

УДК: 553.4:553.0461

DOI: 10.23671/VNC.2018.1.11242

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ МИЗУРСКОЙ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ (УНАЛЬСКОЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ, РЕСПУБЛИКА СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ) КАК ОСНОВА ДЛЯ ОЦЕНКИ МАСШТАБОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ИМИ ПОЧВ ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

© 2018 А. Г. Гурбанов^{1, 2}, к. г.-м. н., А. Г. Кусраев², д. ф.-м. н., проф., А. Б. Лолаев^{2, 3}, д. т. н., С. О. Дзедобоев³, В. М. Газеев^{1, 2}, к. г.-м. н., А. Б. Лексин¹, Л. Е. Цуканова⁴, А. Х. Оганесян^{2, 3}, к. т. н., В. Э. Илаев³, О. А. Гурбанова⁵, к. х. н., М. Н. Баранова¹

¹ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 351;

²ФГБУН Федеральный научный центр «Владикавказский научный центр РАН», Россия, 362027, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркуса, 22, e-mail: ag.gurbanov@iyandex.ru.

центр Российской академии наук» (ВНЦ РАН);

³ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», Россия, 362021, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44;

⁴Научно-исследовательский институт физики Южного федерального университета, Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194;

⁵ФГБОУ ВО Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1

Установленные нами в 2009-10 гг. аномально высокие концентрации в лежалых песках и глинах из поверхностного слоя (0,5 м) пляжной части хвостохранилища: **S** (9–19; 1,3–10,8 мас. %), **Cu** (14750–27410; 960–13210 – здесь и далее в г/т), **Zn** (57620–90350; 3990–41720), **Pb** (63040–124220; 4130–55910), **As** (225–1750; 140–355), **Sb** (19090–38350; 4760–10450), **Sn** (3050–5680; 1170–2850) могут быть объяснены: а) периодическими изменениями в технологическом процессе флотационного обогащения или же поступлением на фабрику других типов полиметаллических руд в течение 2009–2010 гг.; б) переизмельчением руд при их дроблении, что приводило к резкому снижению флотационных свойств рудных минералов, которые «уходили» в отвальные хвосты глинистой, т-з и м-з фракций; в) или серьезными и частыми (фиксируются частыми появлениями тонких прослоев глин в песках с аномально высокими содержаниями рудных элементов), за этот период времени, сбоями процесса флотации. На основании геохимических исследований (2009–2010, 2015–2016 гг.) проб лежалых хвостов установлено, что максимальные концентрации экономически ценных и экологически опасных элементов приурочены к глинистой и тонкозернистой песчаной фракциям.

Доказано, что Унальское хвостохранилище является основным и постоянным техногенным источником сильного загрязнения прилегающих территорий (почв природных пастбищ, сельхозугодий и гидросферы). Установлено, что лежащая на поверхности хвостохранилища тонкодисперсная и наиболее обогащенная экологически опасными элементами фракция, в виде пылевых облаков, возникающих при практически постоянном сильном ветре, дующем вдоль долины, загрязняет почву пастбищ, сельхозугодий

дий и может негативно влиять на здоровье населения поселков Зинцар, Архон, Дагом, Унал, Биз и, возможно, Мизур, так как экологически опасные элементы (As, Sb, Cd, V, Li, Pb, Zn и др.) будут постоянно поступать из хвостохранилища, загрязняя почвы, и накапливаясь в них.

Доказано, что вниз по разрезу в керне скважины №1, происходит увеличение (в разной мере) содержания TiO_2 , S, V, Ni, Cu, Sr, Zr, Ba, а в керне скважины №2 – увеличивается концентрация только серы. Показано, что средние содержания (в г/т) широкого круга макро- и микроэлементов в керне скважины №2, пробуренной в южной части хвостохранилища, немного выше, чем в керне скважины №1, пробуренной в его северной части. Исключение составляют только **S, Cu, Zn**. Опыт бурения двух скважин на глубины 4,5 и 9 м показал, что для получения информации о характере распределения экономически ценных и экологически опасных элементов в вертикальном разрезе лежалых хвостов необходимо пробурить несколько скважин на всю мощность хвостов (до 30 м). Это станет возможным только при использовании специального оборудования, необходимого для проходки горизонта «песков пльвунов».

Ключевые слова: хвостохранилище, промышленные отходы флотации полиметаллических руд, характер распределения элементов в вертикальном разрезе хвостохранилища, аномальные концентрации элементов.

Введение

В Садонском рудном районе до начала 90-х годов прошлого столетия действовало семь рудников Садонского свинцово-цинкового комбината (ССЦК), руды с которых поступали на Мизурскую горно-обогатительную фабрику (МГОФ), расположенную в пос. Мизур, в 10 км южнее сел. Унал. Фабрика работает с марта 1929 года и до сих пор. Вместе с Унальским хвостохранилищем она является главным источником техногенного загрязнения тяжелыми металлами (ТМ) окружающей среды в Алагирском районе. Производительность фабрики достигала 20000 тонн руды в сутки. Полученные селективной флотацией концентраты содержали: *Pb, Bi, Sb, Ag, Au, Cu, Zn, Co, As* в свинцовом концентрате; и *Zn, Cd, Co, Pb, S, Sb, Ag, Fe, In* – в цинковом. Концентраты автотранспортом доставлялись на завод «Электроцинк» в г. Владикавказ для последующей переработки. Очень важно отметить, что на протяжении 55 лет (до 1 января 1984 года) промышленные отходы МГОФ от передела руд («хвосты») складировались в чаше **временного** хвостохранилища (в узкой боковой долине левого притока р. Ардон), расположенного над пос. Мизур. МГОФ в этот период времени работала в режиме зимнего хранения хвостов и ежегодного полного их сбрасывания в р. Ардон в паводковый период. Это вместе с попаданием в реку шахтных и производственных стоков привело к сильному загрязнению речной воды и донных отложений *Pb, Zn, Cu, Cd, Ag* и др. на всем ее протяжении до впадения в р. Терек и, возможно далее, вплоть до Каспия, что могло привести к экологической катастрофе федерального значения. Поэтому, в 1984 г., в левом борту долины р. Ардон, в ее пойме, в 500 м севернее сел. Унал, было построено новое Унальское хвостохранилище МГОФ. Его ложем являются аллювиальные галечники р. Ардон. С запада оно ограничено федеральной автодорогой «Транскам», его восточный борт отделен от русла реки насыпной дамбой, укрепленной с низовой стороны железобетонной подпорной стеной со сквозными «шпорами» высотой 5 м. Общая длина дамбы около 1 км при высоте около 30 м. В чаше хвостохранилища устроено водосборное сооружение шахтного типа с отводящим трубопроводом, по которому осуществляется сброс в р. Ардон осветленной части пульпы, поступающей в хвостохранилище с МГОФ. По гребню дамбы проложен пульпопровод для слива пульпы в хвостохранилище. С низового бьефа дамбы у водосборного колодца установлены насосы для подачи осветленной части пульпы («воды») в хвостохра-

