mineral educations are studied, the analysis of migration properties of mercury is carried out, mechanisms of pollution of superficial water currents are tracked. An assessment of potential danger of technogenic pollution is given by mercury of areas of traditional gold mining. For prevention of negative environmental impacts in the region it is offered to nature protection bodies to carry out inventory of the tailings dams containing mercury and to introduce amendments in the procedure of obtaining permission to users of nature on placement of production wastes. **Keywords:** mining waste, material structure, mercury, environmental pollution.*

Более чем за столетний период освоения рудных месторождений золота в Восточной Сибири в отвалах и промышленных накопителях размещено более 60 млн т хвостов обогащения золотосодержащих руд. В этих отходах, наряду с утерянным золотом, присутствуют сопутствующие компоненты, появление которых связано с применяемыми методами извлечения благородного металла.

На протяжении всей эпохи развития золотодобывающей промышленности в России выделяются три крупных периода [10]. Первый период (от дореволюционной России до 1935 г.) характеризуется широким применением метода амальгамации от кустарной мускульной добычи золота до создания механизированной базы золотоизвлекающих фабрик (ЗИФ). Во второй период (с 1935 до 1988 г.) используются комплексные схемы, включающие гравитацию, амальгамацию, цианирование. В третий период (с 1989 г. до настоящего времени) при добыче золота резко сокращается цианирование, запрещено применение ртути, в большей мере используются флотация и другие методы ионообменных технологий.

Как видим, метод амальгамации золота, основанный на избирательном смачивании ртутью частиц самородного металла, длительное время был обязательным звеном в технологических схемах обогащения золотосодержащих руд в нашей стране. Причем повсеместное использование ртути при создании механизированной базы извлекающих фабрик, по сравнению с предшествующим мускульным способом, существенно повысило уровень извлечения благородного металла из рудного сырья — от 30 до 60 %. Успешное применение метода амальгамации также способствовало росту золотоизвлекающих фабрик в нашей стране. Так, только за семь лет, с 1927 по 1934 г. их число увеличилось от 44 до 82 единиц [2].

Однако применение этого метода сопровождалось рядом ощутимых издержек. Значительный рост добычи золота сопровождался существенными потерями ртути. Так, по данным современника периода активного применения метода амальгамации М.Д. Ивановского [3] «На большинстве наших фабрик расход ртути чрезвычайно велик и является следствием сноса ее из чаш, а также небрежного ее расходования. Часто на

фабриках можно видеть во всех углах разлитые капельки ртути. При заливе в чашу всегда теряют ртуть». По данным Главзолота [3] потери ртути на фабриках за 1935 г. достигали до 35 г/т перерабатываемой руды, в среднем — 12-14 г/т. Близкие показатели потери ртути отмечает и А.П. Серебровский. На золотоизвлекающих фабриках Минусинской, Бaleyской, Центральной они составляли от 6 до 10 г/т [8].

По количественным показателям технологические потери ртути сопоставимы с содержанием золота в промышленных типах руд, перерабатываемых в тот период на ЗИФ, т.е. ее расход при амальгамировании сырья составлял примерно 1 кг ртути на 1 кг добытого золота. В более поздние периоды потери ртути также

были значительные. В Амурской области по данным годовых отчетов Токурского рудника за период с 1968 по 1974 г. переработка 1 т руды сопровождалась потерями 1 г ртути [6]. Архивные данные по некоторым золотодобывающим фабрикам Дальнего Востока показывают, что потери ртути в 1960-1970-х годах составляли от 0,5 до 1 т на 1 т добытого благородного металла [3, 9]. Даже в начале 1980-х годов при существенном сокращении роли амальгамирования и расцвета новых комплексных технологий добычи золота, потери ртути доходили до соотношения 1:4. Так, например, на ПО «Забайкалзолото» в 1980-х годах выполнение технологической ртути для годовой добычи 8 т золота составляло 2 т [4].

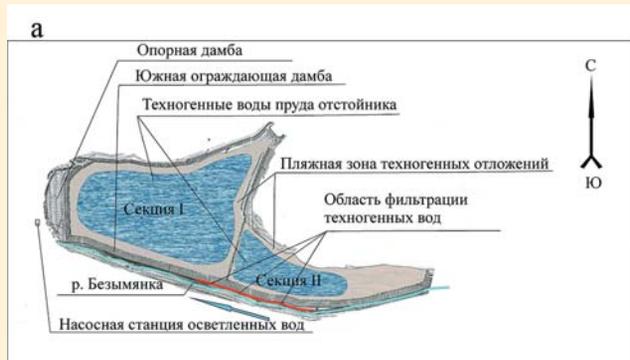


Рис. 1. Хвостохранилище Советской ЗИФ: а — схема строения хвостохранилища; б — общий вид секции № 1; в — общий вид секции № 2; г — опорная дамба (1) и насосная станция осветленных вод (2); д — сброс пульпы в районе разделительной дамбы в секцию № 1

Согласно применяемым в нашей стране перерабатывающим технологиям, отходы добычи золота размещались на прилегающих к ЗИФ площадях. В ранние периоды хвосты обычно складировались в естественные углубления рельефа либо в долины водотоков, которые перекрывались поперечными плотинами. Объемы накопленных отвалов целиком зависели от продолжительности работы фабрик и количества переработанной ими рудной массы. Вблизи малопроизводительных фабрик к настоящему времени хвосты производства сохранились в виде сливных полей, покрывающих маломощным (0,5–1,5 м) чехлом естественные углубления рельефа местности. Отвальные площадки складирования отходов добычи золота на крупных и длительно функционирующих производствах впоследствии преобразовались в объемные хвостохранилища. Исходя из приведенных выше показателей потерь ртути при добыче золота в лежалых хвостах, осуществлялось ее накопление в виде тонкодисперсной амальгамы и жидкой металлической фазы.

