

ВАРИАЦИИ СОДЕРЖАНИЙ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДАХ ФИАГДОНСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА (РЕСПУБЛИКА СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ)

А.Г. Гурбанов¹, А.Б. Лексин², В.М. Газеев³, О.А. Гурбанова⁴,
А.Б. Лолаев⁵, Л.Е. Цуканова⁶, В.Э. Илаев⁷,
С.О. Дзэбоев⁸, А.Х. Оганесян⁹

Аннотация. В статье впервые публикуются данные, полученные количественным методом РФА (XRF), о вариациях содержаний макро- и микроэлементов в вертикальных разрезах в захороненных промышленных отходах (по данным бурения трех скважин) Фиагдонского хвостохранилища, на всю его мощность (10 м, 22 м и 31,5 м с востока на запад, соответственно). Хвостохранилище Фиагдонской обогатительной фабрики (ФОФ) расположено в пойме р. Хаником-дон (правый приток р. Фиагдон, в 2,5 км к северу от пос. Верхний Фиагдон). Площадь хвостохранилища около 56 000 м². В нем захоронено, по данным ФОФ, 2,4 млн тонн промышленных отходов с содержаниями (в масс. %): **Pb** – 0,19 (запасы – 4 560 т); **Zn** – 0,36 (запасы – 8 400 т); **Cu** – 0,12 (запасы – 2 880 т); **Fe** – 6,8 (запасы – 163 200 т); **Ti** – 0,16 (запасы – 3 840 т); **Mn** – 0,14 (запасы – 3 360 т); **Ag** – 4,0 г/т (запасы – 9,6 т).

Вариации в распределении содержаний макро- и микроэлементов в вертикальных разрезах на всю мощность хвостохранилища в разных его частях, с востока на запад (800 м по латерали), заключаются в том, что вниз по вертикальному разрезу происходит увеличение содержаний TiO_2 , Fe_2O_3 , **S**, **Cu**, **Zn**, **Rb**, **Sr**, **Zr**, **Ba**, **Pb**, **As** и уменьшение содержаний **MnO**, **Cr**, **V**, **Ni**, **Y**.

По рассчитанным средним величинам содержаний ряда элементов в керне скважин впервые выявлены следующие латеральные вариации с востока на запад:

- постепенное снижение содержания (оксидов и S в масс. %, элементы в г/т здесь и далее): TiO_2 (0.81-0.72-0.61), P_2O_5 (0.127-0.117-0.110), **Cr** (102-89.8-77), **V** (127-100.9-96), **Co** (13.7-13.3-11), **Ni** (34.7-31-29), **Cu** (388-358-353), **Zn** (1944-1930-1687), **Rb** (187-158-132), **Zr** (179-158-128), **Ba** (659-572-544), **Pb** (3 045-2 816-2 165);

- постепенное увеличение содержаний: **S** (2,22-2.55-2.91), **As** (904-1 181-1 333);

- постепенное увеличение содержания в центральной части и его снижение в западной части: **MnO** (0.19-0.31-0.12), Fe_2O_3 (8.72-9.68-6.92);

- постепенное снижение содержания в центре хранилища и увеличение на его западном крае: **Sr** (61.9-54.5-116), **Nb** (10.8-7.4-9.8).

В связи с тем, что полученные нами новые данные о величинах средних содержаний ряда элементов оказались выше или ниже средних содержаний этих же элементов, использованных Фиагдонским ГОКом для подсчета запасов металлов, хранящихся в хвостохранилище, их условные запасы могут измениться следующим образом: **Pb** содержание было 0,19 %, стало 0,267; запасы были 4 560 т, а стали – 6 408 т; **Zn** содержание было 0,36 %, стало 0,2; запасы были 8 400 т, а стали – 4 667 т; **Cu** содержание было 0,12 %, стало 0,038; запасы были 2 880 т стали 912 т; **Fe** содержание было 6,8 %, стало 9,04; запасы были 163 200 т, а стали 216 960 т; **Ti** содержание было 0,16 %, стало 0,71 %; запасы были 3 840 т, стали 17 040 т; **Mn** содержание было 0,14 %, стало 0,235; запасы были 3 360 т, стали – 5 640 т. После получения результатов исследований всех еще не проанализированных проб (35 проб из керна скважин и 24 пробы из поверхностного слоя [0,3–0.5 м] хвостохранилища) запасы ряда металлов могут еще увеличиться, что сделает разработку способа полной утилизации отходов, с предварительным извлечением из них экономически ценных и экологически опасных элементов, более привлекательным мероприятием с экономической точки зрения.

Ключевые слова: Фиагдонское хвостохранилище, содержания макро- и микроэлементов, буровые скважины, катастрофические события, вариации в распределении содержаний элементов в вертикальных разрезах промышленных отходов.

¹ Гурбанов Анатолий Георгиевич – к. г.-м. н., в. н. с. КНИО ВНЦ РАН, г. Владикавказ; в. н. с. лаборатории петрографии ИГЕМ РАН, г. Москва (gurbanov@iget.ru).

² Лексин Алексей Борисович – сотрудник лаборатории «Геоинформатики», ИГЕМ РАН, г. Москва (lexin@iget.ru).

³ Газеев Виктор Магалимович – к. г.-м. н., с. н. с. КНИО ВНЦ РАН, г. Владикавказ; н. с., лаборатории петрографии ИГЕМ РАН, г. Москва (gazeev@iget.ru).

⁴ Гурбанова Ольга Александровна – к. х. н., ассистент, геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова (gur_o@mail.ru).

⁵ Лолаев Алан Батразович – д. т. н., профессор, зав. каф. ФГБОУ СКГМИ (ГТУ), г. н. с. КНИО ВНЦ РАН, г. Владикавказ (abl-2010@mail.ru).

⁶ Цуканова Лада Евгеньевна – н. с., ООО «ГЕОИНЖЕНИРИНГ», г. Владикавказ.

⁷ Илаев Виталий Эрикович – аспирант ФГБОУ СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ (ive.2015@yandex.ru).

⁸ Дзэбоев Станислав Олегович – аспирант ФГБОУ СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ (dzeboev.stas@mail.ru).

⁹ Оганесян Алексан Хачатурович – к. т. н., доцент ФГБОУ СКГМИ (ГТУ), н. с. КНИО ВНЦ РАН, г. Владикавказ (pushkin1984@rambler.ru).