нилище для пылеподавления намывного пляжа в верхнем бьефе. Хвостохранилище имеет овальную форму (рис. 1): его длина – 1 км, ширина (максимальное значение) – 300 м; площадь – 16 га. Объем накопившихся с 1984 г. хвостов – около 3 млн. тонн.

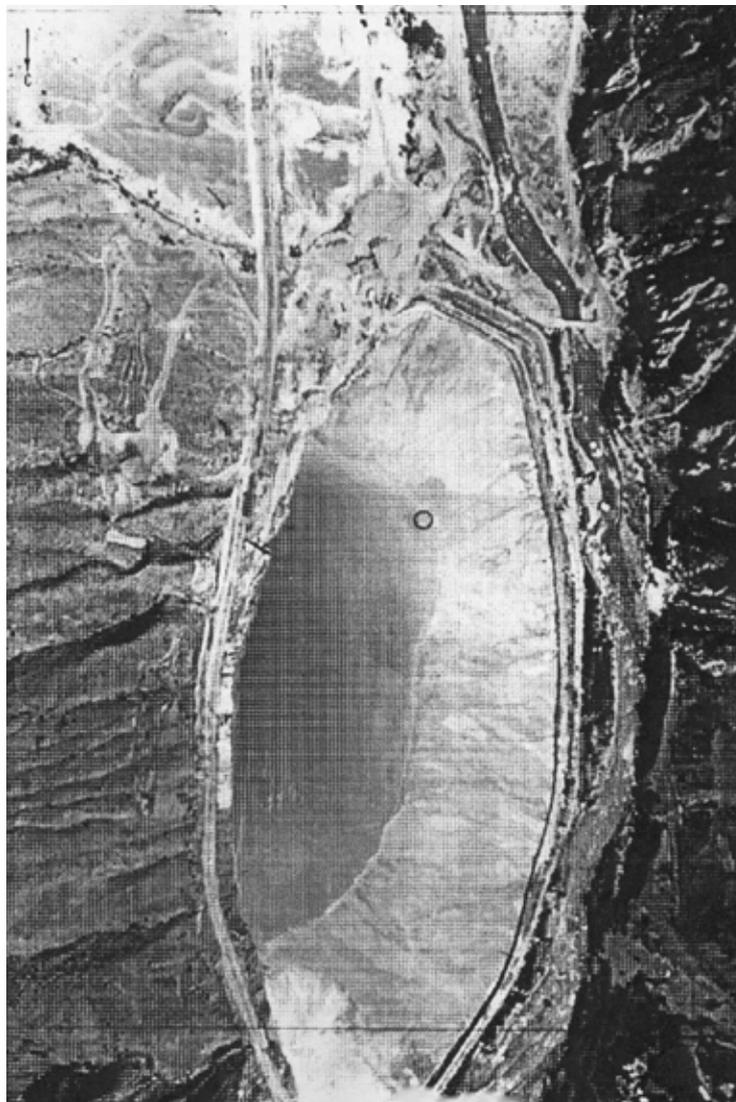


Рис. 1. Общий вид на Уральское хвостохранилище.

По данным МГОФ в хвостах содержатся, в незначительных количествах, следующие рудные минералы: сфалерит, галенит, пирит, пирротин, халькопирит, арсенопирит, борнит, марказит и магнетит; нерудные минералы – кварц, хлорит, сидерит, кальцит. По данным МГОФ на 1.01.1998 года объем хвостов составил 3766 тысяч тонн, в том числе 6448 тонн Pb, 5955 тонн Zn, 18 тонн Bi, 14 тонн Cd, 19 кг Au, 13551 кг Ag. Геохимическими исследованиями лежалых песков и глин из сухой пляжной части хвостохранилища установлены следующие средние концентрации металлов (в % $\times 10^{-3}$): 40 – Cu, 235 – Zn, 193 – Pb, 2,1 – Ni, 2,8 – Co, 16 – Cr, 4 – V, 0,5 – Mo, 0,4 – Ag, 190 – Mn, 28 – As, 1,3 – Sn, 2,3 – Bi, 168 – Ti, 14 – Zr, 46 – P, 1,2 – B, 0,6 – Cd [Газданов и др., 1996]. По результатам дисперсионного анализа хвостов МГОФ (1988 г.) большая часть свинца приурочена к самой мелкой фракции ($<0,006$ мм), для цинка также характерно распределение по 4-м мелким фракциям ($<0,044$ мм). [Газданов и др., 1996].