В связи с тем, что изоляция хвостохранилищ в отношении окружающей среды, особенно в начальные периоды эксплуатации, была весьма несовершенна, воздействие их на различные природные компоненты было весьма существенно. В первую очередь это касается речных водотоков, донных отложений и водного биоценоза. Современники периода активного использования метода амальгамирования указывают на плохую систему хранения отвальных хвостов. Так, А.П. Серебровский отмечает «Слабым местом для большей части наших золотых комбинатов является недопустимо скверное хранение отвалов, идущих после амальгамации руды в так называемые разрезы или прудки. Такой способ никуда не годится и фабрики по обработке руд, расположенные на берегу озер и прудов, а также на склоне рек теряют значительное количество металла в виде илов, уходящих с речной водой или переливающихся через борта запруды» [8]. В настоящее время экологические проблемы, создаваемые хвостохранилищами, продолжают существовать. Наглядный пример негативного воздействия на природные водотоки объемных хвостохранилищ запрудного типа представляет хвостохранилище Советской

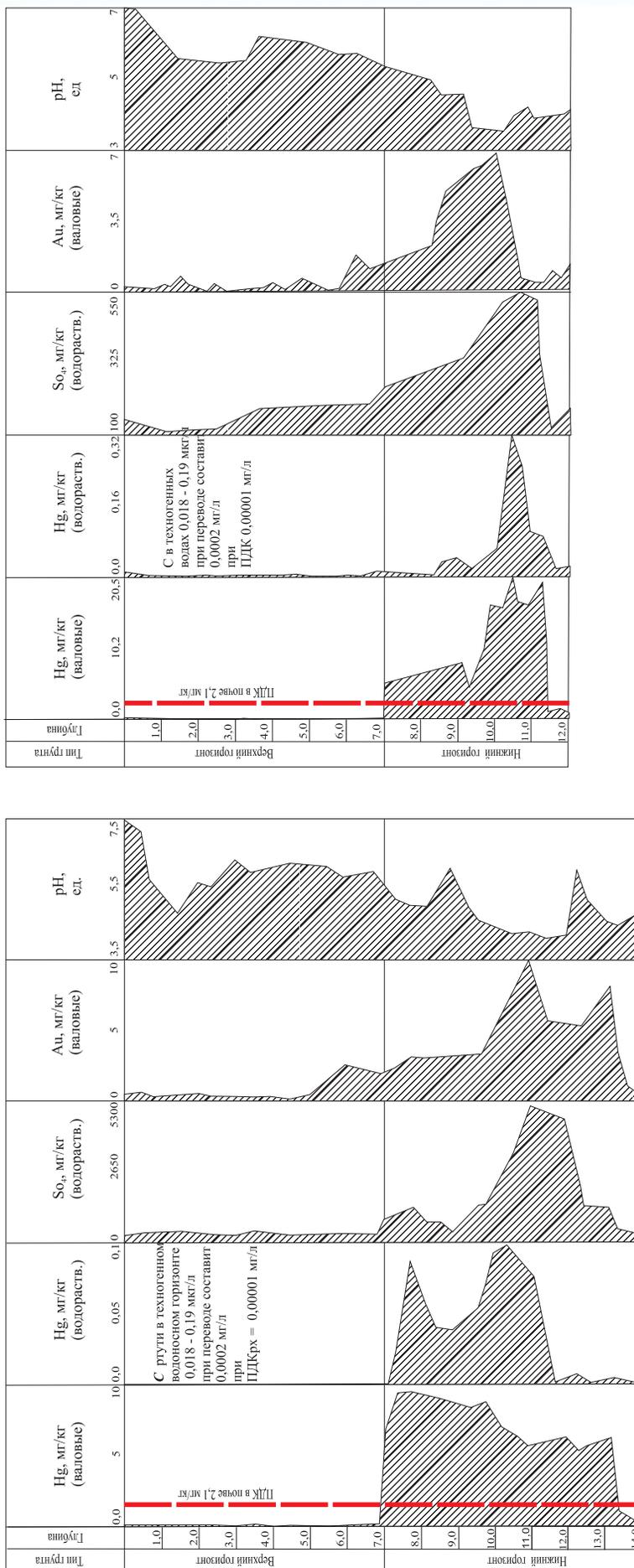


Рис. 2. Химический состав техногенных хвостов Советской ЗИФ

ЗИФ, а маломощного покровного типа площадка отвалных хвостов Богунаевской ЗИФ.

Хвостохранилище Советской ЗИФ расположено в Северо-Енисейском районе Красноярского края, в окрестностях пгт. Северо-Енисейский, в 1,7 км от промплощадки в долине р. Безымянка (рис. 1а). За столетний период эксплуатации фабрики в пределах полигона уложено более 11 млн м³ хвостов. Лежалые хвосты сформированы в результате переработки золото-кварцевых руд месторождений Советское и Эльдorado. Занимаемая ложем хвостохранилища площадь составляет 0,4 млн м², максимальная высота 40,5 м, длина 2500 м (рис. 1б). В процессе заполнения хвостохранилище подвергалось реконструкции путем неоднократного наращивания высоты ограждающей дамбы (рис. 1в). Перегораживающая долину русла опорная ограждающая дамба имеет ширину по гребню 8 м, максимальную высоту 40,5 м и длину по гребню 415 м. Разделительная дамба делит хвостохранилище на 2 отсека. Площадь ложи первого составляет 0,275 млн м², второго — 0,125 млн м². Площадь пруда осветленных вод зависит от условий технологического режима и изменяется от 0,26 до 0,3 млн м².

Отвод поверхностного стока р. Безымянка за пределы хвостохранилища осуществляется с помощью руслоотводного канала, расположенного за южным контуром промнакопителя и имеющего ширину по дну 3 м, заложение бортов 1:1, наполнение 1,4 м. Вдоль канала со стороны хвостохранилища построена южная ограждающая дамба высотой от 3 до 5 м.

Хвосты представляют собой песчано-пылеватые отложения. Техногенные осадки относятся к кремнистому типу и характеризуются сульфидным кварцево-слюдисто-хлоритовым минеральным составом. Массив лежалых хвостов в накопителе неоднороден. Зональное строение обусловлено процессами вторичного преобразования вещества, слагающего техногенные осадки. Механизмы развития техногенеза обусловлены взаимодействием осадочных толщ и водных растворов. Установлено, что в основе этих процессов выступает способность техногенных вод оказывать с одной стороны деструктивное воздействие на осадкообразующие минералы и минеральные комплексы, с другой — переводить в растворенное состояние целый ряд элементов, находящихся в составе минеральных зерен [11].

Наиболее четко это явление выражено в нижних горизонтах техногенного массива, где в условиях застойного водообмена происходит постоянное взаимодействие техногенных вод с веществом осадочных толщ. Здесь проявлена заметная трансформация техногенных осадков, особенно сульфидов, с широким развитием вторичных минералов группы замещения, а также новообразованных сульфатов, сульфоарсенатов, тонкокристаллических и коллоидных гидроксидов железа. Изменение химического состава техногенных вод проявляется в существенном повышении сульфатного и солевого показателя. Значения рН уменьшаются до 2,8 ед., что свидетельствует о кислом состоянии водной фазы.

В разрезе техногенного осадочного массива золото распределено неравномерно. В верхнем горизонте его концентрации редко превышают 0,4 г/т, а в нижнем они существенно возрастают. Устойчивые концентрации от 1,2 до 7,5 г/т определяют границы продуктивного пласта, мощность которого достигает 7,0 м. При этом фиксируются отдельные аномальные пробы с содержанием металла до 18,8 г/т. Распределение валовых содержаний ртути в лежалых хвостах тесно коррелируется



Рис. 3. Выход фильтрата кислых железисто-сульфатных техногенных вод из хвостохранилища Советской ЗИФ

с золотом. Если в верхнем горизонте ртуть практически отсутствует, то с глубины 7 м ее концентрации довольно существенны — от 4 до 22 мг/кг (г/т) (рис. 2).

