

ЗАКОНОМЕРНОСТИ В ХАРАКТЕРЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ И ПО ЛАТЕРАЛИ СОДЕРЖАНИЙ БАЗОВЫХ МЕТАЛЛОВ В КЕРНЕ СКВАЖИН В ФИАГДОНСКОМ ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ (РЕСПУБЛИКА СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ)

А.Г. Гурбанов¹, А.Б. Лексин², В.М. Газеев³, О.А. Гурбанова⁴,
А.Б. Лолаев⁵, В.Э. Илаев⁶

Аннотация. В статье впервые публикуются данные о геохимических особенностях захороненных промышленных отходов, полученные количественным методом РФА (проанализированы все (71) пробы, отобранные из керна трех скважин, пробуренных на всю мощность хвостохранилища – 10 м, 22 м и 31,5 м, закономерно увеличивающуюся с востока на запад в соответствии с базисом эрозии долины р. Хаником-дон. На основании анализа полученных геохимических данных выявлены определенные закономерности в характере распределения в вертикальных разрезах содержаний макро- и микроэлементов и в распределении по латерали величин средних содержаний базовых металлов в кернах скважин.

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 и в нем, по данным ФОФ, находится 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; **Mn** – 0,14- запасы – 3 360 т.; **Ag** – 4,0 г/т - запасы – 9,6 т.

Закономерности 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:

- в восточной части хвостохранилища (скважина № 2), в целом, происходит увеличение содержаний: MnO , $Fe_2O_{3\text{общ}}$, $S_{\text{общ}}$, **Zn**, **Pb** и уменьшение содержания **As**, а содержание **Va** практически постоянное, за исключением резкого положительного пика на глубинах 2–3 м;

- в центральной части хвостохранилища (скважина № 1), в целом, происходит увеличение содержаний: **S**, **Cu**, **Zn**, **Va**, **As** и уменьшение содержаний: MnO , а распределение содержания Fe_2O_3 и **Pb** крайне неравномерно;

- в западной части хвостохранилища (скважина № 3) происходит: увеличение содержаний **Cu**, **Zn**, **Va**, **As**, практически постоянное содержание MnO и неравномерный характер распределения Fe_2O_3 , **S**, **Pb**.

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

- постепенное снижение содержания (оксидов и **S** в масс. %, элементы в г/т здесь и далее) : Fe_2O_3 (8.7-7.9-6.2), **Cu** (388-336.2-313), **Pb** (3045-2701-2382);

- постепенное увеличение содержаний: **S** (2,2-2,6-3,0), **As** (904-1066-1372);

- постепенное увеличение содержания в центральной части и его снижение в западной части: MnO (0,19-0,25-0,16), **Zn** (1944-2051-1997);

- постепенное снижение содержания в центре хранилища и увеличение на его западном крае: **Va** (9659-579-4149);

В связи с тем, что полученные нами новые [7] данные о величинах средних содержаний базовых металлов 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 0,2709, запасы были 4 560 т, а стали – 6 501,6 т; **Zn** – содержание было 0,36 %, стало 0,1997, запасы были 8 400 т, а стали – 4 659,7 т; **Cu** – содержание было 0,12 %, стало 0,03457, запасы были 2 880 т, стали 829,7 т; **Fe** – содержание было 6,8 %, стало 8,62, запасы были 163 200 т, а стали – 206 880 т; **Mn** – содержание было 0,14 %, стало 0,201, запасы были 3 360 т, стали – 4 824 т.

После получения результатов исследований еще не проанализированных 24 проб из поверхностного [0,3–0,5 м] слоя 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, еще более привлекательным мероприятием с экономической точки зрения.

Ключевые слова: Фиагдонское хвостохранилище, содержания базовых металлов, буровые скважины, запасы металлов, закономерности 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@igem.ru).

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

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

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

⁶ Илаев Виталий Эрикович – аспирант ФГБОУ СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ (ive.2015@yandex.ru).

ВВЕДЕНИЕ

Хвостохранилище Фиагдонской обогатительной фабрики (ФОФ), на которой обогащались руды Фиагдонского, Какадур-Ханикомского полиметаллических месторождений, расположено в пойме р. Хаником-дон (правый приток р. Фиагдон, в 2,5 км к северу от пос. Верхний Фиагдон) с резко выраженным базисом эрозии. 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 выполнены 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 двухмесячной нормы 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 на протяжении 75 м и в р. Фиагдон было вынесено 60–70 тыс. м³ насыпных грунтов и хвостов, что привело к загрязнению вод и донных осадков экологически опасными элементами 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 «Севостингеозкомониторинг», сделан вывод о том, что за 2 месяца произошло значительное вымывание и обрушение тела плотины, в котором грунты имеют высокое содержание экологически опасных элементов, а вымывание обусловлено значительным поверхностным стоком с поверхности хвостохранилища, созданным интенсивными атмосферными осадками.

Хвостохранилище (рис. 1) введено в эксплуатацию в 1970 г. и расположено в узком, каньонообразном ущелье в пойме р. Хаником-дон, имеющем вытянутую в широтном направлении V-образную форму и ограниченном с северного и южного бортов скальными выходами раннеюрских песчано-сланцевых (с маломощными графитовыми прослоями и кварцевыми микропрожилками) толщ. 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. %) и запасами (в тоннах):