Во исполнение постановления Министерства геологии СССР были проведены исследования по Программе «Охрана природы и рациональное использование природных ресурсов» от 31.03.1981 г., с 1982 г. начали проводиться целенаправленные эколого-геохимические исследования на территории Северной Осетии и, в первую очередь, в районе деятельности ССЦК. Они проводились в течение нескольких лет силами Центральной опытно-методической геохимической экспедиции ИМГРЭ. Большой вклад в изучение механизмов негативного воздействия захороненных промышленных отходов МГОФ и шахтных вод ССЦК на экологическую обстановку прилегающих территорий и в выявление форм водной миграции тяжелых металлов в почвах, растительности и сельхозпродуктов, внесли производственные геологи [Газданов и др., 1996], ОМЭ ИМГРЭ и ученые кафедры геохимии МГУ им. М.В. Ломоносова [Вагин, Голик, 2005; Жариков и др. 2001; Матвеев и др., 2004; Пряничникова и др., 2000; Пряничникова, 1999, 2004а, б, 2005], в том числе и изложенные в серии статей и в кандидатской диссертации Е. В. Пряничниковой. Вышеуказанные организации (ОМЭ ИМГРЭ, Севосгеонаука и МГУ) с 1982 по 2004 гг. периодически проводили полевые исследования в районе деятельности ССЦК и Унальского хвостохранилища, включающие: а) эколого-геохимическое картирование территории с опробованием почв, поверхностных вод и донных отложений водотоков; б) мониторинговые исследования в районе хвостохранилища с опробованием почв, растительности, поверхностных вод, рудничных вод, отвалов пород и руд из разведочных штолен, сухой пляжной части с поверхности хвостохранилища и пылевых выпадений. Для реализации поставленных задач были разработаны конкретные методики опробования. Так, пробы почв отбирались с поверхности (10-15 см), по 9-ти профилям, ориентированным вкрест простирания предполагаемой техногенной аномалии. Опробование проводилось по сети 200x50 м. Для выявления глубины проникновения загрязнения проходились шурфы глубиной до 1 м с послойным опробованием через 0,2 м. Опробование донных отложений проводилось из русел рр. Майрамдон и Уналдон из песчано-глинистой фракции руслового аллювия с шагом 100-250 м. Пробы воды отбирались по разреженной сети: расстояние между пунктами опробования 1000-1500 м. Опробование рудничных вод проводилось в местах их излияния из штолен, а также из рек в 100 м выше и ниже по течению от места впадения в них рудничных вод. Опробование представительных видов растительности (листьев и плодов яблонь, картофеля, кукурузы, спилов деревьев) проводилось параллельно с отбором проб почв (на нижних террасах р. Ардон – с каждой 3-й пробой почв, а на остальной территории – с каждой 5-7-й пробой). Опробование хвостохранилища проводилось с поверхности по периметру (по сухой пляжной части на глубину 20-30 см) с шагом в 100 м. Для оценки количества пылевых выпадений в 1998-2000 гг. использовались смывы с листьев и плодов яблони, в 2003 г. пыль собиралась в специальные емкости с водой. После фильтрации через фильтр «синяя лента», анализировались как твердая, так и жидкая фазы атмосферных выпадений.

Для определения концентраций химических элементов в пробах почв, донных отложений, отвалов пород и руд из разведочных штолен, промышленных отходов с сухой пляжной части хвостохранилища и растительности использовался приближенно-количественный спектральный анализ, который выполнялся в лаборатории Опытной-методической экспедиции (ОМЭ) ИМГРЭ.

Сейчас, по данным МГОФ, в хвостохранилище захоронено 2,6 млн. тонн промышленных отходов с содержаниями: Pb – 0,21% – запасы – 5460 т.; Zn – 0,32%

– запасы – 8320 т.; *Cu* – 0,1% – запасы 2600 т.; *Fe* – 6,2% – запасы – 161200 т.; *Ti* – 0,18% – запасы – 4680 т.; *Mn* – 0,16% – запасы – 4160 т.; *Ag* – 4,2 г/т. – запасы – 10,92 т.

Методики отбора проб и их аналитических исследований

На этапе исследований 2015 г., с учетом полученной в процессе полевых работ информации о состоянии пляжной части хвостохранилища и площади зеркала «защитного» озера на этот период времени, было проведено опробование сухого пляжа на севере хвостохранилища. В западной части этого пляжа отобраны пробы 68-68-5/15; в центральной – проба 69/15, а в восточной – пробы 70-70-1/15. Произвести опробование как в западной части хвостохранилища, закрытой зеркалом воды, так в восточной и южной, где в это время происходил намыв хвостов, не удалось по техническим причинам.

Для всех проб, с помощью GPS-приемника фиксировались географические координаты и высотные отметки, которые заносились в базу данных, и проводилась их фотодокументация. Пробы отбирались с помощью пробоотборника на глубину до 0,3 м. Это делалось для получения информации о содержании в этом материале экономически ценных и экологически опасных элементов, которые разносятся постоянно дующими здесь ветрами, в виде пылевых облаков, на поселки Зинцар, Унал, Дагом и даже на пос. Мизур и Верхний Згид, загрязняя почвы их сельхозугодий и природных пастбищ. Для чистоты эксперимента нами отбирались пробы различного гранулометрического состава: глинистая фракция, переслаивающиеся мелкозернистые (м-з) пески и глины, переслаивающиеся тонко- (т-з) и мелкозернистые пески, переслаивающиеся средне- (с-з) и крупнозернистые (к-з) пески. В итоге, из пляжной части хвостохранилища были взяты пробы из всех гранулометрических разновидностей захороненного материала. Для получения информации о поведении ряда элементов в вертикальном разрезе захороненных промышленных отходов на всю их мощность (порядка 30 м), в 2015 г. впервые были пробурены две скважины: № 1 в северной части (сухой пляж), глубиной 9 м, где длительное время не было намыва хвостов; и № 2 в южной части хвостохранилища, глубиной 4,5 м (бурение производилось с дощатого настила), где последние 5 лет происходил постоянный намыв хвостов. Однако, пробурить с помощью шнека эти скважины на всю мощность промышленных отходов не удалось по техническим причинам. Они заключались в том, что в южной части хвостохранилища ниже глубины 4,5 м, а в северной – ниже глубин 9 м начались сильно обводненные глины, т-з и м-з пески с консистенцией «песков-плывунов» и происходило «засасывание» бурового снаряда, а при подъеме буровой колонны обводненная масса быстро заполняла этот участок ствола скважины и дальнейшее бурение, без специального оборудования, не имело смысла. Длина керна для опробования определялась длиной шнека – 1,5 м. Из шнека, для геохимических исследований, каждые 1,5 м отбирались пробы методом пунктирной борозды весом 100 г каждая. Так, в скважине № 1 пробами охарактеризованы интервалы: 0-3 м, 3-6 м и 6-9 м; а в скважине № 2: 0-1,5 м, 1,5-3 м и 3-4,5 м. Остатки от керна скважин были объединены в сводные пробы для последующих технологических исследований. Каждая геохимическая проба весом не менее 100 г упаковывалась в двойной полиэтиленовый пакет для длительного хранения, чтобы избежать разложения возможных вторичных (гипергенных) водосодержащих минералов.