В хвостохранилище отмечается четкая сопряженность максимальных концентраций растворимых форм ртути с границами залегания обводненных отложений. Наличие постоянно действующего напора техногенных вод создает долговременные стабильные условия их взаимодействия с сульфидсодержащими техногенными осадками. Процессы гидролиза сопровождаются высвобождением из минеральных комплексов в поровые растворы химических элементов и соединений, способных активно влиять на состав водной фазы, и при этом увеличивать в ней содержание ртути. В частности, об этом свидетельствует высокая положительная корреляционная зависимость между парами $SO_4 - Hg$ и $pH - Hg$. Полученные химические характеристики развития техногенеза хорошо согласуются с результатами лабораторных экспериментов [7],

которые показывают, что наличие в воде сульфатов железа даже в течение 1 суток может привести к росту содержания металлической ртути в воде от 0,0004 до 0,008 %, а кислый состав вод способствует ее миграционной активности.

Проведенные авторами исследования дают возможность в первом приближении определить ресурсный потенциал сосредоточенной в хвостохранилище техногенной металлической ртути. Вместимость накопителя хвостов составляет 11,78 млн m^3 [5]. В общем объеме хвостохранилища хвосты амальгамации залегают ниже 6–7 м от поверхности и составляют 60 %. Объемный вес рудной массы 1,9 t/m^3 при средней влажности 19,0 %. Среднее содержание ртути в продуктивной толще 7 г/т. В результате пересчетов можно ожидать, что в массиве техногенных хвостов находится около 94 т ртути. Помимо приведенного выше метода оценки следует отметить, что за период эксплуатации рудника с 1908 по 2017 г. было добыто около 120 т золота. При этом переработка руды с помощью ртутной амальгамации, длившаяся до середины 1970-х годов дала порядка 80 т золота. Соответственно поте-

ри ртути составили 1,17:1, что в целом сопоставимо с ее потерями в периоды успешного применения метода амальгамации для добычи золота в нашей стране.

В настоящее время загрязнение водотоков за счет механического поступления ртутьсодержащих отходов из хвостохранилища возможно только в результате аварийного разрушения части дамбы. Вместе с тем, продолжительная фильтрация ртутьсодержащих техногенных вод из накопителей может вызвать ощутимые негативные последствия для природной среды. В современный период эксплуатации гидротехнических сооружений фильтрационные утечки техногенных вод за пределы промнакопителей далеко не редкость. Дальность перемещения водорастворимой ртути, как и других токсичных ингредиентов, речным водным потоком в значительной мере контролируется закономерностями соосаждения их с коллекторами.

Для оценки уровня накопления загрязняющих веществ в водотоке достаточно эффективным является

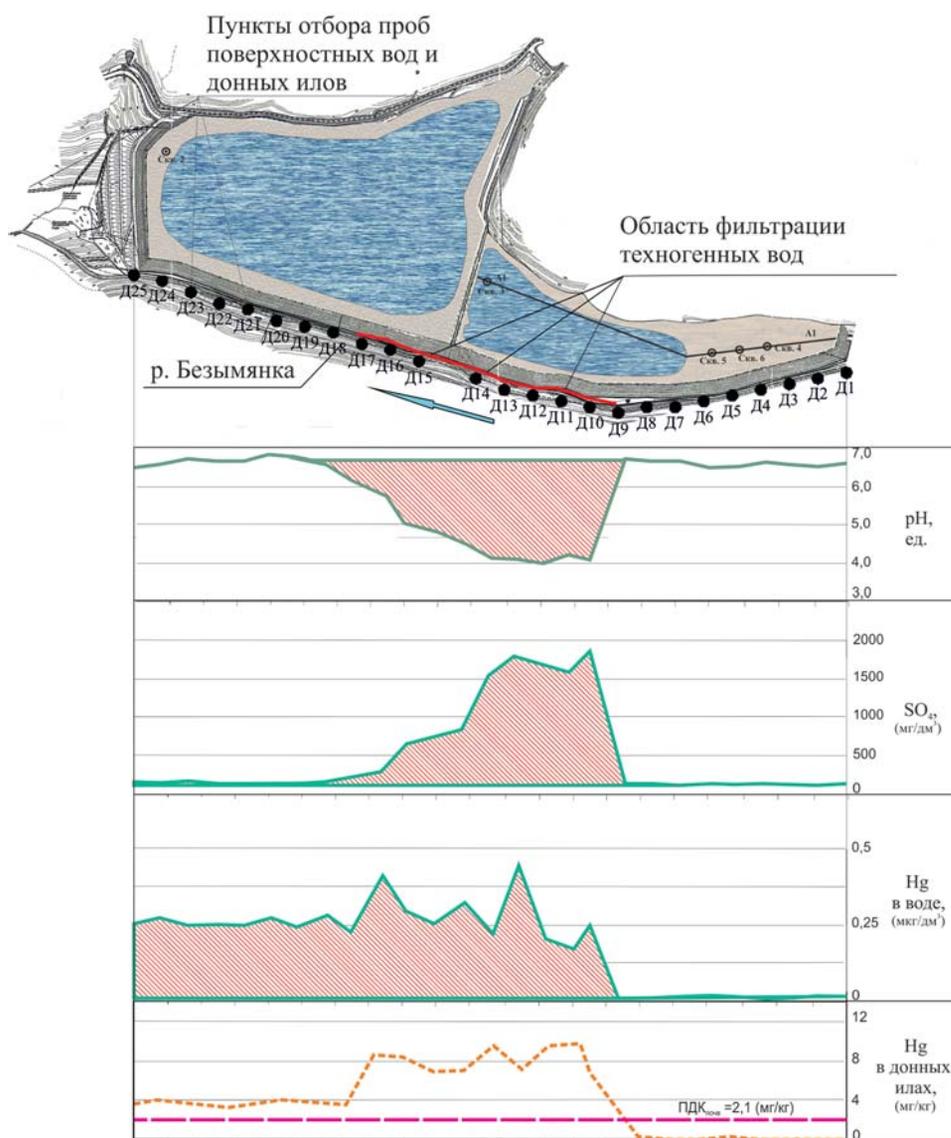


Рис. 4. Распределение содержаний pH, SO_4 , Hg в поверхностных водах и донных илах р. Безымянка

применение стандартных методик, в основе которых лежат сопоставления содержаний химических элементов в наблюдательных и фоновых пунктах. В качестве примера можно привести результаты выполненной нами оценки воздействия техногенного фильтрата на р. Безымянка в зоне его высачивания из подошвы центральной части южной ограждающей дамбы хвостохранилища (рис. 3).