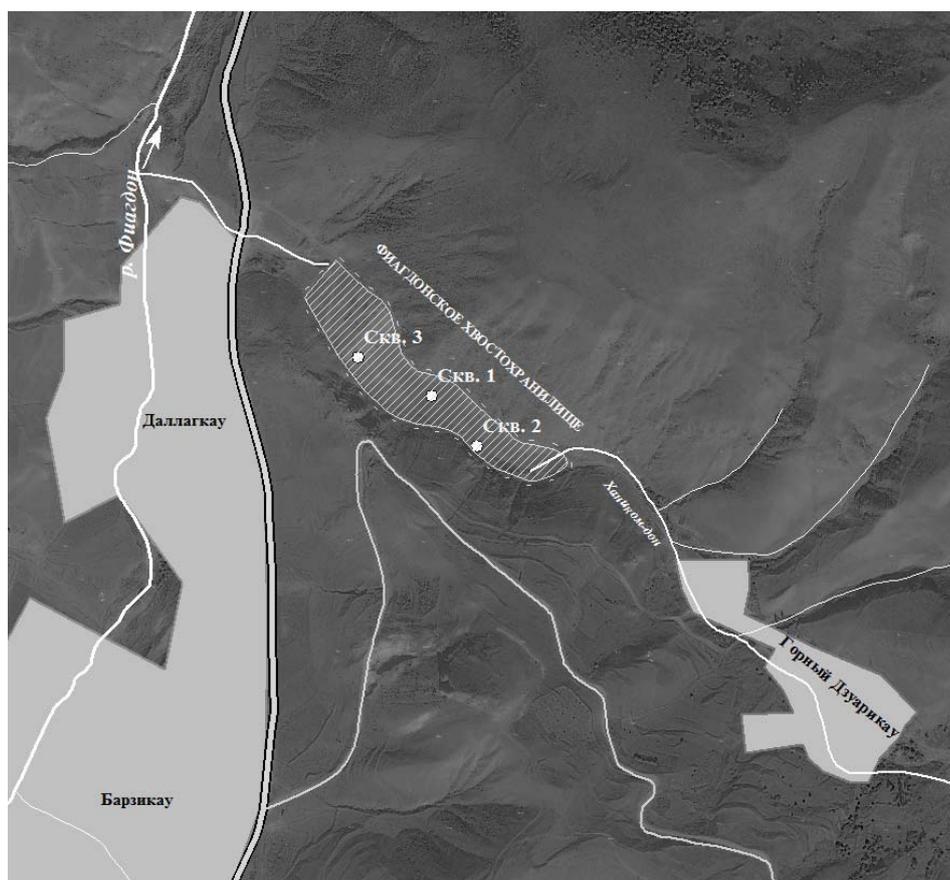


Рис. 1. Схема расположения Фиагдонского хвостохранилища и устьев скважин

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) [5]. Из рудных минералов в промышленных отходах выявлены: сфалерит, галенит, халькопирит, борнит, пирит, арсенопирит, титаномагнетит и реже барит. Мероприятия по рекультивации и контролю над сохранностью защитного почвенно-растительного слоя 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 гг. Такое развитие событий может привести к возникновению природно-техногенной катастрофы 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 этого процесса 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:

1) получение количественными методами надежных данных о содержании и закономерностях распределения экологически опасных и экономически ценных элементов в вертикальном разрезе на всю мощность Фиагдонского хвостохранилища;

2) подготовка обоснования для разработки и создания способа/технологии переработки и полной утилизации промышленных отходов. Разработанная для хвостохранилища № 2 Тырныаузского вольфрамово-молибденового комбината [3; 4] технология утилизации методом кислотного выщелачивания может быть адаптирована применительно к утилизации промышленных отходов горно-обогатительных (ГОК) и горно-металлургических комбинатов (ГМК) Северного Кавказа и других регионов России. Решению первой задачи и посвящена эта статья.

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 ИХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе экспедиционных работ 2015 г. было проведено опробование керна трех скважин, пробуренных нами 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. Такая разница в мощностях захороненных отходов, на расстоянии 800 м, обусловлена большой величиной базиса эрозии в долине р. Хаником-дон. Из керна скважин методом пунктирной борозды с каждого метра отбиралась отдельная проба весом по 100 г каждая. Для исследований закономерностей в характере распределения содержаний базовых металлов была отобрана 71 проба. Так, в скважине № 2 пробками 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 устьев скважин с помощью GPS-приемника фиксировались географические координаты и высотные отметки с занесением их в базу данных. КERN трех скважин сложен переслаивающимися 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 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 аналитических исследований.

Исследования выполнялись в ЦКП ИГЕМ РАН «ИГЕМ - АНАЛИТИКА». Анализ химического состава проб и определение в них содержаний ряда микроэлементов выполнен методом рентгено-флуоресцентной спектроскопии (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 макроэлементов выполнена путем плавления 0,3 г порошка пробы с 3 г тетрабората лития в индукционной печи с последу-

ющим отливом гомогенного стеклообразного диска. Потери при прокаливании (LOI) определялись гравиметрическим способом. Время выдержки при температуре 950° С составляло 30 мин. Подготовка препаратов для анализа микроэлементов выполнена путем прессования 1г порошка пробы с полистиролом под давлением 5 т/см².

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В статье рассмотрены впервые полученные результаты геохимических исследований 71 пробы из керна 3 скважин, на основании анализа которых были выявлены конкретные закономерности в характере распределения содержаний оксидов и базовых металлов в вертикальных разрезах и по латерали. Результаты геохимических исследований приведены в *таблицах № 1–3* и на *рис. 2–4*. Рассмотрим их с восточного края хвостохранилища до его западного края. В **скважине № 2** в восточной части хвостохранилища наблюдаются следующие закономерности в вариациях содержаний базовых металлов (*табл. № 1, рис. № 2*) вниз по вертикальному 10-метровому разрезу: в целом происходит увеличение содержаний: MnO, Fe₂O₃^{Зобц.}, S_{общ.}, **Zn, Pb** и уменьшение содержания **As**, содержание Ba практически постоянное, за исключением резкого положительного пика на глубинах 2–3 м, а содержание **Cu** неравномерное. Аномальные (максимальные) концентрации базовых металлов (оксиды и сера в масс. %, а элементы в г/т) распределены в вертикальном разрезе следующим образом: **1.5 м – Cu = 441; 2 м – Ba = 1 390; 3 м – Ba = 1 726, As = 1 089; 5 м – Cu = 458, Zn = 3 187; 6 м – Fe₂O₃ = 9.85; Pb = 3 255; 9 м – MnO**

= 0.27, Fe₂O₃ = 10.5, S = 2.61, Zn = 2 398, Pb = 5 492; 10 м – MnO = 0.27, Pb = 4 147. Минимальные концентрации базовых металлов распределены в вертикальном разрезе следующим образом: **1.5 м – Fe₂O₃ = 6,96; S = 1.83; Zn = 1 067; As = 772; 2 м – MnO = 0.11; 4 м – Ba = 410; As = 806; 6 м – Cu = 300; 7 м – Cu = 295; Ba = 382; 8 м – As = 843; 10 м – As = 793.**