Подготовка проб для анализов. Пробы, отобранные из захороненных промышленных отходов, высушивались, а затем из каждой пробы делалась отквартовка весом по 20 грамм, что достаточно для всех видов аналитических исследований. После этого все отквартованные части проб дробились и истирались до размера 100 меш.

Аналитические исследования выполнялись в лаборатории «Анализа минерального вещества» ИГЕМ РАН. Анализ химического состава проб и определения в них содержаний ряда микроэлементов выполнен методом рентгено-флюоресцентной спектрометрии (РФА) на спектрометре последовательного действия PW-2400 производства компании Philips Analytical B. V. (Нидерланды, 1997). При калибровке спектрометра использованы отраслевые и государственные стандартные образцы горных пород и минерального сырья (14 ОСО, 56 ГСО). Качество результатов соответствует требованиям III категории точности количественного анализа по ОСТ РФ 41-08-205-99. Подготовка препаратов для анализа оксидов породообразующих элементов выполнена путем плавления 0,3 г порошка пробы с 3 г тетрабората лития в индукционной печи с последующим отливом гомогенного стеклообразного диска. Подготовка препаратов для анализа микроэлементов выполнена путем прессования 1 грамма порошка пробы с полистиролом под давлением 5 т/см². Потери при прокаливании (LOI) определялись гравиметрическим способом. Время выдержки при температуре 950°C составляло 30 мин.

Результаты геохимических исследований и их обсуждение

При проведении комплексных геохимических исследований использовались прецизионные методы анализа вещества – РФА и ICP MS, что резко повысило надежность полученных данных о концентрациях широкого круга элементов в исследуемом материале. Так, в 2009-2010 гг. при проведении исследований [Гурбанов и др., 2012] опробованы и проанализированы пробы лежалых песков и глин с поверхности (глубиной до 0,5 м) пляжей в южной, восточной и северной частях хвостохранилища. В черных и бурых глинах установлены вариации содержаний (в г/т) следующих элементов: $Cu=14750-27410$; $Zn=57620-90350$; $Pb=63040-124220$; $As=225-1750$; $Sb=19090-38350$; $Sn=3050-5680$, а $S=9,7-19,0$ мас. %; в тонко переслаивающихся мелкозернистых (м-з) песках и бурых глинах: $Cu=960-13210$; $Zn=3990-41720$; $Pb=4130-55910$; $As=140-355$; $Sb=4760-10450$; $Sn=1170-2850$, а $S=1,3-10,8$ мас. %; в переслаивающихся серых тонкозернистых (т-з) и м-з песках: $Cu=490$; $Zn=5050$; $Pb=1070$; $As=163$, а $S=2,71$ %; в зеленовато-сером м-з песке: $Cu=740-1110$; $Zn=1770-5670$; $Pb=2610-9950$; $As=141-200$; $Sb=880$, а $S=1,2-2,0$ мас. %; в переслаивающихся среднезернистых (с-з) и крупнозернистых (к-з) песках: $Cu=5920$; $Zn=19360$; $Pb=11460$; $As=452$; $Sb=8640$; $Sn=490$, а $S=6,94$ мас. %. Из приведенных данных видно, что:

– в поверхностном 0,5 м слое лежалых хвостов наблюдаются большие вариации в содержании широкого круга элементов. Причем, их максимальные значения установлены в южной, юго-восточной и восточной частях хвостохранилища (т. е. в местах, где происходит намыв хвостов), а минимальные – на северной сухой пляжной части хвостохранилища, где длительное время не было намыва хвостов и происходит постоянная ветровая эрозия тонкодисперсной фракции;

– выявлена закономерная зависимость величин концентраций элементов от гранулометрического состава лежалых хвостов, заключающаяся в том, что максимальные концентрации экономически ценных и экологически опасных элементов в тонкодисперсной (глинистой, т-з и м-з песчанистой) фракции значительно выше, чем в более крупнозернистой фракции;

– полученные данные о концентрации ряда элементов оказались значительно выше концентраций этих же элементов в сухом поверхностном слое хвостохранилища, по сравнению с данными предыдущих исследователей, полученными менее надежными методами (полуколичественный спектральный анализ). Следовательно, если такие аномально высокие концентрации будут наблюдаться на всю мощность лежалых хвостов, то не исключено, что запасы ценных металлов (Zn, Pb, Cu, Sb, Cd, Ag и др.) окажутся более высокими, чем подсчитанные в МГОФ. Это сделает проект полной утилизации промышленных отходов, с предварительным извлечением из них экономически ценных и экологически опасных элементов, экономически более привлекательным. Для выявления закономерностей в поведении ряда рудных элементов в толще хвостов в северной, сухой пляжной части хвостохранилища, проведено опробование всех гранулометрических разновидностей хвостов на глубину 0,3 м. Кроме того, опробован керн двух скважин, пробуренных в северной и южной частях хвостохранилища. Результаты исследования этих проб методом РФА приведены в таблице № 1.

Из приведенных данных видно, что:

– имеется отчетливо выраженная разница в гранулометрическом составе поверхностного слоя (0,3 м) пляжной части (север хвостохранилища) лежалых хвостов с востока на запад. В восточной части пляжа он сложен (сверху вниз): тонким переслаиванием (мощность 6 см) черных и белых мелкозернистых (м-з) песков (проба № 70/15) и однородными среднезернистыми (с-з) песками (мощность 24 см, проба 70-1/15); в центральной части пляжа он сложен однородными м-з серыми песками (мощность 30 см, проба 69/15); в западной части – он сложен: с-з серо-коричневыми песками (мощность 5 см, проба № 68/15), черными м-з песками (мощность 3 см, проба № 68-1/15), серыми с-з песками (мощность 2 см, проба 68-2/15), красными крупнозернистыми (к-з) песками (мощность 3 см, проба № 68-3/15), глиной белой (мощность 3 см, пробы №№ 68-4а и 68-4/15), серым м-з песком (мощность 10 см, проба № 68-5/15). В этом же направлении фиксируется и геохимическая неоднородность, выраженная в вариации средних концентраций оксидов (в мас. %) и элементов (в г/т) в поверхностном (0,3 м) слое пляжа лежалых хвостов на севере хвостохранилища: TiO_2 –0,33-0,27-0,21 (здесь и далее в восточной – центральной – западной частях пляжа, соответственно); MnO – 0,16-0,09-0,13; Fe_2O_3 –7,7-4,5-3,8; S – 1,2-1,6-1,0%; Cr – 576-105-1821; Cu – 21183-870-6470; Zn – 31412-7055-10309; Pb – 47411-5658-71954; Rb – 1209-201-2326; Sr – 193-49-68; Ba – 2705-955-1170; As – 1878-427-270. Минимальные концентрации MnO и большинства элементов наблюдаются в м-з серых песках в центральной части пляжа.