ВВЕДЕНИЕ

Хвостохранилище Фиагдонской обогатительной фабрики (ФОФ) расположено в пойме р. Хаником-дон (правый приток р. Фиагдон, в 2,5 км к северу от пос. Верхний Фиагдон). В северо-восточной части хвостохранилища ФОФ р. Хаником-дон стекает в тоннель сечением около 9 м², длиной 787 м, из которых 684 м пройдены в скальных породах, а 103 м со стороны выходного портала выполнено в форме галереи по дну хвостохранилища. Сечение водоотводного тоннеля принято из расчета пропуска максимального расхода р. Хаником-дон. Однако в 2012 году, в течение пяти дней (15–19 июня) выпало более двух месячных норм осадков, что вызвало формирование крупного паводка по реке Хаником-дон и резко увеличило поверхностный сток по нижнему уступу плотины. Это привело к обрушению перемычки между верхним и нижним порталами. Общая протяженность провала достигла 75 м. В итоге было вынесено в р. Фиагдон и далее в р. Терек 60–70 тыс. м³ насыпных грунтов и хвостов, что привело к загрязнению экологически опасными элементами вод и донных осадков не только р. Фиагдон, но и р. Терек на территориях РСО-А и Чеченской Республики.

Из анализа фотоматериалов, полученных при съемке 20.08.2012 г. партией ЭГП ГУП «Севосетингеоэкомониторинг», сделан вывод о том, что за 2 месяца произошло значительное вымывание и обрушение тела плотины, в котором грунты имеют высокое содержание экологически опасных элементов. Скорее всего, причиной вымывания является значительный поверхностный сток с поверхности хвостохранилища, создаваемый интенсивными атмосферными осадками.

Фиагдонское хвостохранилище (рис. 1) введено в эксплуатацию в 1970 г. и расположено в узком, каньонообразном ущелье в пойме р. Хаником-дон на высоте 1 250 м над уровнем моря. Оно имеет вытянутую в широтном направлении V-образную форму и ограничено с северного и южного бортов скальными выходами песчано-сланцевых (с маломощными графитовыми прослоями) и известняковых толщ ранне-позднеюрского возрастов. От долины р. Фиагдон хвостохранилище отделено высокой насыпной дамбой. Площадь хвостохранилища около 56 000 м². Его длина по ущелью достигает 800 м при ширине от 50 и до 200 м. По данным ФОФ в хвостохранилище захоронено 2,4 млн тонн промышленных отходов с содержаниями (в масс. %): **Pb** – 0,19 (запасы – 4 560 т); **Zn** – 0,36 (запасы – 8 400 т); **Cu** – 0,12 (запасы – 2 880 т); **Fe** – 6,8 (запасы – 163 200 т); **Ti** – 0,16 (запасы – 3 840 т); **Mn** – 0,14 (запасы – 3 360 т); **Ag** – 4,0 г/т

(запасы – 9,6 т) [4]. Из рудных минералов в промышленных отходах выявлены: сфалерит, галенит, халькопирит, пирит, арсенопирит, титаномагнетит и реже барит. Мероприятия по рекультивации и контролю над сохранностью защитного почвенно-растительного слоя рекультивации хвостохранилища не проводятся с момента его закрытия в 2003 г. [1].

Хвостохранилище расположено в сейсмо- и селеопасном районе, где и сейчас наблюдаются малоамплитудные тектонические подвижки. Не исключено, что при возникновении природных катастрофических событий (продолжительные ливневые дожди и наводнение, селевой поток, землетрясение с *M* 6–7) дренажный тоннель и защитная дамба хвостохранилища могут быть разрушены, и тогда вниз по долине р. Фиагдон пойдет техногенный сель, загрязняя экологически опасными элементами все на своем пути, как это частично уже было в 2009 и 2012 г. Такое развитие событий может привести к природно-техногенной катастрофе регионального масштаба.

Промышленные отходы, содержащие тяжелые металлы (ТМ), являются опасными и постоянными загрязнителями окружающей среды. При этом следует учитывать, что многие из ТМ могут передвигаться по пищевым цепям и таким путем оказываться и накапливаться в организме человека. Опасность заключается в том, что ТМ вызывают целый ряд заболеваний, в том числе и онкологических. А в связи с тем, что ТМ практически не выводятся из биогеоценозов, необходимо искать методы их извлечения и утилизации. Решение этой проблемы заключается в следующем:

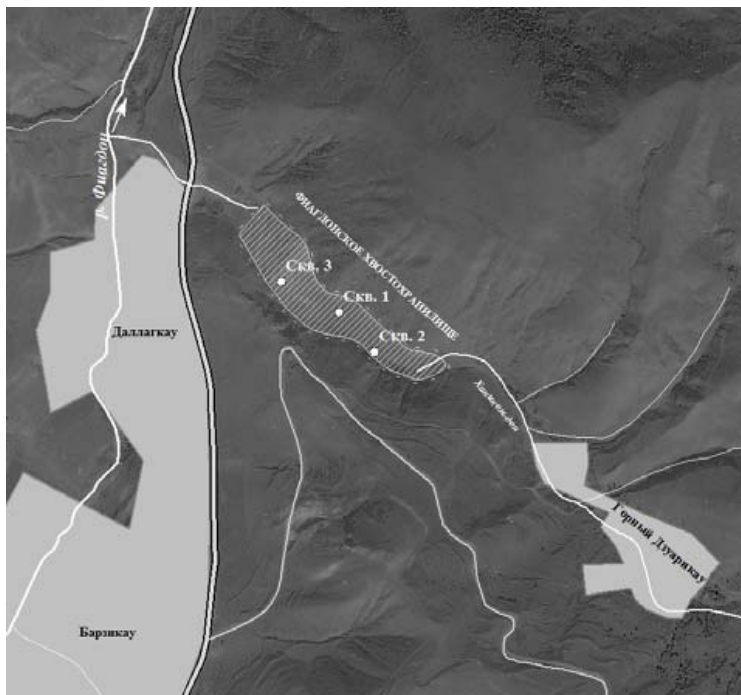


Рис. 1. Схема расположения Фиагдонского хвостохранилища и устьев скважин

- получение количественными методами новых данных о содержании и характере распределения экологически опасных и экономически ценных элементов в вертикальном разрезе на всю мощность Фиагдонского хвостохранилища;

- подготовка обоснования для разработки и создания способа / технологии переработки и полной утилизации промышленных отходов на основе 10–15 серий лабораторных опытов. Разработанная для хвостохранилища № 2 Тырныазского вольфрам-молибденового комбината [2, 3] технология утилизации методом кислотного выщелачивания может быть адаптирована для утилизации промышленных отходов горно-обогатительных (ГОК) и горно-металлургических комбинатов (ГМК) Северного Кавказа и других регионов России.

Переработка захороненных в хвостохранилищах промышленных отходов позволит снизить риски возникновения природно-техногенных катастроф, решить ряд экологических и социальных проблем региона, связанных со здоровьем населения, с созданием новых рабочих мест, а также с извлечением экономически ценных и экологически опасных металлов и получением экологически чистого сырья для производства стройматериалов.