Анионный состав ртутьсодержащего фильтрата характеризуется высоким содержанием сульфат-иона до 2610 мг/л и кислым показателем pH 3,1 ед. Кроме этого, он насыщен катиогенными элементами халькофильной группы — продуктами распада и растворения сульфидных минералов.

Отбор гидрохимических проб из вод р. Безымянка выполнялся по пунктам наблюдения, расположенным по направлению движения водотока на расстоянии 50 м друг от друга вдоль южной ограждающей дамбы. В каждом пункте наблюдения параллельно отбирались пробы из донных иловых отложений. Фоновые пункты наблюдения располагались в 350 м выше по потоку от хвостохранилища. Схема расположения точек отбора проб приведена на рис. 4.

Установлено, что природные воды реки выше зоны высачивания техногенного фильтрата между пунктами Д-1 и Д-13 и в районе фоновых пунктов наблюдения характеризуются нейтральной средой с показателем pH 6,5 ед. Воды пресные и имеют гидрокарбонатный, кальциево-магниевый состав. Содержание ртути не превышает установленных ПДК. На участке реки в зоне воздействия фильтрата между пунктами наблюдения Д-14 и Д-21, расположенными напротив выхода фильтрационных вод из хвостохранилища, отмечается заметное изменение химического состава природной воды. Показатель pH опускается до значений 4–5 ед., количество сульфатов увеличивается до 1853 мг/л, а содержания ртути существенно превышают ПДК в 43 раза. Кроме ртути растут содержания элементов халькофильной группы, железа и мышьяка, принесенные профильтровавшимся техногенным потоком. Концентрация элементов достигает, в мг/л: железа 40, мышьяка 1,87, никеля 1,61, кобальта 1,18, меди 0,34, цинка, кадмия 0,0072. Следует особо отметить, что по своему содержанию железо превышает фоновые значения до 200 раз, а остальные элементы от 3 до 13 раз. Ниже по потоку речных вод концентрации всех элементов, включая ртуть, постепенно снижаются (рис. 4).

В донных илах, в зоне высачивания фильтрата в р. Безымянка, фиксируется рост содержания ртути до 10,5 мг/кг,

мышьяка до 0,55 мг/кг и железа до 5,3 %. Накопление указанных элементов обусловлено формированием встречного геохимического барьера в области разгрузки кислого фильтрата в нейтральные воды природного водотока, на рубеже которого обильно выпадают аморфные и скрытокристаллические фазы гидроксидов железа, и в значительно меньшей мере гипс, барит. Визуально зона вторичного минералообразования проявляется в виде рыжей взвеси, концентрирующейся вдоль уреза водного потока реки. В ходе выполнения энергодисперсионного микроанализа установлено, что в составе практически всех вторичных новообразованных минеральных фаз происходит накопление ртути (рис. 5–6).

Растительность в водотоке также содействует формированию новообразованных минеральных фаз. Высокая концентрирующая способность водных растений адсорбировать железо довольно эффективно проявляется в плавающих видах. Особенно это касается тины и других нитчатых водорослей, которые зачастую полностью покрываются новообразованными выделениями вторичных железистых минералов. На осушенных участках береговой линии можно видеть, как на них отвердевшие железистые образования создают своеобразные дендритовидные, розеточные и сетчатые формы, сложенные оолитовыми агрегатами. Срастаясь

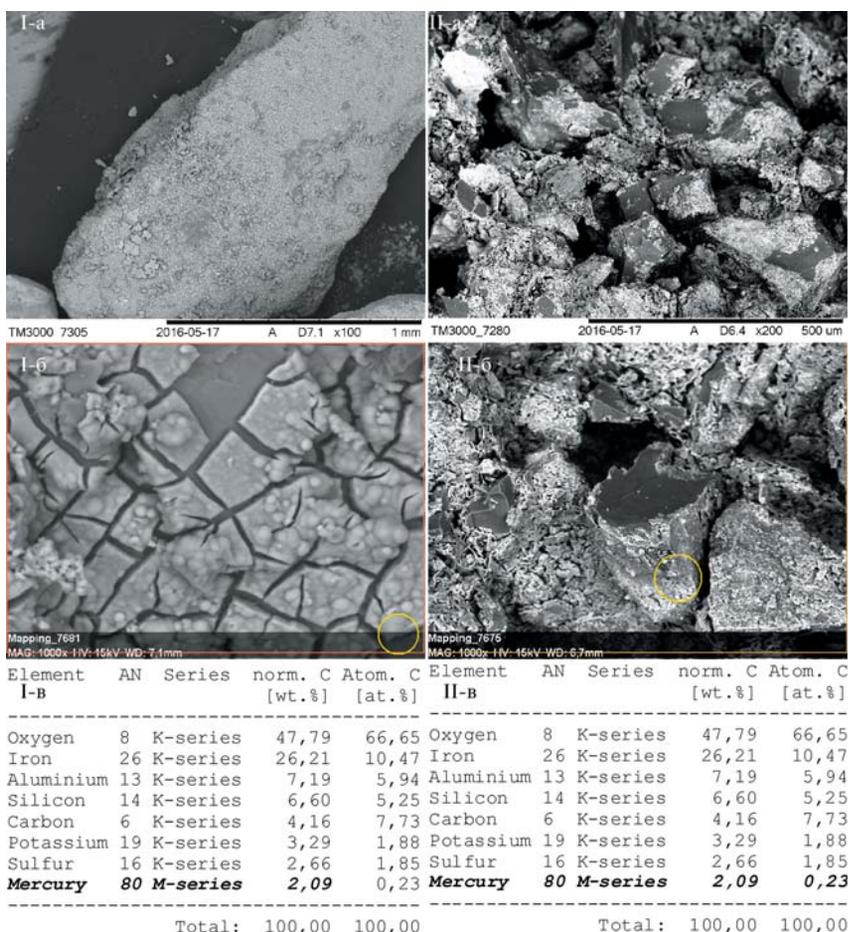
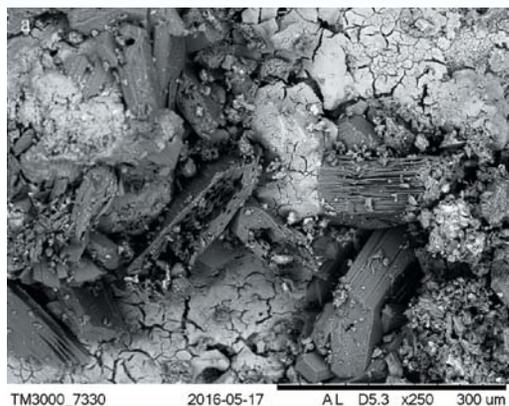


Рис. 5. Вторичные аморфные (I) и микрокристаллические (II) минеральные фазы железа, покрывающие обломочный материал на урезе воды р. Безымянка (а, б) и их энергодисперсионный спектр (в)