– в поверхностном слое (0,3 м) лежалых хвостов пляжа в северной части хвостохранилища максимальные концентрации широкого круга элементов установлены в тонкодисперсной фракции (глины, тонко- и мелкозернистые пески).

В процессе экспедиционных работ авторы статьи регулярно наблюдали возникновение, при практически постоянных ветрах, дующих вдоль долины р. Ардон, над пляжной частью пылевых облаков, которые быстро достигали сел. Зинцар, Дагом,

Унал, Архон, и скорее всего, загрязняли почвы огородов местных жителей и природных пастбищ. Важно отметить, что процесс ветровой эрозии тонкозернистого материала с сухой пляжной части хвостохранилища является практически постоянным и должен сильно загрязнить тяжелыми металлами почвы прилегающих территорий. Для проверки этого предположения были отобраны и проанализированы пробы почв с огородов и природных пастбищ в поселках Зинцар, Унал и Архон. Анализ полученных результатов геохимических исследований [Лолаев и др., 2017] показал, что:

а) В наиболее удаленном (до 5 км) от хвостохранилища с. Архон в пробах почв сельхозугодий (огородов) установлены превышения (в разы) ПДК: для Ni – в 11,2; для Pb в 13-14,7; для Zn – в 18,7; для As – в 11,5-17; для Cu – в 2-20; в пробах почв природных пастбищ установлены превышения (в разы) ПДК для Ni – в 11,2; для Pb в 9,8-97,4; для Zn – в 18,7-28,4; для As – в 9,5-19; для Cu – в 21-29,7.

б) В с. Унал, расположенном в 500 м южнее хвостохранилища, в пробах почв сельхозугодий (огородов) установлены превышения (в разы) ПДК: для Pb – 10,6; для As – 12,5; для Ni – в 11,2; для Cu – в 19; для Zn – в 20,6; в пробах почв природных пастбищ установлены превышения (в разы) ПДК: для Pb – в 10,2-16,6; для As – в 13,5-40; для Ni – в 11,2; для Cu – в 24-38; для Zn – в 20,5-26,5.

в) В с. Зинцар, расположенном напротив хвостохранилища, в пробах почв сельхозугодий (огородов) установлены превышения (в разы) ПДК: для Ni в 11,5; для Pb – в 17,8-19; для As в 3; для Cu – в 27; для Zn – в 3-30,2; в пробах почв природных пастбищ установлены превышения (в разы) ПДК: для Ni – в 11,2-12,7; для Pb – 9,9-25,5; для As – в 15,5-23; для Cu – в 18-19,3; для Zn – в 15,8-20,5.

Из анализа приведенных данных видно, что при ветровой эрозии сухой пляжной части хвостохранилища происходит сильное загрязнение почв прилегающих территорий и, что особенно опасно, почв огородов жителей селений высоко- и умеренно опасными элементами и, что этот процесс будет продолжаться до полной утилизации хвостов.

Анализ результатов геохимических исследований кернa двух скважин показал, что:

– в скважине № 1, пробуренной на глубину 9 м в центре сухого пляжа в северной части хвостохранилища, опробованы и проанализированы интервалы: 0-3 м; 3,0-5,0 м; и 5,0-9,0 м. Установлено, что с глубиной происходит (табл. 1) как **увеличение** концентраций (в мас. %; TiO_2 – с 0,26 до 0,28; S – с 2,31 до 2,55) и микроэлементов (в г/т, V – с 32 до 66; Ni – с 15 до 20; Cu – с 435 до 817; Sr – с 124 до 396; Zr – с 80 до 85; Ba – с 3258 до 20600), так и их уменьшение (MnO – с 0,30 до 0,25; Fe_2O_3 – с 7,67 до 5,24; Cr – с 192 до 34; Co – с 11 до 9; Zn – с 5924 до 3136; Rb – с 152 до 139; Pb – с 3974 до 2246; As – с 394 до 204).

– в скважине № 2, пробуренной на глубину 4,5 м в центре южной части хвостохранилища, опробованы и проанализированы интервалы: 0-1,5 м; 1,5-3,0 м; и 3,0-4,5 м. Установлено, что с глубиной происходит (табл. 1) уменьшение концентраций (в мас. %; TiO_2 – с 0,5 до 0,34; MnO – с 0,29 до 0,26; Fe_2O_3 – с 7,58 до 6,49) и микроэлементов (в г/т, Cr – с 129 до 76; V – с 71 до 35; Ni с 25 до 13; Cu с 813 до 378; Zn с 4923 до 2686; Rb – с 184 до 141; Sr с 67 до 62; Ba с 686 до 636; Pb – с 5505 до 2271; As – с 510 до 214) и слабое **увеличение** концентрации только S (с 1,29 до 1,47 мас. %).

Таблица 1.