МЕТОДИКИ ОТБОРА ПРОБ И МЕТОДЫ ИХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе экспедиционных работ 2015 г. было проведено опробование поверхностного (глубиной до 0.5 м) слоя хвостохранилища по 5 профилям через каждые 160 м, с отбором в каждом из них по 5 проб, а также из керна трех скважин, пробуренных на всю мощность хранилища в его восточной (скважина № 2 глубиной 10 м), центральной (скважина № 1 глубиной 22 м) и западной (скважина № 3 глубиной 31.5 м) частях. Из керна скважин методом пунктирной борозды с каждого метра отбиралась отдельная проба весом по 100 г каждая. Всего для дальнейших исследований отобрана 71 проба. Так, в скважине № 2 пробами охарактеризованы интервалы от 1.5 м до 10 м., в скважине № 1 – от 1.5 м и до 22 м., а в скважине № 3 – от 1.5 м до 31.5 м. Остатки от керна скважин были объединены в сводные пробы для возможных будущих технологических исследований. Для проб из поверхностного слоя и устьев скважин, с помощью GPS-приемника, фиксировались географические координаты и высотные отметки с занесением их в базу данных, а также проводилась их фотодокументация. Пробы из поверхностного слоя отбирались с помощью пробоотборника на глубину до 0,5 м. Это делалось для получения информации о содержании в этом слое экономически ценных и экологически опасных элементов, которые разносились, до момента рекультивации хвостохранилища, постоянно дующими здесь ветрами в виде пылевидных облаков на пос. Верхний Фиагдон, Стур, Горный Дзуарикау, загрязняя почвы сельхозугодий и природных пастбищ. Керн трех скважин сложен пере-

слаивающимися средне- (с-з) и крупнозернистыми (к-з) лежалыми «песками». Каждая геохимическая проба весом не менее 100 г упаковывалась в двойной герметически закрывающийся полиэтиленовый пакет для длительного хранения, чтобы избежать разложения вторичных (гипергенных) водосодержащих минералов.

Подготовка проб для анализов. Отобранные из захороненных промышленных отходов пробы высушивались, а затем из них методом квартования отбирались навески по 20 г, достаточные для всех видов запланированных исследований количественными методами XRF и ICPMS. После этого все отквартованные части проб дробились и истирались до размера 100 меш для последующих исследований.

Исследования выполнялись в ЦКП «ИГЕМ-АНАЛИТИКА» ИГЕМ РАН. Анализ химического состава проб и определение в них содержания ряда микроэлементов выполнен методом рентгено-флюоресцентной спектрометрии (XRF) 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 РФ41-08-205-99. Подготовка препаратов для анализа оксидов порообразующих 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 г порошка пробы с полистиролом под давлением 5 т/см². Потери при прокаливании (LOI) определялись гравиметрическим способом. Время выдержки при температуре 950° С составляло 30 мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В статье рассмотрены впервые полученные результаты геохимических исследований первых 37 проб из керна 3 скважин, на основании анализа которых были выявлены конкретные вариации в содержаниях макро- и микроэлементов в вертикальных разрезах и по латерали. Результаты геохимических исследований приведены в таблицах № 1, 2, 3 и на рис. 2–4. Рассмотрим их с восточного края хвостохранилища до его западного края.

После получения результатов исследований всех отобранных проб (из керна скважин, из почв сельхозугодий и природных пастбищ и вод в контрольных пунктах р. Фиагдон с притоками) для запланированной в будущем оценки масштабов и степени возможного негативного воздействия захороненных в Фиагдонском хвостохранилище промышленных отходов на экосистему прилегающей территории будет применена следующая извест-

ная классификация элементов по четырем классам опасности. **1 класс (Ti, U, As, Be, Hg)** – чрезвычайно опасные. Экологическая система необратимо нарушена. Период восстановления отсутствует. **2 класс (Cd, Sb, W, Bi, B, Na, Si, Cr, Co, Sr, Pb, Li)** – высокоопасные. Экологическая система сильно нарушена. Период восстановления не менее 30 лет после полного устранения источника вредного воздействия. **3 класс (Mo, Mg, Al, V, Ni, Zn)** – умеренно опасные. Экологическая система нарушена. Период восстановления не менее 10 лет после снижения вредного воздействия от существующего источника. **4 класс (S, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ba)** – малоопасные. Экологическая система нарушена. Период восстановления не менее 3 лет.

В скважине № 2 в восточной части хвостохранилища наблюдаются следующие вариации содержаний макро- и микроэлементов (табл. № 1, рис. 2) в вертикальном 10-метровом разрезе.

Содержание TiO_2 , Cr, V, Cu, Rb, Zr, Th, Y, Nb, в целом, снижается от поверхности к основанию хвостохранилища.

Содержание MnO , Fe_2O_3 общ., CaO, Zn, Pb явно увеличивается вниз по разрезу.

Для содержания P_2O_5 , Ni, Sr, As слабо выражена тенденция к увеличению вниз по разрезу.

Содержание $S_{общ.}$ в общем, по всему разрезу (за исключением двух положительных аномалий на

глубинах 2 м и 9 м) и **Ba** практически постоянное.

В характере распределения содержаний макро- и микроэлементов в вертикальном разрезе восточного края хвостохранилища выявлены следующие особенности на глубинах: **1,5 м** – четко выражены положительные аномалии (максимумы в содержаниях) для TiO_2 , Cr, V, Rb, **Pb**; **2 м** – положительные аномалии для S, Ni, **Zn**; **3 м** – положительные аномалии для Sr, Ba, Y, **As** и отрицательная аномалия (минимальное содержание) для **Pb**; **4 м** – положительная аномалия для Nb; **5 м** – положительные аномалии для TiO_2 , P_2O_5 , **Cu, Zn, Zr**; **6 м** – положительные аномалии для Fe_2O_3 , Cr, **Pb** и отрицательная аномалия для **Cu**; **7 м** – положительные аномалии для MnO , Th и отрицательная аномалия для Nb; **8 м** – положительные аномалии для CaO, **Cu**; **9 м** – положительные аномалии для MnO , Fe_2O_3 , S, **Zn, Rb, Sr, Pb** и отрицательные аномалии для Th, Y; **10 м** – положительные аномалии для MnO , CaO, Ni.

В скважине № 1 в центральной части хвостохранилища наблюдаются следующие вариации содержаний макро- и микроэлементов в вертикальном 22-метровом разрезе.

Содержание TiO_2 , $S_{общ.}$, Cu, Zn, Rb, Zr, Ba, Pb и **As** вниз по разрезу явно увеличивается.

Содержание MnO , Fe_2O_3 общ., V, Sr, в целом, вниз по разрезу слабо увеличивается.