Element	AN	Series	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]
B				
Oxygen	8	K-series	61,01	79,79
Calcium	20	K-series	17,24	9,00
Sulfur	16	K-series	13,35	8,71
Iron	26	K-series	5,98	2,24
Mercury	80	M-series	2,42	0,25
Total:			100,00	100,00

Рис. 6. Вторичные новообразованные формы кристаллического гипса (а, б) и их энергодисперсионный спектр (в)

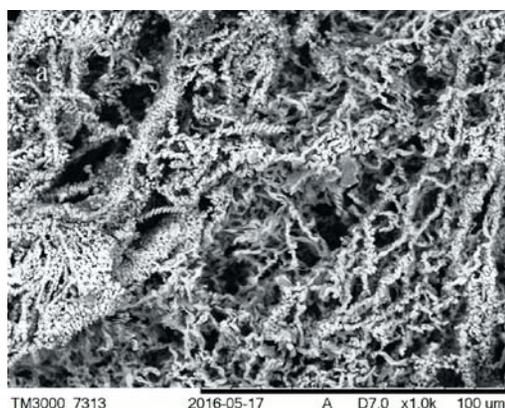
друг с другом, оолиты образуют вытянутые, различно направленные и причудливо изогнутые, местами переплетенные нитевидные образования (рис. 7). Изучение их химического состава энергодисперсионным микроанализом показало, что наряду с железом в их состав входят мышьяк, сера и ртуть.

Ниже по течению реки в донных илах присутствие ртути последовательно уменьшается. В отличие от речных вод превышение ее концентраций в два раза относительно нормативов ПДК все же сохраняется и за контурами хвостохранилища. По-видимому, на формирование таких протяженных техногенных потоков рассеяния ртути огромную роль оказывают тонкие взвешенные формы новообразованных ртутьсодержащих минеральных фаз, которые способны перемещаться речным потоком на значительные расстояния.

Хвостохранилище Богуневской ЗИФ расположено в Рыбинском районе Красноярского края, в 30 км от райцентра г. Заозерный на береговой полосе р. Богунай, рядом с промплощадкой бывшей фабрики. Горнопромышленные хвосты сформированы в результате

отработки золотокварцевых руд Богуневского месторождения в 1936–1951 гг. За весь период использовано около 360 тыс. т руды, из которой добыто 3 т золота. В начальный период разработки месторождения с 1936 по 1940 г. руду отправляли на уральские заводы цветных металлов. Всего было вывезено 43 тыс. т рудного сырья, из которого получено 760 кг золота. С 1941 г. введена в эксплуатацию фабрика законченного цикла обработки руды, включая амальгамацию и флотационное цианирование.

Техногенные хвосты характеризуются сульфидным кварц-хлорит-серицитовым минеральным составом, размещены вблизи фабричной промплощадки. Особенности строения и залегания техногенного массива изучены ООО «Ангарская производственная компания» при проведении оценочных работ на его золотоносность. Установлено, что горнопромышленные от-



Element	AN	Series	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]
B				
Oxygen	8	K-series	43,04	63,81
Iron	26	K-series	34,11	14,49
Arsenic	33	L-series	10,87	3,44
Carbon	6	K-series	7,64	15,08
Silicon	14	K-series	1,46	1,24
Aluminium	13	K-series	1,46	1,28
Sulfur	16	K-series	0,68	0,51
Mercury	80	M-series	0,62	0,07
Potassium	19	K-series	0,12	0,07
Total:			100,00	100,00

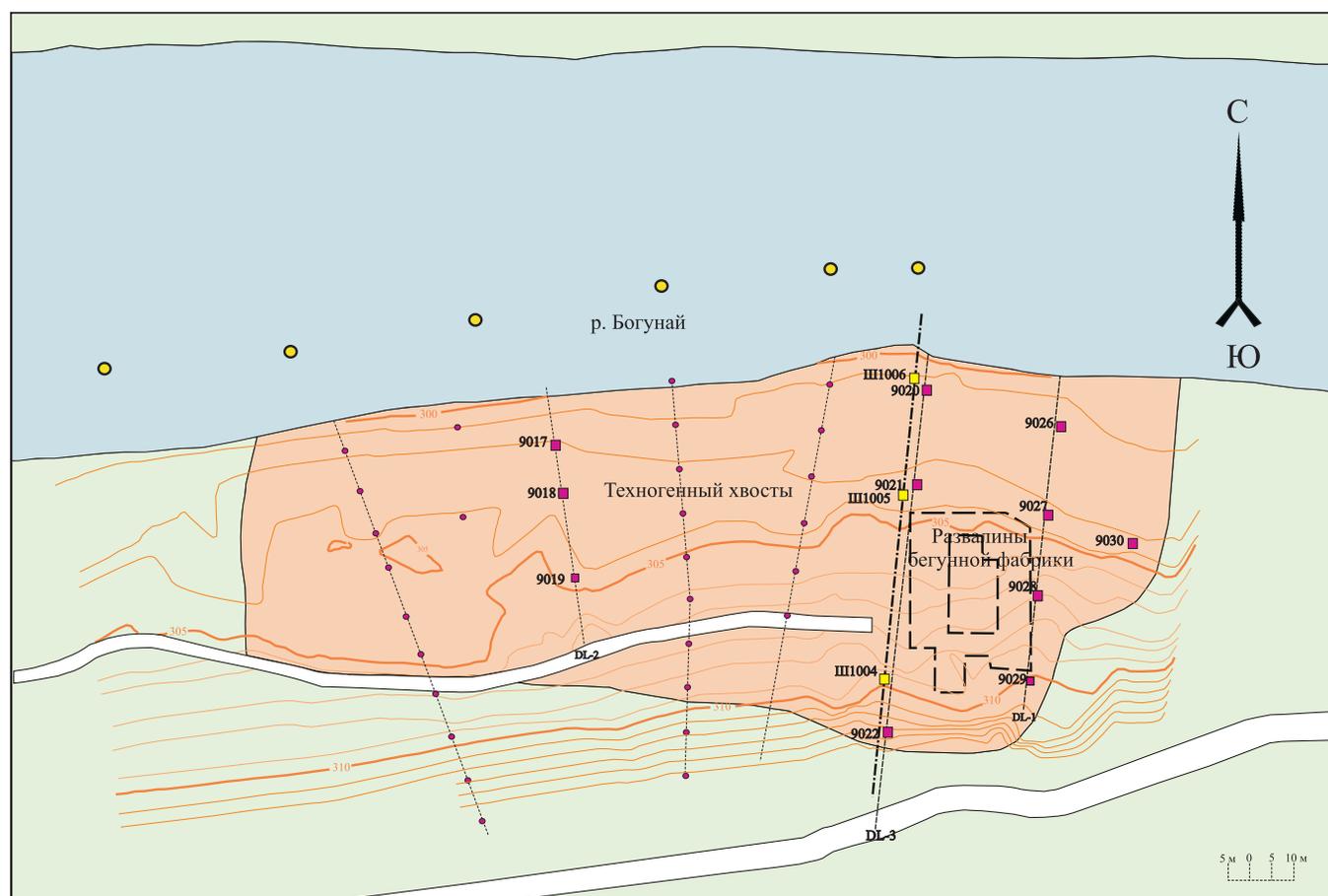
Рис. 7. Переплетенные нитевидные агрегаты вторичных новообразованных оолитовых минеральных фаз гидроксидов железа, адсорбированных по нитчатому водородсодержанию (а, б) и их энергодисперсионный спектр (в)