Содержания (в г/т) макро- и микроэлементов в лежалых хвостах из керн скважин и поверхностного слоя пляжа в северной части хвостохранилища по данным РФА

Номер пробы	TiO ₂ (%)	MnO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	S (%)	Cr (ppm)	V (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Zr (ppm)	Ba (ppm)	Pb (ppm)	As (ppm)
68/15	0,27	0,29	9,93	1,20	685	49	16	326	32124	53509	1314	366	77	4773	57593	6290
68-1/15	0,21	0,23	14,72	1,76	1184	<10	44	1213	75530	60928	2047	309	85	4975	75943	1422
68-2/15	0,42	0,14	5,44	1,17	621	33	19	147	8275	19433	1094	132	104	2119	52791	638
68-3/15	0,35	0,19	7,91	0,85	924	25	44	440	23984	36026	2514	349	91	4402	85638	2173
68-4а	0,34	0,09	5,58	0,94	115	39	18	35	3148	19943	506	65	100	765	17509	1124
68-4/15	0,34	0,09	5,58	0,96	105	39	15	34	3123	20147	511	63	100	793	17358	1122
68-5/15	0,37	0,11	4,51	1,42	397	42	13	37	2096	9895	477	68	129	1109	25045	374
Среднее	0,328	0,16	7,67	1,2	576	33,7	24,1	319	21183	31412	1209	193	98	2705	47411	1878
69/15	0,27	0,09	4,51	1,61	105	28	14	16	870	7055	201	49	112	955	5658	427
70/15	0,18	0,15	3,80	0,75	2979	<10	31	775	10972	10563	4059	81	83	1148	110011	321
70-1/15	0,24	0,11	3,79	1,33	663	16	16	67	1968	10054	593	55	89	1193	33896	218
Среднее	0,21	0,13	3,8	1,04	1821	12,5	23,5	421	6470	10309	2326	68	86	1171	71954	270
Скв10-3 м.	0,26	0,30	7,67	2,31	192	32	11	15	435	5924	152	124	80	3258	3974	394
Скв 13-5 м.	0,40	0,31	6,74	1,39	58	55	10	15	549	7636	152	90	103	2587	3754	282
Скв 15-9 м.	0,28	0,25	5,24	2,55	34	66	9	20	817	3136	139	396	85	20600	2246	204
Среднее	0,31	0,29	6,6	2,08	97	51	10	17	600	5065	147,7	203	89,3	2635	3325	293
Скв 20-1,5 м.	0,50	0,29	7,58	1,29	129	71	16	25	813	4923	184	67	105	686	5505	510
Скв 21,5-3 м.	0,31	0,35	7,13	1,66	145	25	12	13	465	3141	149	71	95	649	3319	354
Скв 23-4,5 м.	0,34	0,26	6,49	1,47	76	35	15	13	378	2686	141	62	103	636	2271	214
Среднее	0,38	0,3	7,1	1,5	117	43,7	14,3	17	552	3583	158	66,7	101	657	3698	359

Заключение

1. Установленные [Гурбанов и др., 2012] при исследованиях 2009-2010 гг. аномально высокие концентрации S (9–19; 1,3-10.8%), Cu (14750–27410; 960-13210 г/т), Zn (57620–90350; 3990-41720), Pb (63040–124220; 4130-55910), As (225–1750; 140-355), Sb (19090–38350; 4760-10450), Sn (3050–5680; 1170-2850) могут быть объяснены: а) периодическими изменениями в технологическом процессе флотационного обогащения в течение 2009-2010 гг.; б) переизмельчением руд при их дроблении, что приводило к снижению флотационных свойств рудных минералов, которые уходили в отвальные хвосты глинистой, т-з и м-з фракций; в) или серьезными и частыми (фиксируются частыми появлениями тонких прослоев глин в песках с высокими концентрациями рудных элементов) сбоями процесса флотации в этот период времени.

2. Доказано, что максимальные концентрации экономически ценных и экологически опасных элементов приурочены к глинистой и тонкозернистой песчаной фракциям лежалых хвостов.

3. Унальское хвостохранилище ССЦК является основным техногенным и постоянным источником сильного загрязнения прилегающих территорий. Оно выражается в загрязнении тяжелыми и канцерогенными металлами современных почв и этот процесс уже сейчас представляет постоянную угрозу экологической безопасности региона.

4. Выявлено, что в керне скважины № 1, вниз по разрезу происходит увеличение (в разной мере) содержаний TiO_2 , S , V , Ni , Cu , Sr , Zr , Ba , а в керне скважины № 2 – увеличивается концентрация только серы.

5. Показано, что средние содержания (в г/т) широкого круга макро- и микроэлементов в керне скважины № 2, пробуренной в южной части хвостохранилища, немного выше, чем в керне скважины № 1, пробуренной в его северной части. Исключение составляют только S , Cu , Zn .

6. Для получения информации о характере распределения экономически ценных и экологически опасных элементов в вертикальном разрезе лежалых хвостов необходимо пробурить несколько скважин на всю мощность хвостов (до 30 м), что станет возможным только при использовании специального бурового оборудования для проходки через горизонт обводненных «песков пlyingунов».

Работа выполнена по плану НИОКТР КНИО ВЦ РАН: АААА-А17-117060910043-8 на 2018 г. при финансовой поддержке Проекта 1.39 «Проблемно-ориентированные исследования техногенных отходов горно-рудных предприятий Северного Кавказа и Забайкалья: размещение, вещественно-минеральный состав, оценка воздействия на экосистемы» в рамках программы фундаментальных исследований президиума РАН № 39 «Фундаментальные основы и энергоэффективные, ресурсосберегающие, инновационные технологии переработки минерального сырья, утилизации промышленных и бытовых отходов».

Авторы статьи выражают искреннюю благодарность Маргиеву Тамерлану Борисовичу – главе администрации Унальского поселения Алагирского района РСО-А за оказание бескорыстной помощи при проведении полевых исследований и опробовании промышленных отходов на Унальском хвостохранилище Мизурской горно-обогатительной фабрики и почв на прилегающей территории.