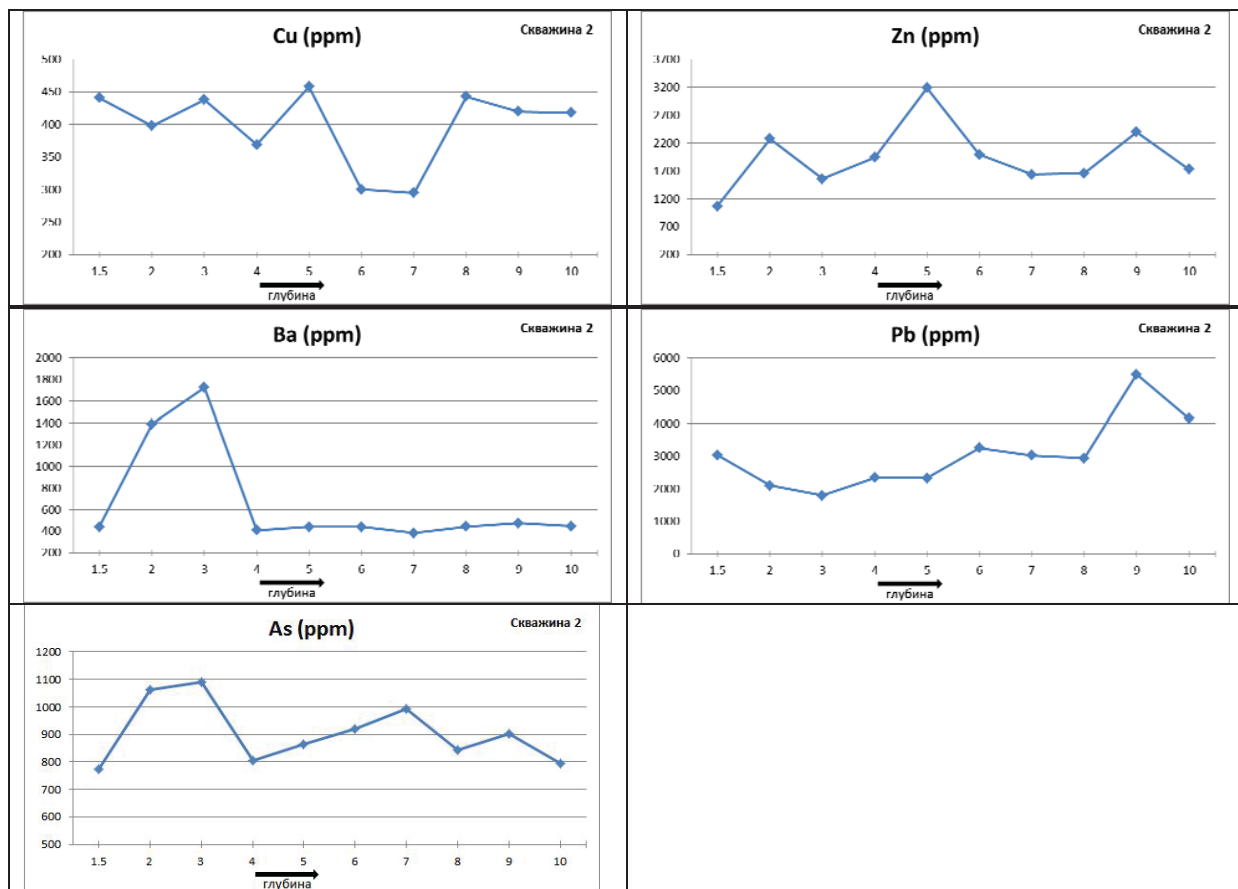


Рис. 2. Графики распределения содержаний элементов в пробах из керна скважины № 2

Таблица № 1
Результаты анализа проб керн из скважины № 2 методом РФА

Номер пробы и глубина отбора	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃ общ.	P ₂ O ₅	S общ.	CaO	Cr	V	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Ba	Th	Y	Nb	Pb	As
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
1.5	0,85	0,13	6,96	0,13	1,83	2,01	129	142	12	34	441	1067	207	61	184	441	11	15	11	3038	772
2	0,80	0,11	7,46	0,13	2,44	1,72	104	125	17	37	398	2277	175	73	179	1390	13	16	11	2100	1061
3	0,81	0,12	7,71	0,13	2,17	1,71	100	127	13	36	438	1558	171	81	181	1726	14	19	11	1790	1089
4	0,84	0,15	8,04	0,12	2,06	1,65	85	136	15	36	369	1940	190	57	185	410	10	17	12	2341	806
5	0,86	0,15	8,54	0,14	2,26	2,38	96	131	16	34	458	3187	186	56	189	441	15	15	11	2330	864
6	0,83	0,25	9,85	0,13	2,25	1,86	112	125		35	300	1990	188	53	188	439	16	10	11	3255	919
7	0,74	0,26	9,36	0,12	2,18	2,87	90	114		32	295	1635	172	52	164	382	18	8	10	3022	993
8	0,82	0,20	9,02	0,12	2,30	2,94	104	127	11	32	443	1659	194	59	176	442	7	15	11	2934	843
9	0,80	0,27	10,50	0,12	2,61	2,62	102	119	14	31	420	2398	205	58	173	475	2	5	10	5492	903
10	0,79	0,27	9,77	0,13	2,11	2,92	95	109	12	40	418	1730	185	69	175	447	7	8	10	4147	793
Среднее из 13	0,81	0,19	8,72	0,127	2,22	2,77	102	127	13,75	34,7	388	1944	187	61,9	179	659	11,3	12,8	10,8	3045	904

Таблица № 2
Результаты анализа проб керн из скважины № 1 методом РФА

Номер пробы и глубина отбора	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃ общ.	P ₂ O ₅	S общ.	CaO	Cr	V	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Ba	Th	Y	Nb	Pb	As
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
1.5/16	0,67	0,11	5,7	0,12	1,89	2,04	94	95	12	30	176	1238	121	44	156	288	6	20	11	990	701
2/16	0,43	1,28	19,9	0,09	2,02	1,92	82	47		22	161	2287	136	51	115	728	3	6	7	7894	781
3/16	0,69	0,26	8,63	0,12	2,35	1,57	104	96	14	32	239	2396	139	58	164	877	19	7	10	2389	955
4/16	0,79	0,26	9,53	0,13	2,12	2,33	105	114	16	38	349	1758	164	73	176	1436	6	13	10	2618	887
5/16	0,8	0,18	8,72	0,12	2,51	1,95	109	127	12	32	478	1563	180	62	179	656	14	12	11	2262	1169
7/16	0,78	0,351	10,79	0,13	2,32		93	112	14	33	358	1599	177	58	175	585		<10	<10	3169	1007
9/16	0,64	0,516	12,05	0,11	2,22		71	83	13	31	298	2139	141	48	145	454		<10	<10	3861	855
12/16	0,58	0,195	9,09	0,11	3,35		56	79	17	38	292	1953	113	42	111	256		11	<10	1323	2012
15/16	0,77	0,305	10,15	0,12	2,67		94	104	<10	31	437	1649	188	54	164	465		<10	<10	4123	1066
17/16	0,77	0,116	7,63	0,12	2,84		89	119	15	28	413	2179	184	52	169	374		11	11	2250	1614
19/16	0,77	0,146	7,04	0,12	2,71		95	117	13	30	422	1654	173	56	170	449		15	11	1606	1535
20/16	0,75	0,197	9,70	0,12	3,24		84	99	10	30	533	1988	155	56	165	438		16	<10	2277	1011
21/16	0,79	0,131	6,92	0,12	2,87		91	120	<10	28	498	2688	186	55	170	433		12	11	1846	1764
Среднее из 13	0,72	0,31	9,68	0,117	2,55	1,96	89,8	100,9	13,3	31	358	1930	158	54,5	158	572	-	-	7,4	2816	1181