ходы покрывают пойму р. Богунай маломощным (0,3–1,4 м) чехлом, простираясь вдоль берегового уреза реки на 300 м. В ширину прослежены до 200 м. С поверхности техногенные хвосты перекрыты почвенно-растительным слоем, однако вблизи уреза воды в зоне воздействия подтопления сезонными паводковыми водами р. Богунай выходят на дневную поверхность. На некоторых участках техногенная залежь прослежена под русловыми водами реки (рис. 8). Ресурсный потенциал золота при содержании в 4 г/т по разным оценкам составляет от 200 до 400 кг.

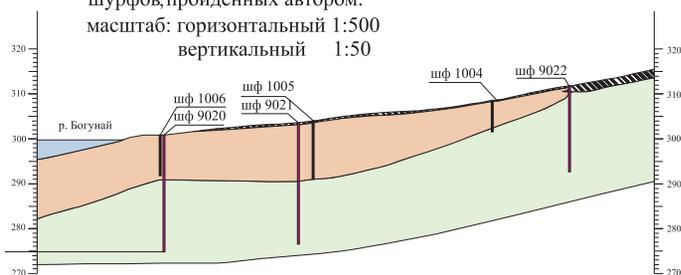
Авторами изучение распределения ртути в лежалых хвостах проводилось по трем шурфам, пройденным вкрест простираения техногенного массива. Установлено, что ртуть тесно ассоциируется с золотом. Ее валовые содержания изменяются от 3 до 9 мг/кг. Однако в

забое шурфов, вблизи зоны контакта техногенных хвостов и подстилающих их природных грунтов, часто встречаются шарики металлической ртути диаметром от 0,3 до 0,6 см. По-видимому, фактическое среднее содержание ее значительно выше.

Ресурсный потенциал техногенной металлической ртути можно оценить исходя из пространственных контуров техногенной залежи, средней мощности ртутьсодержащей толщи, объемного веса рудной массы 1,9 т/м³ и среднего содержания ртути в 6 мг/кг. Результаты расчетов показывают, что в хвостохранилище размещено около 68 т хвостов. Количество ртути, сосредоточенной в хвостах, оценивается в 400 кг. По сопоставлению с объемом добытого золота ее потери оцениваются как 1:5, что отражает общие тенденции использования метода амальгамации в 1940–1950-е годы.



Разрез по разведочной линии DL-3 с привязкой шурфов, пройденных автором. масштаб: горизонтальный 1:500 вертикальный 1:50



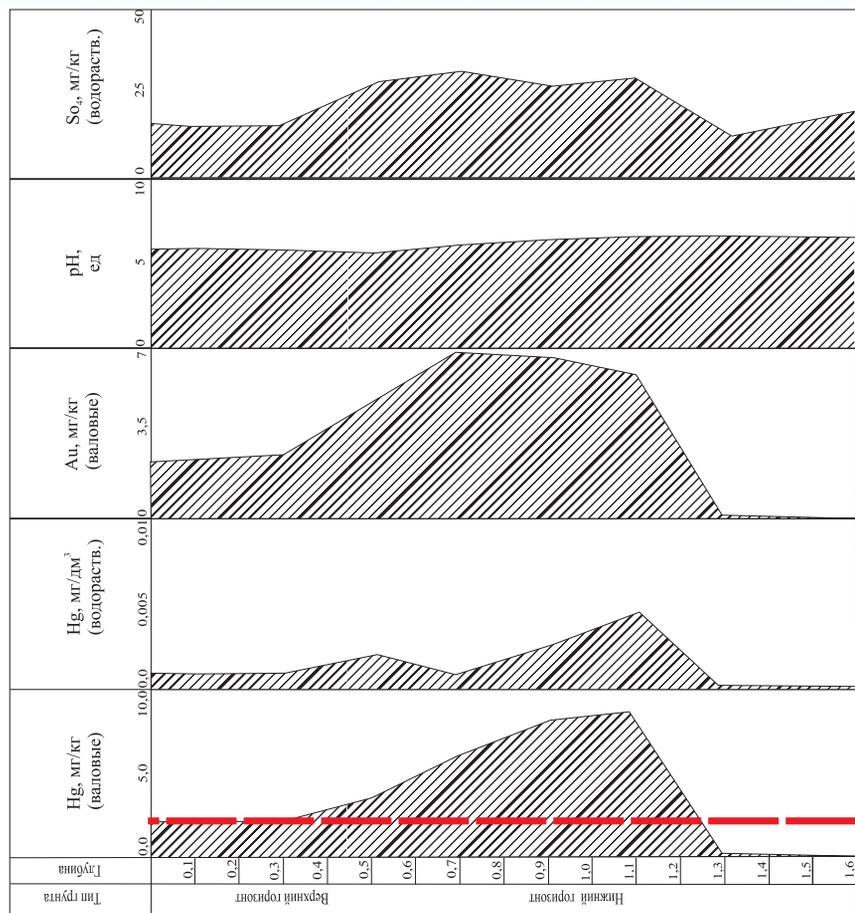
Условные обозначения

- — Линии поисковых работ (2008 г.)
- — Линии разведочных работ (2009 г.)
- — Место положения исследовательских шурфов, пройденных авторами
- — Места отбора донных илов

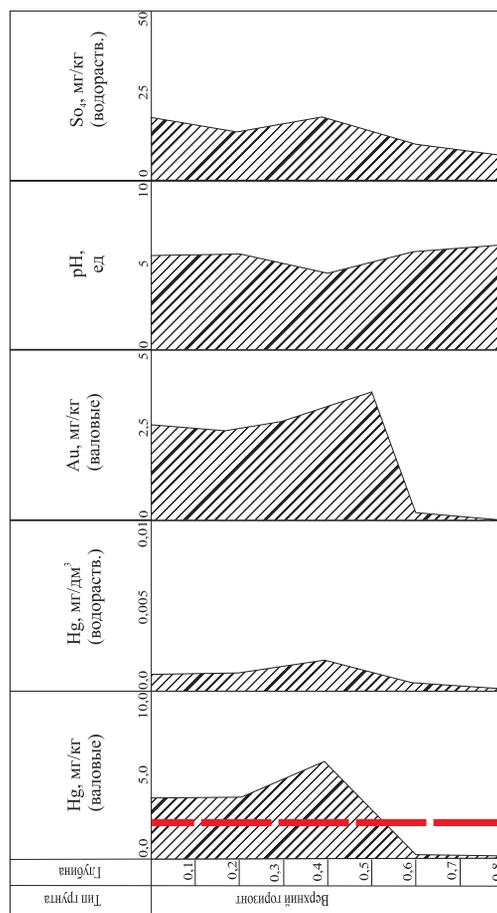
Рис. 8. Ситуационный план залегающих хвостов Богунаевской ЗИФ на береговой полосе р. Богунай и разрез по разведочной линии DL-3. (Составлен по материалам ООО «Ангарская производственная компания»)