В **скважине № 1** в центральной части хвостохранилища наблюдается следующая закономерность в характере распределения содержаний базовых металлов вниз по вертикальному 22-метровому разрезу: в целом происходит увеличение содержаний **S, Cu, Zn, Ba, As** и уменьшение содержаний: MnO, а распределение содержания Fe₂O₃ и Pb крайне неравномерно (*таблица № 2*)

Аномальные (максимальные) концентрации базовых металлов (оксиды и сера в масс. %, а элементы в г/т) распределены в вертикальном разрезе следующим образом: **2 м – Ba = 728, Pb = 7 894, Fe₂O₃ = 19.9, 4 м – Ba = 1 436; 5 м – Cu = 478; 6 м – S = 3.0; 8 м – Pb = 4 803; 9 м – Fe₂O₃ = 12.05; 10 м – Zn = 2 951; 12 м – S = 3.35, As = 2 012; 15 м – Fe₂O₃ = 10.12, Pb = 4 123; 16 м – S = 3.09; 17 м – As = 1 614; 20 м – S = 3.24, Cu = 533; 21 м – As = 1 764; 22 м – Pb = 2 406, Ba = 1 925.** Минимальные концентрации базовых металлов распределены в вертикальном разрезе следующим образом: **1.5 м – Pb = 990, As = 701, Ba = 288, S = 1.89, Zn = 1 238, MnO = 0.11, Cu = 176; 2 м – Cu = 161; 6 м – Fe₂O₃ = 5.84, Cu = 232, Zn = 1 236; 8 м – As = 702, S = 2.13; 11 м – Fe₂O₃ = 5.83, As = 750; 12 м – Ba = 256; 14 м – Fe₂O₃ = 5.32, Zn = 1 273, As = 838; 18 м – MnO = 0.105, Fe₂O₃ = 4.99, As = 956; 22 м – MnO = 0.09, Fe₂O₃ = 5.05.**

В **скважине № 3** в западной части хвостохранилища наблюдаются следующие закономерности

Таблица № 1

Результаты анализа проб керна из скважины № 2 методом РФА

Глубина отбора (в метр)	Номер пробы	MnO	Fe ₂ O ₃ ^{Зобц.}	S _{общ.}	Cu	Zn	Ba	Pb	As
		(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
1.5	23/16	0.13	6.96	1.83	441	1067	441	3038	772
2	24/16	0.11	7.46	2.44	398	2277	1390	2100	1061
3	25/16	0.12	7.71	2.17	438	1558	1726	1790	1089
4	26/16	0.15	8.04	2.06	369	1940	410	2341	806
5	27/16	0.15	8.54	2.26	458	3187	441	2330	864
6	28/16	0.25	9.85	2.25	300	1990	439	3255	919
7	29/16	0.26	9.36	2.18	295	1635	382	3022	993
8	30/16	0.2	9.02	2.3	443	1659	442	2934	843
9	31/16	0.27	10.5	2.61	420	2398	475	5492	903
10	32/16	0.27	9.77	2.11	418	1730	447	4147	793
Среднее по 10		0.191	8.72	2.22	388	1944	659	3045	904

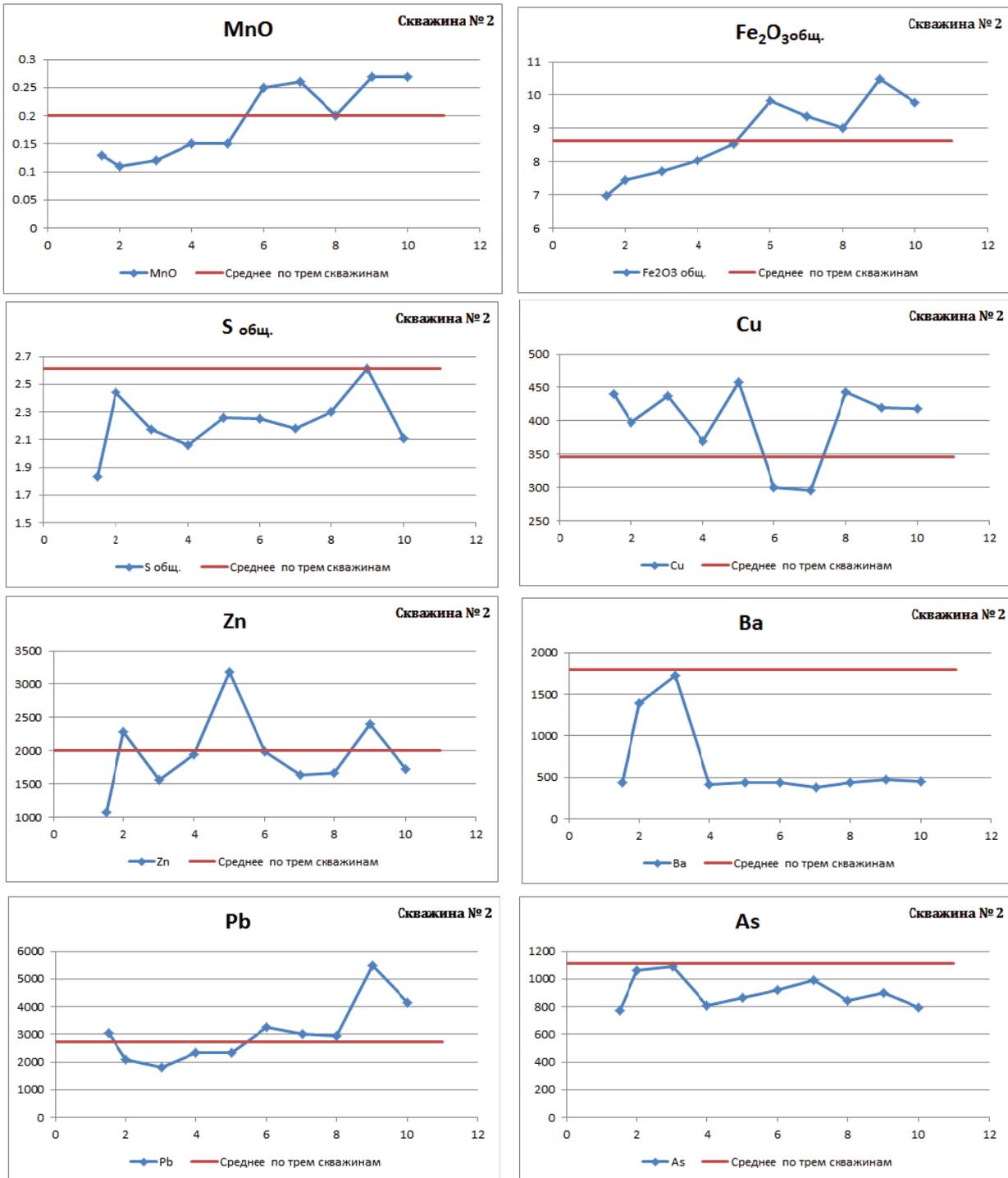


Рис. 2. Графики распределения содержаний элементов в пробах из керна скважины № 2