Для P_2O_5 , Cr, Co, Ni, Y и Nb, в целом, вниз по разрезу не проявлена тенденция к явному увеличению или снижению их содержания.

В вариациях содержаний макро- и микроэлементов в разрезе в центральной части хвостохранилища выявлены следующие особенности на глубинах: **1,5 м** – положительная аномалия для Y и отрицательные аномалии для Fe_2O_3 , Zn, Ba, Pb, As; **2 м** – положительные аномалии для MnO, Fe_2O_3 , Pb и отрицательные аномалии для TiO_2 , V, Ni, Cu, Zr, Y; **3 м** – положительная аномалия для Zn; **4 м** – положительные аномалии для P_2O_5 , Ni, Sr, Ba; **5 м** – положительные аномалии для TiO_2 , Cr, V, Cu, Rb, Zr; **7 м** – положительная аномалия для P_2O_5 ; **9 м** – положительная аномалия для Zn; **12 м** – положительные аномалии для S, Ni, As и отрицательные аномалии для Cr, Rb, Sr, Zr, Ba; **15 м** – положительная аномалия для Rb; **17 м** – положительные аномалии для V, Zn, As; **20 м** – положительные аномалии для S, Cu; **21 м** – положительные аномалии для TiO_2 , Zn, Pb, As.

В скважине № 3 в западной части хвостохранилища наблюдаются следующие вариации содержаний макро- и микроэлементов в вертикальном 31-метровом разрезе.

Содержание TiO_2 , MnO, Fe_2O_3 общ., V, Cu, Zn, Rb, Zr, Ba, Pb, As явно увеличивается вниз по разрезу.

Содержание P_2O_5 , $S_{общ.}$, Cr явно снижается вниз по разрезу.

Содержание Ni, Y, в общем, вниз по разрезу слабо снижается.

Содержание Sr и Nb в разрезе практически стабильное.

В характере распределения содержания макро- и микроэлементов в разрезе в западной части хвостохранилища выявлены следующие особенности на глубинах: **1,5 м** – положительные аномалии для P_2O_5 , S, Cr, As и отрицательные аномалии для MnO, Zr; **4 м** – положительные аномалии для MnO, Fe_2O_3 , Ni и отрицательные аномалии для Cu, Pb; **7 м** – положительные аномалии для TiO_2 , MnO, Zn, Zr; **14 м** – положительные аномалии для Zn, As; **22 м** – положительная аномалия для As; **26 м** – положительные аномалии для Ba, Pb и отрицательные аномалии для MnO, P_2O_5 ; Cr, Ni, Zr; **27 м** – положительные аномалии для V, Rb, Sr, Ba, Pb; **28 м** – положительные аномалии для TiO_2 , Cu, Zn; **31 м** – положительные аномалии для TiO_2 , P_2O_5 , Zr.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые выявлены вариации содержаний макро- и микроэлементов в вертикальных разрезах на всю мощность Фиагдонского хвостохранилища в разных его частях с востока на запад (800 м по ла-