Поровые растворы ртутьсодержащих хвостов характеризуются слабокислой и субнейтральной средой, показатель pH изменяется от 5,5 до 6,0. Содержание сульфат-иона редко превышает 30 мг/кг. Отмеченные параметры поровых растворов свидетельствуют о том, что протекающие в толще хвостов процессы гипергенеза, хотя и сопровождаются окислением сульфидов, но не оказывают существенного влияния на фазовое состояние металлической ртути. Содержания ее водорастворимых форм в хвостах чрезвычайно малы и не превышают 0,0045 мг/л. Не проявляются также и корреляционные связи между валовой ртутью, водорастворимой ртутью, сульфат-ионом и показателем pH (рис. 9).

В настоящее время загрязнение р. Богунай происходит главным образом за счет механического перемещения ртутьсодержащих хвостов из техногенного массива в природный водоток. Наиболее интенсивно этот процесс проявляется в периоды половодья и паводков, когда водный поток реки характеризуется преимущественно разрушительной деятельностью и существенно вторгается в занятую ртутьсодержащими хвостами пойменную часть долины. Металлическая ртуть, поступающая в реку вместе с техногенной взвесью, достаточно быстро выводится из водного потока в результате гидравлического осаждения в донные илы. Во всех иловых пробах, взятых из речного русла вдоль границы техногенного массива, установлено наличие шариков металлической ртути. Вместе с тем, лабораторный анализ донных илов показывает ее умеренное содержание 10 мг/кг, а водорастворимые значения ртути в водотоке практически не превышают фоновые. Приведенные выше примеры негативного воздействия ртутьсодержащих объектов на природную среду свидетельствуют о наличии в регионе серьезной экологической проблемы. На наш взгляд сложив-



Шурф 1005



Шурф 1004

Рис. 9. Химический состав техногенных хвостов Богунавской ЗИФ

шаяся ситуация объясняется наличием целого ряда объективных и субъективных причин.

На сегодняшний день в Российской Федерации разработана нормативно-правовая база по обращению с ртутьсодержащими отходами. Она регулирует взаимоотношения государства с предприятиями и организациями, использующими в своей технологической деятельности ртуть, ртутьсодержащие лампы, приборы и аппаратуру, а также образующие в результате производственного цикла ртутьсодержащие отходы. Что касается недропользования, то начиная с 1989 г. в технологии добычи золота ртуть не применяется. В этой связи золотопромышленники не видят необходимости вести документацию по учету, хранению и перемещению ртутьсодержащих хвостов ЗИФ. По этой же причине в системе производственного экологического контроля ртуть, как ингредиент наблюдения, также отсутствует. Вместе с тем, в настоящее время недропользователи в большинстве случаев горнопромышленные хвосты размещают в виде пульпы на хвостохранилищах, в пределах которых ранее были захоронены ртутьсодержащие отходы. В частности, хвостохранилище Советской ЗИФ яркий тому пример.

Правовым документом, позволяющим использовать существующие хвостохранилища для размещения хвостов переработанной руды, является разрешение на размещение отходов, выдаваемое природопользователю государственным органом Росприроднадзора. В соответствии с существующими требованиями [1, ст. 5.5] предприятия обязаны предоставить информацию о состоянии хвостохранилища, составе размещенных в нем отходов [1, прил. 10] и результатов оценки его воздействия на природную среду [1, прил. 5, п. 7]. Кроме того, в соответствии с п. 6.2, п. 6.4 и п. 6.6 [1] пользователи хвостохранилищ должны осуществлять ряд действий, связанных с оценкой экологической безопасности работы накопителей хвостов на стадии их эксплуатации. Кроме этого, следует производить анализ информации о процессах, происходящих в местах размещения отходов. Полученную при эксплуатации полигонов информацию необходимо сравнивать с установленными первоначальными параметрами, обозначенными службами Минприроды РФ в выдаваемых разрешениях на размещение отходов.

На практике эти правовые нормы законодательства в области обращения с отходами природопользователями игнорируются, а государственные органы Росприроднадзора не требуют их выполнения. Как показывает пример хвостохранилища Советской ЗИФ в настоящее время никем не учтено наличие в нем 94 т металлической ртути и присутствие ее водорастворимых форм. Такие объемы и формы проявления токсиканта 1 класса существенно повышают показатель опасности складированных на этом полигоне отходов. Отсутствует ртуть и в перечне ингредиентов, включенных Росприроднадзором в программу экологического мониторинга, что значительно занижает объективность выполняемой оценки воздействия хвостохранилища на природную среду. Вышеперечисленные недо-

четы существенно влияют на степень обоснованности принятия положительного решения по выдаче разрешения на слив хвостовой пульпы в хвостохранилища. Однако формально решение принимается в пользу промышленных компаний, но во вред окружающей среде и проживающему рядом населению.

В отличие от хвостохранилищ объемного запрудового типа, маломощные покровные техногенные хвосты, как площадки повторного накопления отходов, в производственных технологических операциях не используются. В настоящее время они, по сути своей, относятся к бесхозным ртутьсодержащим объектам. Создается некий парадокс. Несмотря на то что современное законодательство требует проведения учета даже одной люминесцентной лампы, содержащей ртуть на уровне 3–5 г, наличие 400 кг ртути в хвостах Богунаевской ЗИФ и свободный доступ ее в природный водоток в качестве загрязняющего ингредиента, органы исполнительной государственной власти и государственного надзора фактически не интересуются.

Таким образом, изложенные материалы указывают на то, что массивы горнопромышленных хвостов золотоизвлекающих фабрик, ранее работавших с применением ртутных технологий добычи золота, являются не только потенциальными источниками токсичного воздействия на окружающую среду, но активно ее загрязняют вредным ингредиентом 1 класса опасности. Положение усугубляется тем, что до сих пор неизвестно общее количество загрязненных техногенной ртутью полигонов рудной добычи золота в Восточной Сибири. Опасные участки ртутного загрязнения не локализованы, в связи с этим негативное влияние их на природную среду не контролируется. Это вызывает удивление, т.к. ртуть и ее химические соединения являются веществами чрезвычайно опасными для окружающей среды и здоровья человека, и именно поэтому Международными программами ВОЗ, программой ООН по окружающей среде, Международной программой химической безопасности она включена в список приоритетных загрязняющих веществ. Дальнейшее отсутствие должного внимания к изложенным проблемам может привести к ощутимым негативным экологическим последствиям.