в характере распределения содержаний базовых металлов в вертикальном 31,5-метровом разрезе: происходит увеличение содержаний **Cu**, **Zn**, **Ba**, **As**, практически постоянное содержание **MnO** и неравномерный характер распределения **Fe₂O₃**, **S**, **Pb**.

Аномальные (максимальные) концентрации базовых металлов (оксиды и сера в масс. %, а эле-

менты в г/т) распределены в вертикальном разрезе следующим образом: **1.5 м** – **S** = 4.7, **Cu** = 1194. **As** = 2 300; **3 м** – **Zn** = 3 245; **6 м** – **Zn** = 3 675; **7 м** – **Fe₂O₃** = 10.2, **Ba** = 623, **Pb** = 2 600; **11 м** – **MnO** = 1.15, **Fe₂O₃** = 15.0; **13 м** – **MnO** = 1.61, **Fe₂O₃** = 10.03, **Pb** = 5 839; **14 м** – **Cu** = 305; **15 м** – **As** = 2 566; **19 м** – **Zn** = 3 591, **Cu** = 437; **22.5 м** – **Cu** = 563; **26 м**

Таблица № 2

Результаты анализа проб керна из скважины № 1 методом РФА

Глубина отбора в метрах	Номер пробы	MnO	Fe ₂ O ₃ общ.	S общ.	Cu	Zn	Ba	Pb	As
		(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
1.5	1/16	0.11	5.7	1.89	176	1238	288	990	701
2	2/16	1.28	19.9	2.02	161	2287	728	7894	781
3	3/16	0.26	8.63	2.35	239	2396	877	2389	955
4	4/16	0.26	9.53	2.12	349	1758	1436	2618	887
5	5/16	0.18	8.72	2.51	478	1563	656	2262	1169
6	6/16	0.136	5.84	3.05	232	1236	342	2765	889
7	7/16	0.351	10.79	2.32	358	1599	585	3169	1007
8	8/16	0.529	9.64	2.13	213	2141	617	4803	702
9	9/16	0.516	12.05	2.22	298	2139	454	3861	855
10	10/16	0.261	6.49	2.3	243	2951	418	2241	871
11	11/16	0.139	5.83	2.46	292	2179	414	1666	750
12	12/16	0.195	9.09	3.35	292	1953	256	1323	2012
13	13/16	0.15	6.59	2.53	337	2414	429	2892	917
14	14/16	0.108	5.32	2.89	320	1273	360	1411	838
15	15/16	0.305	10.15	2.67	437	1649	465	4123	1066
16	16/16	0.192	6.4	3.09	411	2961	385	3290	1111
17	17/16	0.116	7.63	2.84	413	2179	374	2250	1614
18	18/16	0.105	4.99	2.55	334	1981	385	1808	956
19	19/16	0.146	7.04	2.71	422	1654	449	1606	1535
20	20/16	0.197	9.7	3.24	533	1988	438	2277	1011
21	21/16	0.131	6.92	2.87	498	2688	433	1846	1764
22	22/16	0.094	5.05	2.92	447	2417	1925	2406	1537
Среднее по 22		0.201	8.62	2.61	345.7	1997	1796	2710	1114

– Ba = 26 961, Pb = 5 258; **27 м** – Ba = 32 219, Pb = 5 258; **28 м** – Cu = 546, Ba = 10 053. Минимальные концентрации базовых металлов распределены в вертикальном разрезе следующим образом: **1.5 м** – MnO = 0.04; **2 м** – Cu = 160, As = 753; **4 м** – Cu = 132, Zn = 1 214, Ba = 232, Pb = 594; **6 м** – Ba = 258; **7 м** – S = 2.24, Cu = 308, As = 886; **11 м** – S = 2.26, Cu = 259, As = 532; **12 м** – Fe₂O₃ = 5.61, Ba = 259; **14 м** – S = 2.63; **15 м** – MnO = 0.09, Cu = 166, Zn = 1 252, Ba = 237, Pb = 773; **15.5 м** – MnO = 0.058, Fe₂O₃ = 3.99; **16 м** – MnO = 0.67, Fe₂O₃ = 3.57, S = 2.4, Cu = 258, Pb = 650; **17 м** – Ba = 246; **18 м** – MnO = 0.085, Fe₂O₃ = 4.1, Ba = 247; **20 м** – Fe₂O₃ = 4.41; **21 м** – Fe₂O₃ = 4.02; **22 м** – S = 2.53; **22.5 м** – MnO = 0.005, Fe₂O₃ = 2.38, Zn = 232; **23 м** – Fe₂O₃ = 4.35; **24 м** – S = 2.34; **25 м** – Fe₂O₃ = 4.64; **26 м** – MnO = 0.049, Fe₂O₃ = 4.84; **26.5 м** – MnO = 0.075, Fe₂O₃ = 4.15, S = 2.55; **27 м** – MnO = 0.044, Zn = 933; **27.5 м** – Fe₂O₃ = 4.45; **28.5 м** – Fe₂O₃ = 4.57; **29.5 м** – MnO = 0.07,

Fe₂O₃ = 4.78; **30 м** – S = 2.51; **30.5 м** – MnO = 0.077, Fe₂O₃ = 4.57; **31 м** – Ba = 713; **31.5 м** – Fe₂O₃ = 4.62.