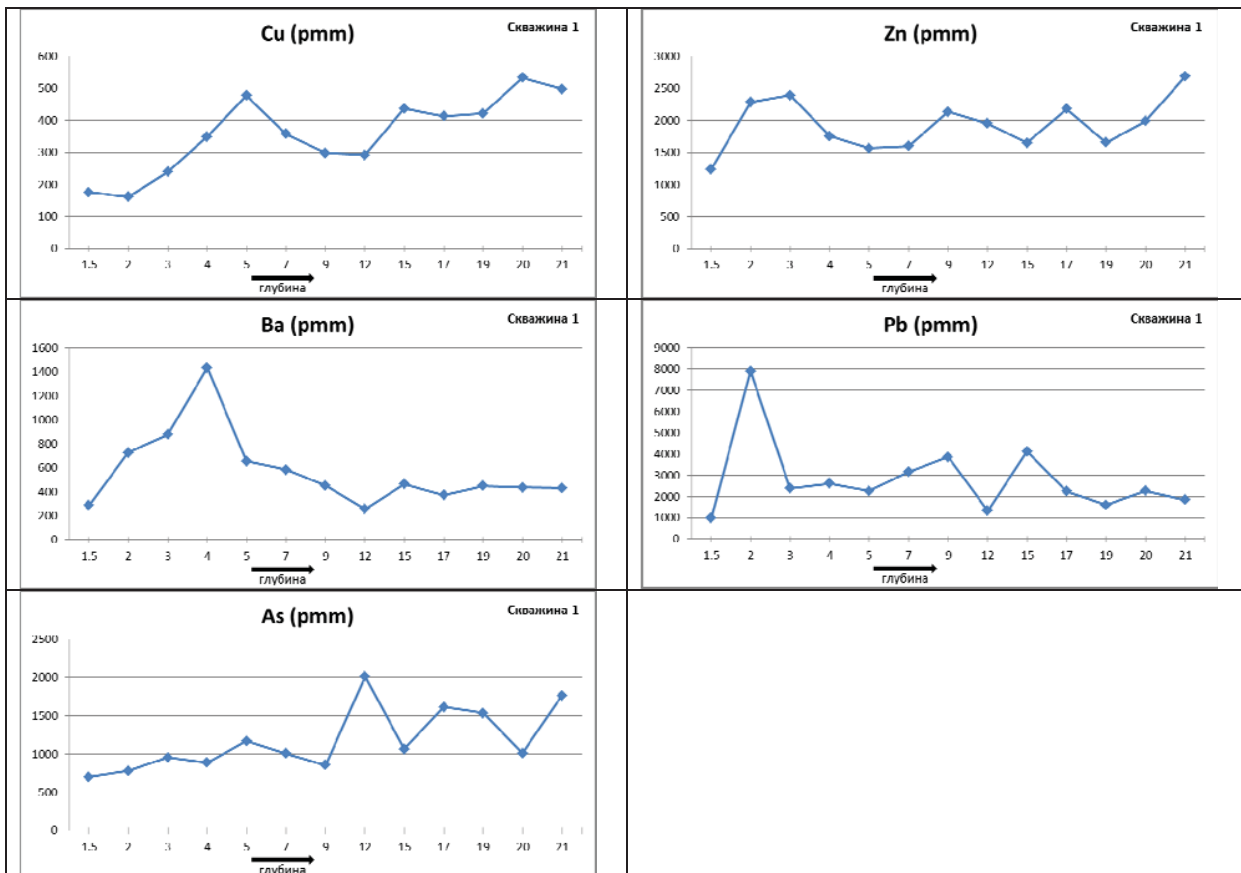


Рис. 3. Графики распределения содержаний элементов в пробах из керн скважины № 1

Таблица № 3

Результаты анализа проб керн из скважины № 3 методом РФА

Номер пробы и глубина отбора	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃ общ.	P ₂ O ₅	S общ.	Cr	V	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Ba	Y	Nb	Pb	As
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
1.5/16	0.54	0.044	8.02	0.15	4.79	110	80	12	38	1194	1413	104	48	100	620	<10	<10	1586	2300
4/16	0.59	0.165	9.15	0.10	3.52	69	72	13	43	132	1214	98	42	129	232	22	<10	594	1059
7/16	0.68	0.358	10.20	0.12	2.24	89	94	13	33	308	2263	140	51	144	623	13	<10	2600	886
10/16	0.64	0.177	8.17	0.12	2.51	79	89	13	31	215	1290	124	48	132	310	13	<10	1801	1009
14/16	0.54	0.169	7.52	0.10	2.63	65	78	12	31	305	2702	115	39	107	254	<10	<10	1512	1428
17/16	0.57	0.119	6.44	0.11	2.92	58	78	<10	27	191	1478	106	38	122	246	12	10	763	1104
22/16	0.63	0.109	5.98	0.12	2.53	73	90	11	26	270	2040	118	48	135	493	15	10	1067	1646
24/16	0.57	0.110	5.80	0.11	2.34	64	85	<10	24	225	2108	118	43	124	398	<10	<10	1481	1235
26/16	0.49	0.049	4.84	0.09	3.04	41	122	<10	21	236	1120	153	436	102	26961	<10	10	5258	1395
27/16	0.60	0.044	5.55	0.09	3.17	48	134	<10	25	318	933	172	485	114	32219	<10	10	5811	1311
28/16	0.70	0.076	5.96	0.11	2.97	72	118	11	28	546	2158	163	184	138	10053	<10	11	2733	1269
29/16	0.65	0.094	6.22	0.12	2.72	80	94	19	27	299	1677	130	51	141	1055	10	11	1395	1429
30/16	0.66	0.117	6.50	0.12	2.51	74	98	<10	28	347	1519	144	54	137	1062	14	10	1652	1284
31/16	0.72	0.102	6.72	0.12	2.80	82	115	14	30	359	1699	165	53	159	713	10	11	2059	1304
Среднее по 14	0,61	0,124	6,93	0,11	2,91	77	96	11	29	353	1687	132	116	128	5449	11,8	9,8	2165	1333

терали), заключающиеся в том, что вниз по разрезу происходит увеличение содержаний TiO_2 , Fe_2O_3 , S, **Cu**, **Zn**, Rb, Sr, Zr, Ba, **Pb**, **As** и уменьшение содержаний MnO, Cr, V, Ni, Y, что могло быть связано: а) с количественным изменением минерального состава руд, при постоянной технологии процесса флотации; или б) с временными сбоями в технологии процесса флотации.

2. По рассчитанным средним величинам содержаний ряда экономически ценных и экологически опасных элементов в керне скважин, пробуренных на всю мощность хвостохранилища с востока на запад (восточный край, скв. № 2, мощность 10 м; центр, скв. № 1, мощность 22 м; западный край, скв. № 3, мощность 31,5 м) впервые выявлены следующие их особенности с востока на запад:

- постепенное снижение содержания для: TiO_2 (0.81-0.72-0.61), P_2O_5 (0.127-0.117-0.110), Cr (102-89.8-77), V (127-100.9-96), Co (13.7-13.3-11), Ni (34.7-31-29), **Cu** (388-358-353), **Zn** (1944-1930-1687), Rb (187-158-132), Zr (179-158-128), Ba (659-572-544), Pb (3045-2816-2165);

- постепенное увеличение содержаний для: S (2,22-2.55-2.91), **As** (904-1181-1333);

- постепенное увеличение содержания в центральной части и его снижение в западной части для: MnO (0.19-0.31-0.12), Fe_2O_3 (8.72-9.68-6.92);

- постепенное снижение содержания в центре

хранилища и увеличение на его западном крае для: Sr (61.9-54.5-116), Nb (10.8-7.4-9.8).

3. Наблюдаемые в скважине № 2 положительные аномальные содержания (в г/т): Ba (1 726), **As** (1 089) на глубине 3 м, скорее всего, обусловлены (здесь и далее в скв. № 1 и 3): а) появлением в рудных телах месторождений Фиагдон, Какадур-Хаником богатой вкрапленности рудных минералов (в данном случае барита и арсенопирита) при неизменении технологии процесса флотации; или б) сбоями в процессе флотации; CaO (2,38 %), **Cu** (458), **Zn** (3 187) на глубине 5 м обусловлены увеличением в рудах количества карбонатов, халькопирита, сфалерита; **Pb** (549) на глубине 9 м связано с увеличением в рудных телах вкрапленности галенита.

Выявленные в скважине № 1 положительные аномальные содержания: MnO (1,28), Fe_2O_3 (19,9), Pb (7 894) на глубине 2 м, вероятно, вызваны появлением в рудных телах резко повышенных количеств минералов марганца, пирита, гематита и галенита; **Zn** (2 396) на глубинах 3 м и (2 688) на 21 м обусловлено появлением в рудных телах густой вкрапленности сфалерита; Ba (1 436) на глубине 4 м; **Cu** (478) на глубине 5 м объясняется появлением в рудных телах месторождений более богатой, по сравнению с предыдущими и последующими интервалами глубин, вкрапленности халькопирита и барита; S (3,35 %), **As** (2 012) на глубине 12 м свя-