В целях минимизации и предотвращения вредного воздействия на окружающую среду в Восточно-Сибирском регионе было бы рационально выполнить целевую государственную программу по оценке масштабов, видов и степени опасности техногенного загрязнения ртутью районов традиционной золотодобычи. Кроме этого, в программы производственного экологического контроля природопользователям и органам государственного надзора необходимо включить ртуть в качестве обязательного наблюдаемого ингредиента. Также контролирующим органам уместно внести коррективы в исполнение нормативно-разрешительных процедур, связанных с размещением горнопромышленных отходов на хвостохранилищах.

Полученные результаты рекомендуется положить в основу для ежегодного подтверждения природо-

пользователями информации о классах опасности содержащихся в хвостохранилищах отходов, а также использовать ее в качестве обоснования для прогноза уровня негативного воздействия промнакопителей на природную среду и расчета экологических платежей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Временные правила охраны окружающей среды от отходов производства и потребления в Российской Федерации.* — утв. Минприроды РФ 15.07.1994.
2. *Ивановский, М.Д.* *Металлургия золота* / М.Д. Ивановский. — М.: ОНТИ, 1938. — С. 456.
3. *Коваль, А.Т.* *Техногенное загрязнение металлической ртутью районов золотодобычи Амурской области и Хабаровского края* / А.Т. Коваль, Ю.Ф. Сидоров, В.А. Нагорный, В.И. Остапчук // *Добыча золота. Проблемы и перспективы: Сб. докладов семинара.* — Хабаровск, 1997. — С. 347–352.
4. *Лапердина, Т.Г.* *Ртутное загрязнение окружающей среды в зонах влияния золотодобывающих предприятий Забайкалья* / Т.Г. Лапердина // *Химия в интересах устойчивого развития.* — 1995. — № 3. — С. 57–67.

5. *О проведении публичных слушаний по вопросу о ликвидации гидротехнического сооружения «Хвостохранилище» ООО «Соврудник» от 22 июня 2017 г.* URL: <http://www.sovrudnik.ru/press-centre/news/335/> (дата обращения 25.03.2019 г.).
6. *Программа экологической оценки техногенного загрязнения ртутью территории Амурской области на 1998-2005 гг.* URL: <http://7law.info/amur/act9z/n947> (дата обращения 25.03.2019 г.).
7. *Разенкова, Н.И.* *Ртуть в зоне окисления* / Н.И. Разенкова, Ю.С. Самойлова. — М.: Недра, 1975. — 73 с.
8. *Серебровский, А.П.* *Золотая промышленность* / А.П. Серебровский. — М.: Изд-во АН СССР, 1935. — Т. 2. «СССР». — 617 с.
9. *Сидоров, Ю.Ф.* *Проблемы техногенного загрязнения ртутью территории Амурской области (актуальность и пути решения)* / Ю.Ф. Сидоров // *Ртуть. Комплексная система безопасности: Сб. материалов III научно-технической конф.* — СПб, 1999. — С. 57–61.
10. *Фосс, Г.В.* *Золото* / Г.В. Фосс. — М.: Госгеолтехиздат, 1963. — 174 с.
11. *Целюк, Д.И.* *Особенности развития техногенеза в намывных накопителях промышленных отходов* / Д.И. Целюк, О.И. Целюк. — Красноярск: КНИИГИМС, 2018. — 358 с.

© Целюк Д.И., Целюк И.Н., 2019

Целюк Денис Игоревич // tselukdi@mail.ru
Целюк Игорь Николаевич // intseluk@mail.ru

ХРОНИКА

НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ, ПОСВЯЩЕННЫЕ СТОЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ВЫДАЮЩЕГОСЯ ГЕОХИМИКА И МИНЕРАЛОГА, ПОЧЕТНОГО ЧЛЕНА РОССИЙСКОГО МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА, ПРОФЕССОРА С.Т. БАДАЛОВА

Московское отделение Российского минералогического общества при поддержке руководства Всероссийского института минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ФГБУ «ВИМС») провело 26 сентября 2019 г. в конференц-зале ВИМСа научные чтения, посвященные столетию со дня рождения выдающегося геохимика и минералога, почетного члена Российского минералогического общества, профессора Степана Тиграновича Бадалова.

Чтения открыл генеральный директор ФГБУ «ВИМС», доктор геол.-мин. наук, профессор Г.А. Машковцев. Во вступительном слове он кратко описал историю развития геологических наук в СССР и в современной России, особо отметив целесообразность продолжения взаимодействия с бывшими союзными республиками в сфере геологических исследований.

ВИМС традиционно проводит научные слушания, связанные с именами выдающихся ученых. В связи с тем, что научная деятельность профессора С.Т. Бадалова во многом связана со Среднеазиатским регионом и, в частности, с Республикой Узбекистан, Г.А. Машковцев приветствовал расширение списка персоналий и географии, а также узбекских гостей, которые приняли участие в научных чтениях. Он пожелал успехов в их проведении и высказал мнение о том, что чтения,

посвященные профессору С.Т. Бадалову, могут проводиться и в будущем.

В своем докладе один из первых учеников профессора С.Т. Бадалова, заведующий лабораторией геотехнологии Института геологии и геофизики Госкомгеологии Узбекистана А.Х. Туресебеков рассказал о трудовой и научной деятельности С.Т. Бадалова в Институте геологии и геофизики с 1946 по 2014 г., о плодотворном пути ученого, отмеченным целеустремленностью и энергией в достижении новых научных знаний (он автор 5 монографий и более 500 статей), в создании научной школы и подготовке научных кадров, в том числе 4 докторских и 42 кандидатских диссертаций. Более 40 лет профессор С.Т. Бадалов читал курсы лекций по геохимии и минералогии на Геологическом факультете Ташкентского государственного университета.

Деятельность С.Т. Бадалова отмечена почетным знаком «Первооткрыватель месторождения» за Кальмакырское редкометалльное месторождение (1971 г.), званием «Заслуженный деятель науки УзССР» (1976 г.), Государственной премией СССР за создание новой горнорудной сырьевой базы (1988 г.). Он являлся почетным членом Всероссийского минералогического общества и почетным председателем Минералогического общества Узбекистана.

Особо А.Х. Туресебеков выделил открытие профессором С.Т. Бадаловым впервые в регионе рения и осмия, определение возраста медно-молибденового оруденения Алмалыка, периодическую систему протоизотопов химических элементов и разработку проблем биогеохимии, которыми ученый занимался последние годы жизни.