По рассчитанным средним величинам содержания базовых металлов в кернах скважин (таблицы 1–3) впервые выявлены следующие латеральные закономерности в характере их распределения с востока на запад:

- постепенное снижение содержания (оксидов и S в масс.%, металлы в г/т, здесь и далее): Fe₂O₃ (8.7–7.9–6.2), Cu (388–336.2–313), Pb (3 045–2 701–2 382);

- постепенное увеличение содержаний: S (2,2–2.6–3.0), As (904–1 066–1 372);

- постепенное увеличение содержания в центральной части и его снижение в западной части: MnO (0.19–0.25–0.16), Zn (1 944–2 051–1 997);

- постепенное снижение содержания в центре хранилища и увеличение на его западном крае: Ba (9 659–579–4 149);

Таблица № 3

Результаты анализа проб керн из скважины № 3 методом РФА

Глубина отбора	Номер пробы	MnO	Fe ₂ O ₃ общ.	S _{общ.}	Cu	Zn	Ba	Pb	As
		(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
1.5	33/16	0.044	8.02	4.79	1194	1413	620	1586	2300
2	34/16	0.189	6.81	3.31	160	2231	275	1459	753
3	35/16	0.138	6.66	3.07	250	3245	302	1108	1100
4	36/16	0.165	9.15	3.52	132	1214	232	594	1059
5	37/16	0.1	5.48	3.18	193	2035	270	914	1387
6	38/16	0.119	4.97	2.74	260	3675	258	1134	1179
7	39/16	0.358	10.2	2.24	308	2263	623	2600	886
8	40/16	0.2	6.6	2.78	260	2748	289	1974	1292
9	41/16	0.148	5.89	3.29	267	2179	278	1446	1474
10	42/16	0.177	8.17	2.51	215	1290	310	1801	1009
11	43/16	1.154	15.01	2.26	159	2483	266	14631	532
12	44/16	0.177	5.61	3.39	227	1460	259	2393	1274
13	45/16	1.618	10.03	2.75	234	2262	339	5839	1766
14	46/16	0.169	7.52	2.63	305	2702	254	1512	1428
15	47/16	0.091	4.77	3.3	166	1252	237	773	2566
15.5	48/16	0.058	3.99	3.1	215	2352	252	946	1485
16	49/16	0.067	3.57	2.4	158	1892	259	650	1025
17	50/16	0.119	6.44	2.92	191	1478	246	763	1104
18	51/16	0.085	4.15	3.23	185	2184	247	824	1625
19	52/16	0.111	5.21	3.7	437	3591	264	1264	1613
20	53/16	0.102	4.41	2.96	301	2692	300	1052	1470
21	54/16	0.089	4.02	2.76	225	2322	308	917	1553
22	55/16	0.109	5.98	2.53	270	2040	493	1067	1646
22.5	56/16	0.005	2.38	2.62	563	532	53644	13526	746
23	57/16	0.088	4.35	2.86	244	2674	533	1345	1588
24	58/16	0.11	5.8	2.34	225	2108	398	1481	1235
25	59/16	0.085	4.64	2.79	328	2144	884	1591	1678
26	60/16	0.049	4.84	3.04	236	1120	26961	5258	1395
26.5	61/16	0.075	4.15	2.55	331	1867	4785	2601	1356
27	62/26	0.044	5.55	3.17	318	933	32219	5811	1311
27.5	63/16	0.079	4.45	3.18	377	2753	1893	1747	1569
28	64/16	0.076	5.96	2.97	546	2158	10053	2733	1269
28.5	65/16	0.078	4.57	2.87	341	2326	1270	1841	1316
29	66/16	0.094	6.22	2.72	299	1677	1055	1395	1429
29.5	67/16	0.07	4.78	3.11	333	2496	1235	1747	1885
30	68/16	0.117	6.5	2.51	347	1519	1062	1652	1284
30.5	69/16	0.077	4.57	3.15	300	2228	1300	1568	1509
31	70/16	0.102	6.72	2.8	359	1699	713	2059	1304
31.5	71/16	0.085	4.62	3.03	313	2051	1280	1651	1543
Среднее по 39		0.1749	6.18	3.01	313.05	1997	4149	2382	1372