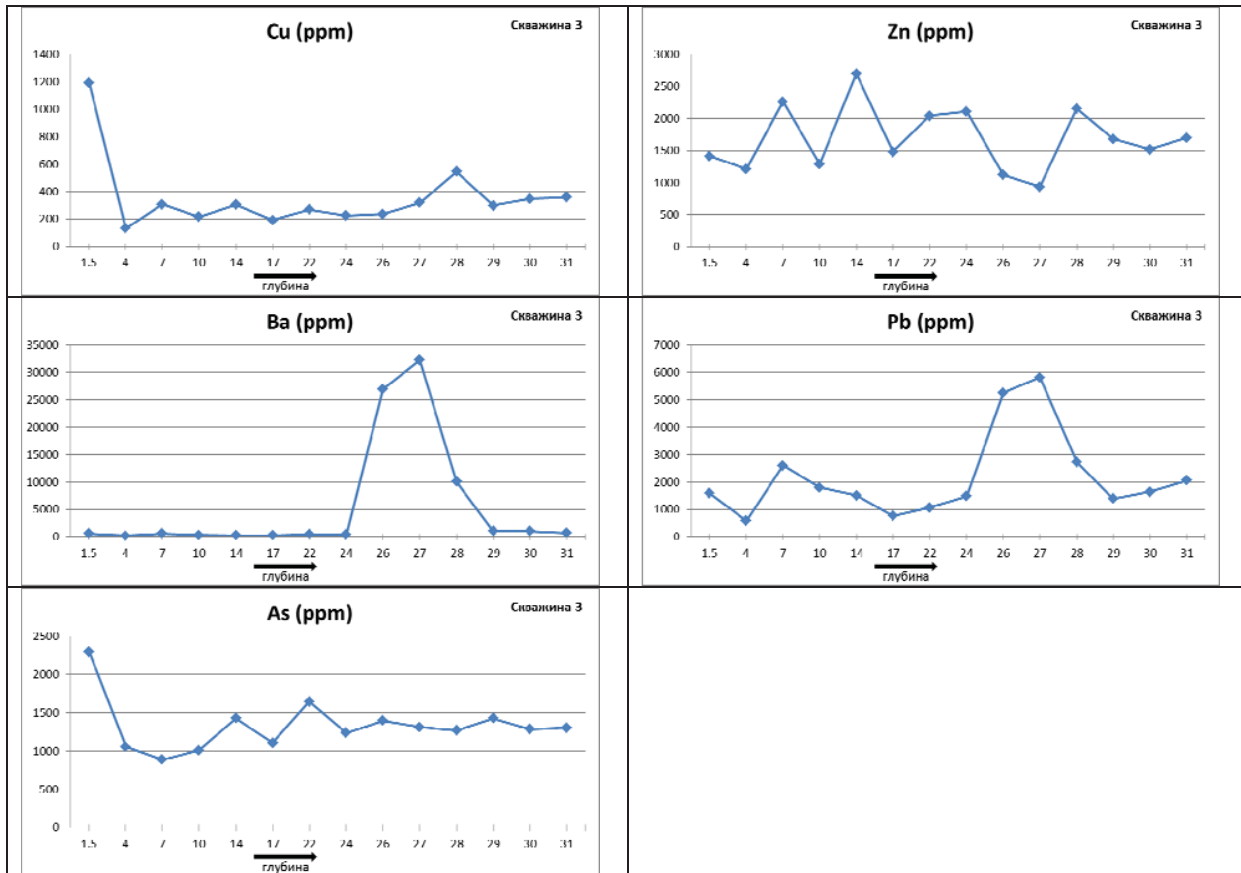


Рис. 4. Графики распределения содержаний элементов в пробах керна скважины № 3

зано, скорее всего, с появлением в рудных телах богатой вкрапленности пирита и арсенопирита; **Cu** (533) на глубине 20 м обусловлено появлением в рудных телах более богатой, по сравнению с предыдущими и последующими интервалами глубин, вкрапленности халькопирита.

Зафиксированные в скважине № 3 положительные аномальные содержания: **S** (4,79 %), **Cu** (1 194), **As** (2 300) на глубине 1,5 м обусловлены появлением в рудных телах месторождений Фиагдон, Какадур-Хоником богатой вкрапленности халькопирита и арсенопирита; **MnO** (0,358), **Fe₂O₃** (10,2 %) на глубине 7 м связано с появлением в рудных телах большого количества минералов марганца и пирита; **Zn** (2 702) на глубине 14 м обусловлено появлением в рудных телах богатой вкрапленности сфалерита; **Va** (32 219), **Pb** (5 811) на глубине 27 м – появлением в рудных телах практических мономинеральных баритовых и галенитовых прожилков.

4. На основании новых геохимических данных рассчитаны средние содержания оксидов (в масс. %) и ряда элементов (в г/т) в хвостохранилище. Они составили для: **TiO₂** = 0,71; **MnO** = 0,208; **Fe₂O₃** = 9,04; **P₂O₅** = 0,118; **S** = 2,55; **CaO** = 237,5; **Cr** = 89,7; **V** = 108; **Co** = 12,7; **Ni** = 31,6; **Cu** = 380; **Zn** = 1993;

Rb = 159; **Sr** = 77,5; **Zr** = 155; **Ba** = 2 226; **Nb** = 9,3; **Pb** = 2 675; **As** = 1 139. В связи с тем, что на данном этапе исследований нами получены данные, превышающие средние содержания, использованные Фиагдонским ГОКом для подсчета запасов ряда металлов, хранящихся в хвостохранилище, их запасы могут измениться следующим образом: **Pb** – содержание было 0,19 %, стало 0,267, запасы были 4 560 т, а стали 6 408 т; **Zn** – содержание было 0,36 %, стало 0,2, запасы были 8 400 т, а стали 4 667 т; **Cu** – содержание было 0,12 %, стало 0,038, запасы были 2 880 т, стали 912 т; **Fe** – содержание было 6,8 %, стало 9,04, запасы были 163 200 т, а стали 216 960 т; **Ti** – содержание было 0,16 %, стало 0,71 %, запасы были 3 840 т, стали 17 040 т; **Mn** – содержание было 0,14 %, стало 0,235, запасы были 3 360 т, стали 5 640 т. После получения результатов исследований всех еще не проанализированных проб (35 проб из керна скважин и 24 пробы из поверхностного слоя [0,3–0,5 м] хвостохранилища) запасы ряда металлов могут еще увеличиться, что сделает разработку способа полной утилизации отходов, с предварительным извлечением из них экономически ценных и экологически опасных элементов, более привлекательным мероприятием с экономической точки зрения.

Работа выполнена по плану НИР ИГЕМ РАН №0136-2018-0036 - Проект 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» при финансовой поддержке НИОКТР КНИО ВНИЦ РАН: АААА-А17-117060910043-8на 2018 г.

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. Винокуров С.Ф., Гурбанов А.Г., Шевченко А.В., Дударов З.И. (54) Способ утилизации слабокарбонатных отходов флотационного обогащения вольфрамо-молибденовых руд // RU (11) 2 627 656(13) С1. Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 09.08.2017. Бюл. № 22.
3. Винокуров С.Ф., Богатиков О.А., Гурбанов А.Г., Карамурзов Б.С., Газеев В.М., Лексин А.Б., Шевченко А.В., Долов С.М., Дударов З.И., Серегин О.Д., Сычкова В.А. Экологические риски хранения отходов Тырныаузского

вольфрамо-молибденового комбината и проблемы их комплексной утилизации // Изд. КБГУ. г. Нальчик. 2018. 130 с. ISBN 975-5-7558-0585-8.