Литература

1. Вагин В. С., Голик В. И. Проблемы использования природных ресурсов Южного федерального округа // Учебник для вузов. – Владикавказ: Проект-Пресс, 2005. – 192 с.
2. Газданов А. Ц. и др. Отчет о научно-исследовательской работе «Подготовка экологически напряженных локальных объектов к мониторингу (Оценка техногенного воздействия хвостохранилищ Мизурской и Фиагдонской обогатительных фабрик на окружающую среду) // Госкомнедра РСО-А, геологическое научно-производственное предприятие «Севосгеонаука». Фонд ФГГРУП «Севосцветметразведка». – 1996. – 103 с.
3. Гурбанов А. Г. и др. Промышленные отходы Мизурской горно-обогатительной фабрики Садонского свинцово-цинкового комбината: геохимические особенности, оценка их воздействия на экологическую обстановку прилегающих территорий (почвы и воду р. Ардон). Республика Северная Осетия-Алания // Вестник Владикавказского научного центра РАН. – 2012. – Т. 12. №4. – С. 29-40.
4. Жариков В. А. и др. Комплексные геохимические, экологические и биогеохимические исследования в горнорудном районе / III Международное совещание, посвященное 10-летию Научно-исследовательского института геохимии биосферы РГУ. – Новороссийск. – 2001. – С. 217-220.
5. Лолаев А. Б., Гурбанов А. Г., Дзэбоев С. О. Загрязнение прилегающих территорий в районе деятельности Садонского свинцово-цинкового комбината (республика Северная Осетия-Алания, РФ) // Успехи современной науки. Секция Геолого-минералогические науки. – 2017. – Т. 6. №2. – С. 177-181.
6. Матвеев А. А. и др. Геохимическая оценка воздействия Унальского хвостохранилища Садонского свинцово-цинкового комбината (Северная Осетия-Алания) на окружающую среду // Известие секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Вып. 12. – М. – 2004. – С. 136-147.
7. Пряничникова Е. В. Оценка геолого-геохимического состояния природных сред в районе Унальского хвостохранилища ССЦК // 3-я экологическая конференция студентов и молодых ученых вузов г. Москвы «Охрана окружающей среды на пороге 3-го тысячелетия и в интересах устойчивого развития». – М. – 1999. – С. 127-130.
8. Пряничникова Е. В. Формы нахождения тяжелых металлов в почвах горнорудного района // XI Международная научная конференция «Ломоносов – 2004» – М. – 2004а. – С. 146.
9. Пряничникова Е. В. Оценка загрязнения поверхностных вод и донных отложений тяжелыми металлами в горно-рудном районе // V межвузовская молодежная научная конференция «Школа экологической геологии рационального недропользования». – СПб. – 2004б. – С. 273-275.
10. Пряничникова Е. В. Эколого-геохимические исследования в горно-рудных районах (на примере Северной Осетии) // Вестник Московского университета: серия 4. Геология. – 2005. – №2. – С. 48-54.
11. Пряничникова Е. В., Семенов Ю. Н., Шестакова Т. И. Оценка геолого-геохимического состояния природных сред в районе Унальского хвостохранилища // Материалы Международной конференции «Экологическая геология и рациональное недропользование». – СПб. – 2000. – С. 225-226.

DOI: 10.23671/VNC.2018.1.11242

**GEOCHEMICAL FEATURES OF MIZUR MINING AND
CONCENTRATION FACTORY INDUSTRIAL WASTES
(UNAL TAILING, REPUBLIC OF NORTHERN OSSETIA-ALANIA)
AS A BASIS FOR THE ESTIMATION OF POLLUTION SCALE
BY IT»S THE SOIL OF THE ADJACENT AREA**

© 2018 A. G. Gurbanov^{1,2}, Sc. Candidate (Geol.-Min.), A. G. Kusraev^{1,2}, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof., A. B. Lolaev^{2,3}, Sc. Doctor (Tech.), prof., S. O. Dzeboev³, V. M. Gazeev^{1,2}, Sc. Candidate (Geol.-Min.), A. B. Leksin¹, L. E. Tsukanova⁴, A. Kh. Oganessian^{2,3}, Sc. Candidate (Tech.), V. E. Ilaev³, O. A. Gurbanova⁵, Sc. Candidate (Chemical), M. N. Baranova¹

¹Institute of geology of ore deposits, petrography, mineralogy and geochemistry RAS, Russia, 119017, Moscow, Staromonetny Lane, 35;

²Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Russia, 362027, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markusa Str., 22, e-mail: gurbanov@igem. ru;

³North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Russia, 362201, RNO-Alania, Vladikavkaz, Nikolaev str., 44;

⁴Research Institute of Physics SFU, Russia, 344090, Rostov-on-Don, Stachki ave., 194;

⁵Educational Institution of Higher Education M. V. Lomonosov Moscow State University, Russia, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1

The abnormally high concentrations in a stale sands and clays from the surface layer (0,5 m) of a tailing beach of: *S* (9–19; 1,3–10,8 masses. %), *Cu* (14750–27410; 960–13210 g/t – here and further), *Zn* (57620–90350; 3990–41720), *Pb* (63040–124220; 4130–55910), *As* (225–1750; 140–355), *Sb* (19090–38350; 4760–10450), *Sn* (3050–5680; 1170–2850) installed by us in 2009–10 years, can be explained by: a) periodic changes in technological process of flotation enrichment, or, alternatively supplies to the factory of other type of polymetallic ore during the 2009–2010 years; b) overgrinding of the ore in their crushing, which resulted in a drastic reduction of flotation properties of ore minerals, which left in spoil tails as clay fractions; c) serious and frequent flotation process failings during this period of time (fixed by frequent appearances of thin clay partings in the sands). Based on geochemical researches (2009–2010, 2015–2016 years) of the tails samples, it was proved that maximum concentrations of economically valuable and environmentally dangerous elements are confined to clay and fine-grained sand fractions. It was found, that Unal tailing is a main and constant spring of strong technogenical pollution of the adjacent area (soil of natural pastures, agriculture and hydrosphere). It was determined, that overlain on the surface of tailing fine-grained and most enriched by ecological dangerous elements fraction – as a dust clouds, which are generated by practicable constant and strong winds which are blowing along the valley and pollute the soil of pastures, agriculture and may have a negative influence on health of population of Zinhtar, Archon, Dagom, Unal, Biz and possible, Mizur settlements, as an ecological dangerous elements (As, Sb, Cd, B, Li, Pb, Zn and et al.) will be constantly are taken from tailing, polluting it and builds up in it. It was found that there is an increase content of *TiO₂*, *S*, *V*, *Ni*, *Cu*, *Zr*, *Sr*, *Ba* down in section in the core of the well No 1, and in the core of the well No. 2 – only the concentration of sulphur increases. It is shown that the average content (g/t) of a wide range of macro- and microelements in the core from the well No. 2, drilled in the southern part of the tailings is slightly higher than in the core from well No. 1, drilled in its northern part. The content of *S*, *Cu*, *Zn* are only exceptions. Drilling of two wells at a depth of 4,5 and 9 meters showed that in order to obtain information about the distribution of economically valuable and environmentally dangerous elements in vertical section of tails it is necessary to drill several wells on all depth of tails (to 30 m). This will be possible only by using special equipment needed for drilling the «quicksands» level.