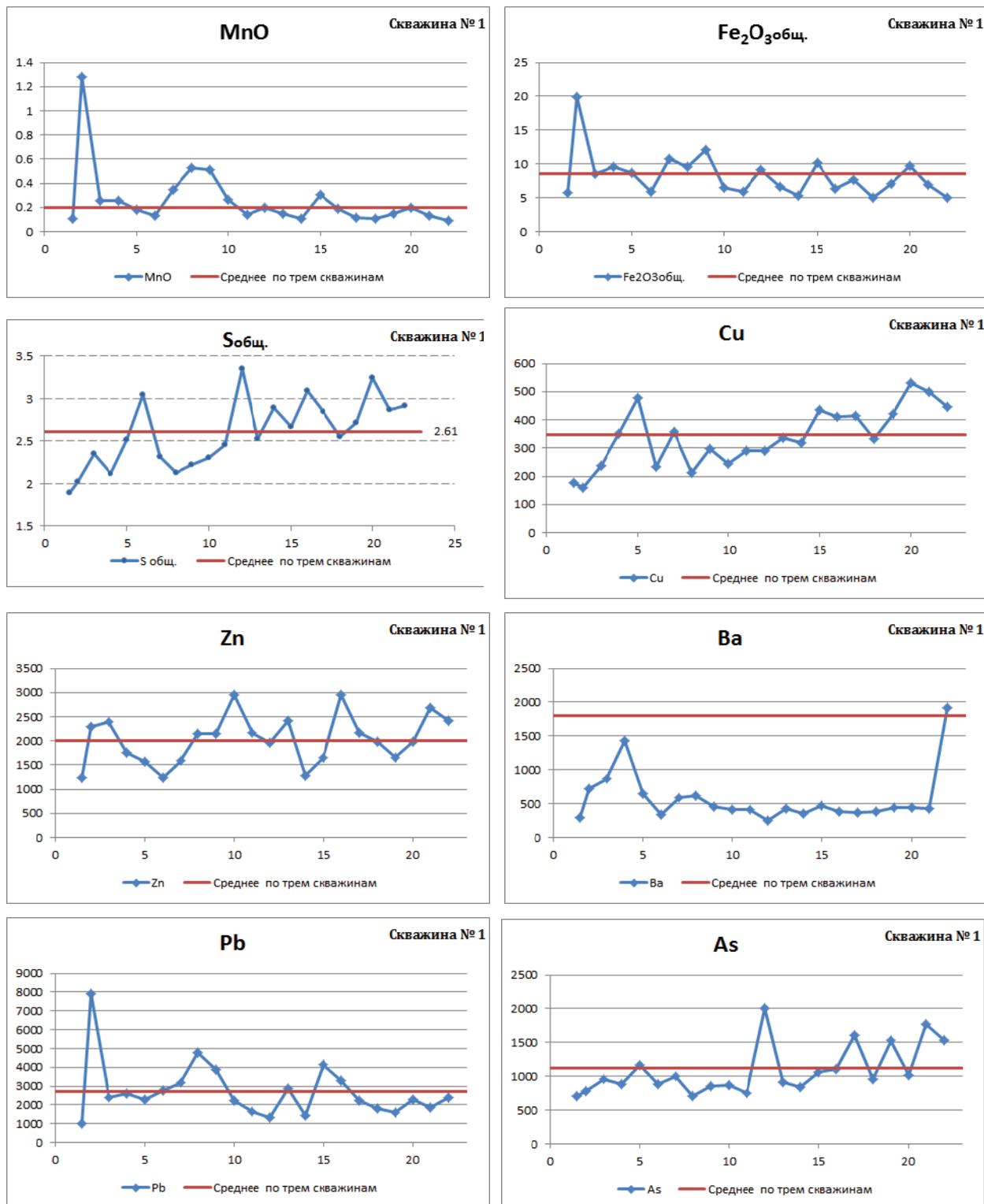


Рис. 3. Графики распределения содержаний элементов в пробах из керна скважины № 1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании анализа результатов геохимических исследований всех проб (71 шт.) из керна трех скважин, пробуренных в разных местах хвостохранилища (на востоке – скв. № 2 глубиной 10

м; в центре – скв. № 1 глубиной 22 м; на западе – скв. № 3 глубиной 31.5 м), выявлен характер распределения содержаний базовых металлов в вертикальных разрезах.

2. При анализе рассчитанных величин средних содержаний базовых металлов выявлены следую-

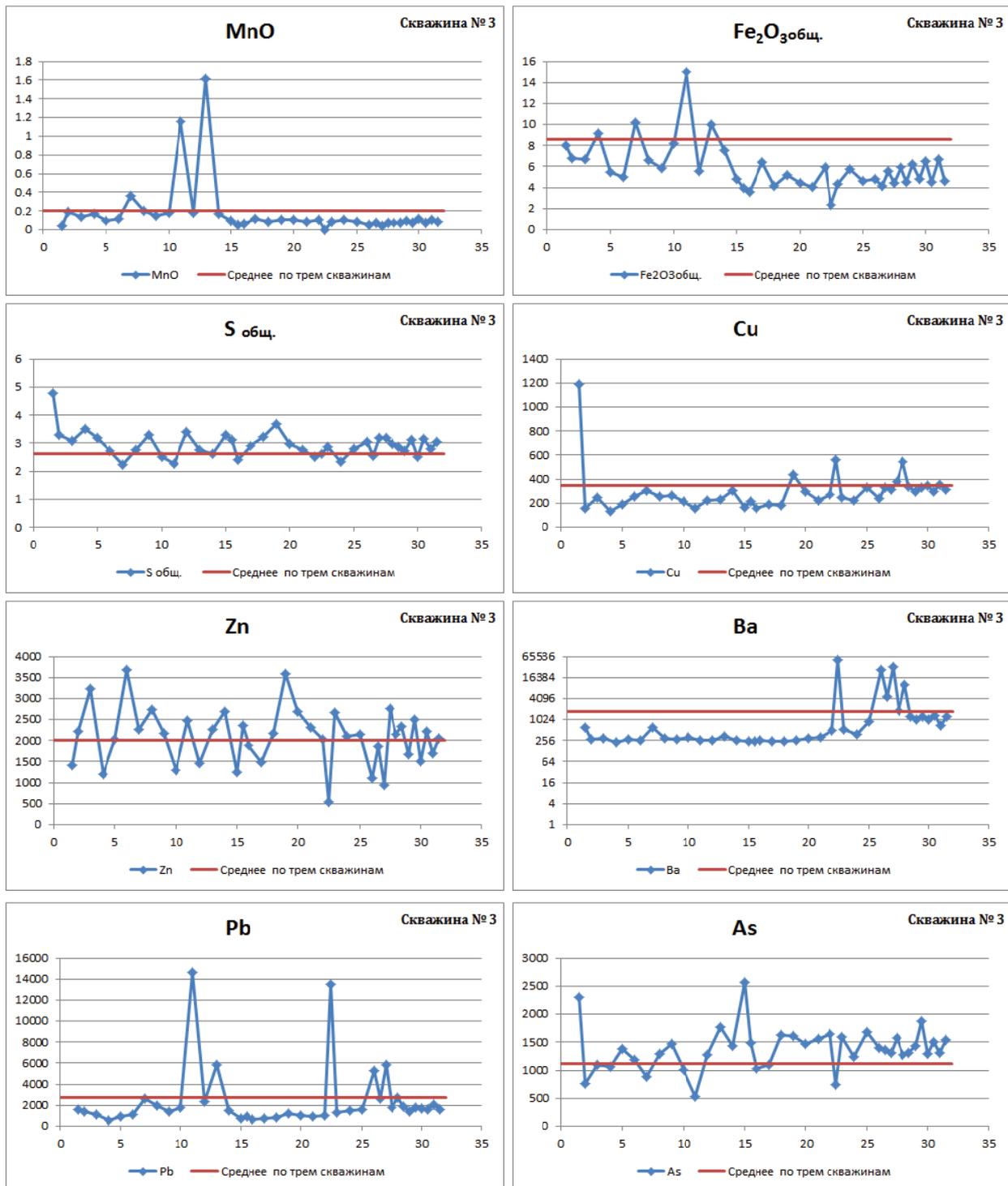


Рис. 4. Графики распределения содержаний элементов в пробах керна скважины № 3

щие закономерности в характере их распределения по латерали с востока на запад хвостохранилища на 800 м:

- снижение концентраций: Fe_2O_3 (8.72–7.96–6.18), **Cu** (388–336–313), **Pb** (3 045–2 701–2 382);

- снижение содержания к центру и резкое увеличение на западе: **Va** (659–579–4 149),

- постепенное увеличение концентраций: **S** (2.22–2.61–3.01), **As** (904–1 066–1 372);

- постепенное увеличение величин средних содержаний в центральной части хвостохранилища и его незначительное снижение в западной части: **MnO** (0.19–0.25–0.164), **Zn** (1 944–2 051–1 997).