4. 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 «Севосцветметразведка». 1996. 103 с.

VARIATIONS IN THE CONTENT OF MACRO- AND MICROELEMENTS IN VERTICAL SECTIONS OF INDUSTRIAL WASTES OF THE FIAGDON TAILING DUMP (REPUBLIC OF NORTH OSSETIA-ALANIA)

A.G. Gurbanov², A.B. Leksin¹, V.M. Gazeev^{1,2}, O.A. Gurbanova⁴, A.B. Lolaev^{2,3}, L.E. Tsukanova⁵, V.E. Ilaev³, S.O. Dzeboev³, O.H. Oganessian^{2,3}

1 – Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation Federal State Budgetary Institute of Science Institute of Geology of Ore Deposits of Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS) (gurbanov@igem.ru).

2 – Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation The Federal State Budgetary Institution of Science "Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (VSC RAS)

3 – The Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "The North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University) (SKGMI (STU))

4 – Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Moscow State University named after MV Lomonosov" (MSU)

5 – Ltd NPO GEOINZHINIRING, Vladikavkaz, RNO-A

Abstract. The data obtained by means of the quantitative XRF method on the variations in the content of macro- and microelements in vertical sections of industrial wastes (according to drilling data from three wells) of the Fiagdon tailing dump, for its overall capacity (10 m, 22 m and 31.5 m from the east to the west, respectively).

The tailing pond of the Fiagdon concentrating factory (FCF) is located in the floodplain of the Hanikom-don river (the right tributary of the Fiagdon river, in 2.5 km to the north from the Verkhnyi Fiagdon village). The area of the tailing dump is about 56 000 sq.m. According to the FCF data about 2.4 million tons of industrial wastes were buried in the tailing dump with the content (in mass %): Pb - 0.19 - reserves - 4560 tons; Zn - 0.36 - reserves - 8400 tons; Cu - 0.12 - reserves - 2880 tons; Fe - 6.8 - reserves - 163200 tons; Ti - 0.16 - reserves - 3840 tons; Mn - 0.14 - reserves - 3,360 tons; Ag - 4.0 g / t. - reserves - 9.6 tons.

Variations in the distribution of the content of macro- and microelements in vertical sections on the entire thickness of the tailings in different parts of it from the east to the west (800 m in the lateral) lies in the fact that there is an increase in the content along the vertical section occurs: TiO_2 , Fe_2O_3 , S, Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Ba, Pb, As and there is also a decrease in the content of: MnO, Cr, V, Ni, Y. Based on the calculated average values of the contents of a number of elements in the core of wells the following lateral variations in their distribution from east to west were revealed for the first time:

- gradual decrease in content for (oxides in mass%, for the elements in g/t hereinafter): TiO_2 (0.81-0.72-0.61), P_2O_5 (0.127-0.117-0.110), Cr (102-89.8-77), V (127-100.9-96), Co (13.7-13.3-11), Ni (34.7-31-29), Cu (388-358-353), Zn (1944-1930-1687), Rb (187- 158-132), Zr (179-158-128), Ba (659-572-544), Pb (3045-2816-2165);

- gradual increase in content for: S (2.22-2.55-2.91), As (904-1181-1333);

- gradual increase in content in the central part and its decrease in the western part for: MnO (0.19-0.31-0.12), Fe_2O_3 (8.72-9.68-6.92);

- gradual decrease in content in the center of the storage and an increase on its western part for: Sr (61.9-54.5-116), Nb (10.8-7.4-9.8).

Due to the fact that our new data obtained exceeds the average levels of content used by the Fiagdon GOK for calculating the metal reserves stored in the tailing pond, their conditional reserves should change as follows: Pb content was 0.19% became 0.267 reserves were 4560 tons became - 6408 tons; Zn - the content was 0.36% became 0.2 the reserves were 8400 tons. and became - 4667 tons; Cu - the content was 0.12% became 0.038 the reserves were 2880 tons became 912 tons; Fe - the content was 6.8 % became 9.04 the reserves were 163200 tons. became 216960 tons, Ti - the content was 0.16% became 0.71%, the reserves were 3840 tons became 17040 tons; Mn - the content was 0.14% became 0.235 the reserves were 3360 tons became - 5640 tons.

After receiving the research results of t of all yet unanalyzed samples (35 samples from the core of the wells and 24 samples from the surface layer [0.3-0.5 m] of the tailing dump), reserves of a number of metals may still increase, which will make the development of the full waste utilization method, with the preliminary extraction of economically valuable and environmentally hazardous elements, a more attractive measure from an economic perspective.

Keywords: the Fiagdonsky tailing pond, the content of macro- and microelements, wells, catastrophic events, variations in distribution of elements content in vertical sections of industrial waste.

REFERENCES

1. Vagin V.S., Golik V.I. *Problemy ispol'zovaniya prirodnikh resursov Yuzhnogo federal'nogo okruga // Uchebnyk dlya vuzov.* – Vladikavkaz: Proekt-Press, 2005. 192 s.
2. Vinokurov S.F., Gurbanov A.G., Shevchenko A.V., Dudarov Z.I. (54) *Sposob utilizatsii slabokarbonatnykh otkhodov flotatsionnogo obogashcheniya vol'framo-molibdenovykh rud // RU (11) 2 627 656(13) C1. Federal'naya sluzhba po intellektual'noy sobstvennosti.* 09.08. 2017.Byul. №22.
3. Vinokurov S.F., Bogatkov O.A., Gurbanov A.G., Karamurзов B.S., Gazeev V.M., Leksin A.B., Shevchenko A.V., Dolov S.M., Dudarov Z.I., Seregin O.D., Sychkova V.A. *Ekologicheskie riski khraneniya otkhodov Tyrnyauzskogo vol'framo-molibdenovogo kombinata i problemy ikh kompleksnoy utilizatsii // Izd. KBGU. g. Nal'chik.* 2018. 130 s. ISBN 975-5-7558-0585-8.
4. Gazdanov A. Ts. i dr. *Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote «Podgotovka ekologicheskoy napryazhennykh lokal'nykh ob'ektov k monitoringu (Otsenka tekhnogennogo vozdeystviya khvostokhranilishch Mizurskoy i Fiagdonskoy obogatitel'nykh fabrik na okruzhayushchuyu sredu). Goskomnedra RSO-A, geologicheskoe nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Sevosgeonauka». Fond FGGRUP «Sevostsvetmetrazvedka». 1996. 103 s.*