Key words: tailings, flotation of polymetallic ores industrial wastes, elements distribution in tailings vertical section, abnormal concentrations of elements.

References

1. Vagin V. S., Golik V. I. Problemy ispol'zovaniya prirodnyh resursov Juzhnogo federal'nogo okruga [Problems of using natural resources of the Southern Federal District]. Uchebnik dlja vuzov. Vladikavkaz: Proekt-Press, 2005. 192 p. (in Russian)
2. Gazdanov A. C. i dr. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Podgotovka jekologicheski naprjazhennyh lokal'nyh ob'ektov k monitoringu (Ocenka tehnoennogo vozdejstvija hvostohranilishh Mizurskoj i Fiagdonskoj obogatitel'nyh fabrik na okružhajushhuju sredu) [Report on the research work «Preparation of environmentally stressed local objects for monitoring» (Assessment of the man-caused impact of the tailing dumps of the Mizur and Fiagdon enrichment plants on the environment)]. Goskomnedra RSO-A, geologičeskoe nauchno-proizvodstvennoe predprijatie «Sevosgeonauka». Fond FGGRUP «Sevoscvetmetrazvedka». 1996. 103 p. (in Russian)
3. Gurbanov A. G. i dr. Promyšlennye othody Mizurskoj gorno-obogatitel'noj fabriki Sadonskogo svincovo-cinkovogo kombinata: geohimicheskie osobennosti, ocenka ih vozdejstvija na jekologičeskiju obstanovku priliegajushhijh territorij (pochvy i vodu r. Ardon). Respublika Severnaja Osetija-Alanija [Industrial wastes of the Mizur ore mining and processing plant of the Sadon lead-zinc plant: geochemical features, assessment of their impact on the ecological situation of the adjacent territories (soils and water of the Ardon River). Republic of North Ossetia-Alania]. Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra RAN. 2012. Vol. 12. No. 4. Pp. 29-40. (in Russian)
4. Zharikov V. A. i dr. Kompleksnye geohimicheskie, jekologičeskie i biogeohimicheskie issledovanija v gornorudnom rajone [Complex geochemical, ecological and biogeochemical research in the mining region]. III Mezhdunarodnoe soveshhanie, posvjashhennoe 10-letiju Nauchno-issledovatel'skogo instituta geohimii biosfery RGU. Novorossijsk. 2001. Pp. 217-220. (in Russian)
5. Lolaev A. B., Gurbanov A. G., Dzeboev S. O. Zagrjaznenie priliegajushhijh territorij v rajone dejatel'nosti Sadonskogo svincovo-cinkovogo kombinata (respublika Severnaja Osetija-Alanija, RF) [Pollution of adjacent territories in the area of activity of the Sadon lead-zinc plant (Republic of North Ossetia-Alania, RF)]. Uspehi sovremennoj nauki. Sekcija Geologo-mineralogičeskie nauki. 2017. Vol. 6. No. 2. Pp. 177-181. (in Russian)
6. Matveev A. A. i dr. Geohimicheskaja ocenka vozdejstvija Unal'skogo hvostohranilishha Sadonskogo svincovo-cinkovogo kombinata (Severnaja Osetija-Alanija) na okružhajushhuju sredu [Geochemical assessment of the impact on the environment of the Unal tailing dump of the Sadon lead-zinc plant (North Ossetia-Alania)]. Izvestie sekcii nauk o Zemle Rossijskoj akademii estestvennyh nauk. Issue 12. M. 2004. Pp. 136-147. (in Russian)
7. Prjanichnikova E. V. Ocenka geologo-geohimicheskogo sostojanija prirodnyh sred v rajone Unal'skogo hvostohranilishha SSKK [Assessment of the geological and geochemical status of natural environments in the area of the Unal tailings dump of the SSRC]. 3-ja jekologičeskaja konferencija studentov i molodyh učenyyh vuzov g. Moskvy «Ohrana okružhajushhej sredy na poroge 3-go tysjacheletija i v interesah ustojchivogo razvitija». M. 1999. Pp. 127-130. (in Russian)
8. Prjanichnikova E. V. Formy nahozhdenija tjazhelyh metallov v pochvah gornorudnogo rajona [Forms of heavy metals in the soils of the mining region]. XI Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija «Lomonosov – 2004» M. 2004a. Pp. 146. (in Russian)
9. Prjanichnikova E. V. Ocenka zagrjaznenija poverhnostnyh vod i donnyh otlozhenij tjazhelymi metallami v gorno-rudnom rajone [Assessment of pollution of surface waters and bottom sediments with heavy metals in the mining area]. V mezhvuzovskaja molodezhnaja nauchnaja konferencija «Shkola jekologičeskoj geologii racional'nogo nedropol'zovanija». SPb. 2004b. Pp. 273-275. (in Russian)
10. Prjanichnikova E. V. Jekologo-geohimicheskie issledovanija v gorno-rudnyh rajonah (na primere Severnoj Osetii) [Ecological and geochemical research in mining ore areas (on the example of North Ossetia)]. Vestnik Moskovskogo universiteta: serija 4. Geologija. 2005. No. 2. Pp. 48-54. (in Russian)

11. Prjanichnikova E. V., Semenov Ju. N., Shestakova T. I. Ocenka geologo-geohimicheskogo sostojanija prirodnyh sred v rajone Unal'skogo hvostohranilishha [Evaluation of geological and geochemical condition of natural environments in the area of the Unal tailings]. Materialy Mezhdunarodnoj konferencii «Jekologicheskaja geologija i racional'noe nedropol'zovanie». SPb. 2000. Pp. 225-226. (in Russian)