3. В вертикальных разрезах по керну скважин № 1–3 установлены положительные аномальные (максимальные) и минимальные содержания ряда оксидов и базовых металлов (**Pb, Zn, Cu, As, Va, MnO, Fe_2O_3**). Максимальные концентрации оксидов **Mn** и **Fe** и ряда элементов в вертикальных разрезах промышленных отходов скорее всего были обусловлены: а) наличием богатой, но тонкодисперсной или наноразмерной вкрапленности рудных минералов (галенита, сфалерита, халькопирита, арсенопирита и др.) в жильных минералах из рудных тел, которые не флотировались и «уходили» в хвосты, обусловив в них высокие содержания базовых металлов. Аналогичная картина была установлена в хвостохранилищах Тырныаузского вольфрамowo-молибденового комбината [6; 2]; б) сбоями в процессе флотации, в результате чего рудные минералы могли «уходить» в хвосты; в) поступлением на обогатительную фабрику полиметаллических руд с других месторождений, применительно

к которым разработанная для руд месторождений Фиагдонского ГОКа технология обогащения руд не была адаптирована.

4. На основании анализа новых геохимических данных (получены после публикации [7]) рассчитаны средние содержания оксидов (в масс. %) и базовых металлов (в г/т) в промышленных отходах, находящихся в хвостохранилище. Они составили для: **MnO** = 0.201; Fe_2O_3 = 8.62; **S** = 2.61; **Cu** = 345.73; **Zn** = 1 997.4; **Va** = 1 795.66; **Pb** = 2 709.5; **As** = 1 114.2. В связи с тем, что эти величины средних содержаний базовых металлов оказались выше или ниже средних содержаний этих же металлов, использованных Фиагдонским ГОКом для подсчета их запасов, хранящихся в хвостохранилище, их условные запасы могут измениться следующим образом: **Pb** содержание было 0,19 %, стало **0,2709**, запасы были 4 560 т, а стали **6 501.6 т**; **Zn** содержание было 0,36 %, стало **0,1997**, запасы были 8 400 т, а стали **4 659.7 т**; **Cu** содержание было 0,12 %, стало **0,03457**, запасы были 2 880 т, стали **829.7 т**; **Fe** содержание было 6,8 %, стало **8.62**, запасы были 163 200 т, а стали **206 880 т**; **Mn** содержание было 0,14 %, стало **0,201**, запасы были 3 360 т, стали **4 824 т**.

Эти данные делают разработку способа полной утилизации отходов, с предварительным извлечением из них экономически ценных и экологически опасных элементов, довольно привлекательным мероприятием с экономической точки зрения.

Работа выполнена по плану НИР ВНЦ РАН при финансовой поддержке НИОКТР КНИО ВНЦ РАН: регистрационный номер - АААА-А19 119040190054-8.

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., Богатииков О.А., Сычкова В.А., Шевченко А.В., Лексин А.Б., Дударов З.И. Геохимические особенности утилизации захороненных отходов Тырныаузского вольфрамowo-молибденового комбината методом кислотного выщелачивания // ДАН, 2016, том 470, № 4, С. 344–347.
3. Винокуров С.Ф., Гурбанов А.Г., Шевченко А.В., Дударов З.И. (54) Способ утилизации слабокарбонатных отходов флотационного обогащения вольфрамowo-молибденовых руд // RU (11) 2 627 656(13) С1. Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 09.08.2017. Бюл. № 22.
4. Винокуров С.Ф., Богатииков 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 вольфрамowo-молибденового комбината и проблемы их комплексной утилизации // Изд. КБГУ. г. Нальчик. 2018. 130 с. ISBN 975-5-7558-0585-8.
5. 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.
6. Гурбанов А.Г., Богатииков О.А., Карамурзов Б.С., Газеев В.М., Винокуров С.Ф., Лексин А.Б., Шевченко А.В., Долов С.М., Дударов З.И., Боготов Н.Х., Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Дзобоев С.О., Козинкин А.В., Козаков А.Т., Цуканова Л.Е. Проблемы утилизации промышленных отходов Тырныаузского вольфрамowo-молибденового комбината (Кабардино-Балкарская республика) в свете новых данных // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2015. № 1 (63). С. 82–90.
7. Гурбанов А.Г., Лексин А.Б., Газеев В.М., Гурбанова О.А., Лолаев А.Б., Илаев В.Э., Дзобоев С.О., Оганесян А.Х. Вариации содержаний макро- и микроэлементов в вертикальных разрезах в промышленных отходах Фиагдонского хвостохранилища (Республика Северная Осетия-Алания) // Вестник ВНЦ РАН. 2019. Т. 19. № 1. С. 59–68.

RELATIONSHIP IN CHARACTER DISTRIBUTION OF BASE METALS CONTENTS IN THE VERTICAL SECTION AND ON THE LATERAL IN CORE FROM FIAGDONSKY TAILING POND (REPUBLIC OF NORTH OSETIYA-ALANIA)

A.G. Gurbanov^{1,2}, A.B. Leksin¹, V.M. Gazeev^{1,2}, O.A. Gurbanova⁴,
A.B. Lolaev^{2,3}, V.E. Ilaev³

¹ Institute of Ore Deposits Geology, Petrography, Mineralogy and Geochemistry (IGEM RAS), Moscow (gurbanov@igem.ru), (lexin@igem.ru), gazeev@igem.ru.

² Vladikavkaz scientific center of the RAS, Vladikavkaz, (gurbanov@igem.ru), (gazeev@igem.ru).

³ North Caucasian Mining and Metallurgical Institute (State Technological University), Vladikavkaz, (ive.2015@yandex.ru).

⁴ Moscow State University named after Lomonosov, Moscow.

Abstract. The data obtained by the quantitative XRF method on geochemical peculiarities in burial industrial wastes (have been analyzed 71 samples, collected from core of three wells, drilled on the whole thickness of tailing pond - 10 m, 22 m and 31.5 m a regular increasing from the east to the west with a specification of base erosion of Chanikom river valley are published in the article, for the first time.

Based on geochemical data obtained the certain relationship in character of oxides and base metal distribution in vertical section and in distribution on the lateral of its value of average contents in the core of well are exposed.

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 pond is about 56 000 sq. m. According to the FCF data about 2.4 million tons of industrial wastes were buried in the tailing pond with contents (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; Mn - 0.14 - reserves - 3,360 tons; Ag - 4.0 ppm - reserves - 9.6 tons.

Relationships 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) consist in the fact that:

- at the eastern part of tailing pond (well №2), as a whole, an increase in the content MnO, Fe₂O_{3,com.1}, S_{com.1}, Zn, Pb and, as a whole, an decrease in the content of As down along the vertical section, but content of Ba is practicable constant, exclude of big positive peak at the depth of 2-3m are occurs:

- at the central part of tailing pond (well №1), as a whole, an increase in the content S, Cu, Zn, Ba, As and decrease in the content of MnO, but distribution of Fe₂O₃ and Pb content is extremely irregular are occurs;

- at the western part of tailing pond (well №3) an increase in the content Cu, Zn, Ba, As, practicable constant content of MnO and irregular character of distribution of Fe₂O₃, S, Pb

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 (oxides and S in mas.% and base metal in ppm, here and furthermore) for: Fe₂O₃ (8.7-7.9-6.2), Cu (388-336.2-313), Pb (3045-2701-2382);

- gradual increase in content for: S (2.2-2.6-3.0), As (904-1066-1372);

- gradual increase in content in the central part and its decrease in the western part for: MnO (0.19-0.25-0.16), Zn (1944-2051-1997);

- gradual decrease in content in the center of the storage and an increase on its western part for: Ba (9659-579-4149);

Due to the fact that our new data [after Gurbanov et al., 2019] obtained exceed 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 0,2709 reserves were 4560 tons became - 6501.6 tons; Zn - the content was 0.36% became 0,1997 the reserves were 8400 tons, and became - 4659.7 tons; Cu - the content was 0.12% became 0,03457 the reserves were 2880 tons became 829.7 tons; Fe- the content was 6.8 % became 8.62 the reserves were 163200 tons. became 206880 tons.; Mn - the content was 0.14% became 0,201 the reserves were 3360 tons became - 4824 tons.

After receiving the results of the investigation of all don't yet analazed samples (24 samples from the surface layer [0.3-0.5 m] of the tailing pond), the some metals reserves may still increase, which will make the development of a method for the complete utilization of waste, with the preliminary extraction of economically valuable and environmentally hazardous elements, a more attractive measure from an economic point of view.

Keywords: the Fiagdon sky tailing pond, the content of base metals, wells, reserves of metals, relationship in distribution of elements content in vertical sections of industrial waste.

REFERENCES

- Vagin V.S., Golik V.I. Problemy ispol'zovaniya prirodnih resursov YUzhnogo federal'nogo okruga // Uchebnik dlya vuzov. – Vladikavkaz: Proekt-Press, 2005. 192 s.
- Vinokurov S.F., Gurbanov A.G., Bogatkov O.A., Sychkova V.A., Shevchenko A.V., Leksin A.B., Dudarov Z.I. Geohimicheskie osobennosti utilizatsii zahoronennyh othodov Tyrnyauzskogo vol'framovo-molibdenovogo kombinata metodom kislotnogo vishchelachivaniya // DAN, 2016, tom 470, № 4, S. 344–347.
- Vinokurov S.F., Gurbanov A.G., Shevchenko A.V., Dudarov Z.I. (54) Sposob utilizatsii slabokarbonatnyh othodov flotacionnogo obogashcheniya vol'framovo-molibdenovyh rud // RU (11) 2 627 656(13) C1. Federal'naya sluzhba po intellektual'noj sobstvennosti. 09.08.2017. Byul. № 22.
- 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 hraneniya othodov Tyrnyauzskogo vol'framovo-molibdenovogo kombinata i problemy ih kompleksnoj utilizatsii // Izd. KBGU. g. Nal'chik. 2018. 130 s. ISBN 975-5-7558-0585-8.
- Gazdanov A.C. i dr. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Podgotovka ekologicheskoi napryazhennyh lokal'nyh ob'ektov k monitoringu (Ocenka tekhnogennogo vozdejstviya hvostohranilishch Mizurskoj i Fiagdonskoj obogatitel'nyh fabrik na okruzhayushchuyu sredu). Goskomnedra RSO-A, geologicheskoe nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Sevosgeonauka». Fond FGGRUP «Sevosvetmetrazvedka». 1996. 103 s.
- Gurbanov A.G., Bogatkov O.A., Karamurзов B.S., Gazeev V.M., Vinokurov S.F., Leksin A.B., Shevchenko A.V., Dolov S.M., Dudarov Z.I., Bogotov N.H., Lolaev A.B., Oganessian A.H., Dzeboev S.O., Kozinkin A.V., Kozakov A.T., Cukanova L.E. Problemy utilizatsii promyshlennyh othodov Tyrnyauzskogo vol'framovo-molibdenovogo kombinata (Kabardino-Balkarskaya respublika) v svete novyh dannyh // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN. 2015. № 1 (63). S. 82–90.
- Gurbanov A.G., Leksin A.B., Gazeev V.M., Gurbanova O.A., Lolaev A.B., Ilaev V.E., Dzeboev S.O., Oganessian A.H. Variatsii soderzhanij makro- i mikroelementov v vertikal'nyh razrezah v promyshlennyh othodah Fiagdonского hvostohranilishcha (Respublika Severnaya Osetiya-Alaniya) // Vestnik VNC RAN. 2019. T. 19. № 1. S. 59–68.