

ЗАКОНОМЕРНОСТИ В ХАРАКТЕРЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЙ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ (0.6 м) ФИАГДОНСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА (Республика Северная Осетия-Алания)

А.Г. Гурбанов¹, А.Б. Лексин², В.М. Газеев³, О.А. Гурбанова⁴,
А.Б. Лолаев⁵, А.Х. Оганесян⁶, С.О. Дзэбоев⁷

Аннотация. В статье, на основании результатов геохимических исследований 24 проб из захороненных промышленных отходов, отобранных из поверхностного слоя (0.6 м) Фиагдонского хвостохранилища по 4 профилям с запада на восток на расстояние до 800 м, и их анализа, выявлен ряд закономерностей в характере распределения содержаний макро- и микроэлементов. Характер распределения средних величин содержаний макро- и микроэлементов как внутри каждого из профилей, так и по латерали между профилями в поверхностном слое промышленных отходов неравномерный. Он наиболее четко проявляется в распределении максимальных величин содержаний базовых металлов и металлоидов (оксиды в масс. %, элементы – в г/т). В профиле № 1 максимальные величины содержаний установлены в следующих точках опробования и слоях: (верхний слой – мощность 10 см, 2-й слой – мощность 50 см, здесь и далее) для: $TiO_2 = 0.76$ и 0.78 в одной точке опробования в верхнем и 2-м слоях, соответственно; $S = 5.96$ в одной точке во 2-м слое; $Cu = 372$ и 396 в 2 разных точках во 2-м и верхнем слоях; $Zn = 2038$ и 1487 в 2 разных точках во 2-м и верхнем слоях, соответственно; $Pb = 3228$ и 3199 в 2 разных точках во 2-м слое; $As = 1461$ и 1313 в 2 разных точках во 2-м и верхнем слоях, соответственно. В профиле № 2: $TiO_2 = 0.74$ в одной точке, 3-й слой мощностью 50 см; $S = 8.1$ и 7.2 в 2 разных точках опробования в верхнем и 2-м слоях, соответственно; $Cu = 363$ в одной точке во 2-м слое; $Zn = 655$ и 677 в 2 разных точках во 2-м слое; $Pb = 2113$ и 3824 в 2 разных точках в верхнем и 3-м слоях, соответственно. В профиле № 3: TiO_2 в 2 разных точках: 0.86 – верхний слой, 0.79 и 0.72 – 2-й слой; $S = 5.26$ в одной точке, верхний слой; $Zn = 2617$ – 2-й слой в одной точке; $Pb =$ в 2 разных точках опробования: 3513 – 2-й слой и 4017 – верхний слой; $As =$ в 2 разных точках: 1401 , 1360 – верхний слой, 2482 и 1596 – 2-й слой. В профиле № 4: TiO_2 в 2 разных точках: 0.86 и 0.76 – верхний слой, 0.80 – 2-й слой; S в 3 разных точках: 5.82 и 5.84 – 2-й слой, 11.18 – верхний слой; Cu в 2 разных точках: 450 и 455 – 2-й слой, 413 – верхний слой; Zn в 2 разных точках: 1576 и 1788 – 2-й слой, 1539 – верхний слой; Pb в 2 разных точках: 3089 и 3283 – 2-й слой, 3428 и 4561 – верхний слой; As в 2 разных точках: 1831 – 2-й слой, 1265 – верхний слой. Установлено, что величины средних содержаний базовых металлов и металлоидов (Mn , Fe , Cu , Zn , Ba , Pb) в поверхностном 0.6 м слое промышленных отходов оказались ниже величин средних содержаний этих же металлов в хвостохранилище в целом, рассчитанных по результатам анализов зерна 3 скважин, пробуренных на всю мощность хвостохранилища. Однако из-за малой мощности поверхностного слоя это практически не отразилось на уменьшении величины их средних содержаний в хвостохранилище в целом.

Ключевые слова: Фиагдонское хвостохранилище, содержания макро- и микроэлементов и базовых металлов, закономерности в распределении содержаний элементов по 4 профилям с запада на восток в поверхностном слое (0.6 м) хвостохранилища.

ВВЕДЕНИЕ

Ранее, на основании анализа новых геохимических данных, полученных методом РФА, выявлены [5, 6] следующие закономерности в характере распределения содержаний базовых металлов в вертикальных разрезах и по латерали по керну трех скважин, пробуренных на всю мощность Фиагдонского хвостохранилища:

1. При анализе рассчитанных величин средних содержаний базовых металлов выявлены следующие 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 (3045-2701-2382);
- снижение содержания к центру и резкое увеличение на западе: Ba (659-579-4149),
- постепенное увеличение концентраций: S (2.22-2.61-3.01), As (904-1066-1372);
- постепенное увеличение величин средних содержаний в центральной части хвостохранилища и его незначительное снижение в западной части: MnO (0.19-0.25-0.164), Zn (1944-2051-1997).

2. В вертикальных разрезах по керну скважин № 1–3 установлены положительные аномальные (максимальные) и минимальные содержания ряда оксидов и базовых металлов (Pb , Zn , Cu , As , Ba ,

¹ Гурбанов Анатолий Георгиевич – к. г.-м. н., в. н. с. ИГЕМ РАН, г. Москва, в. н. с. КНИО ВНЦ РАН, г. Владикавказ.

² Газеев Виктор Магалумович – к. г.-м. н., с. н. с. КНИО ВНЦ РАН г. Владикавказ, н. с. ИГЕМ РАН, г. Москва.

³ Лексин Алексей Борисович – сотрудник лаборатории «Геоинформатики», ИГЕМ РАН, г. Москва (lexin@igem.ru).

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

⁵ Лолаев Алан Батразович – д. т. н., профессор, зав. каф. СОГУ им. К.Л. Хетагурова, в. н. с. КНИО ВНЦ РАН, г. Владикавказ (abl-2010@mail.ru).

⁶ Оганесян Александр Хачатурович – к. т. н., доцент ФГБОУ СКГМИ (ГТУ), н. с. КНИО ВНЦ РАН, г. Владикавказ (pushkin1984@rambler.ru).

⁷ Илаев Владислав Эрикович – аспирант ФГБОУ СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ.

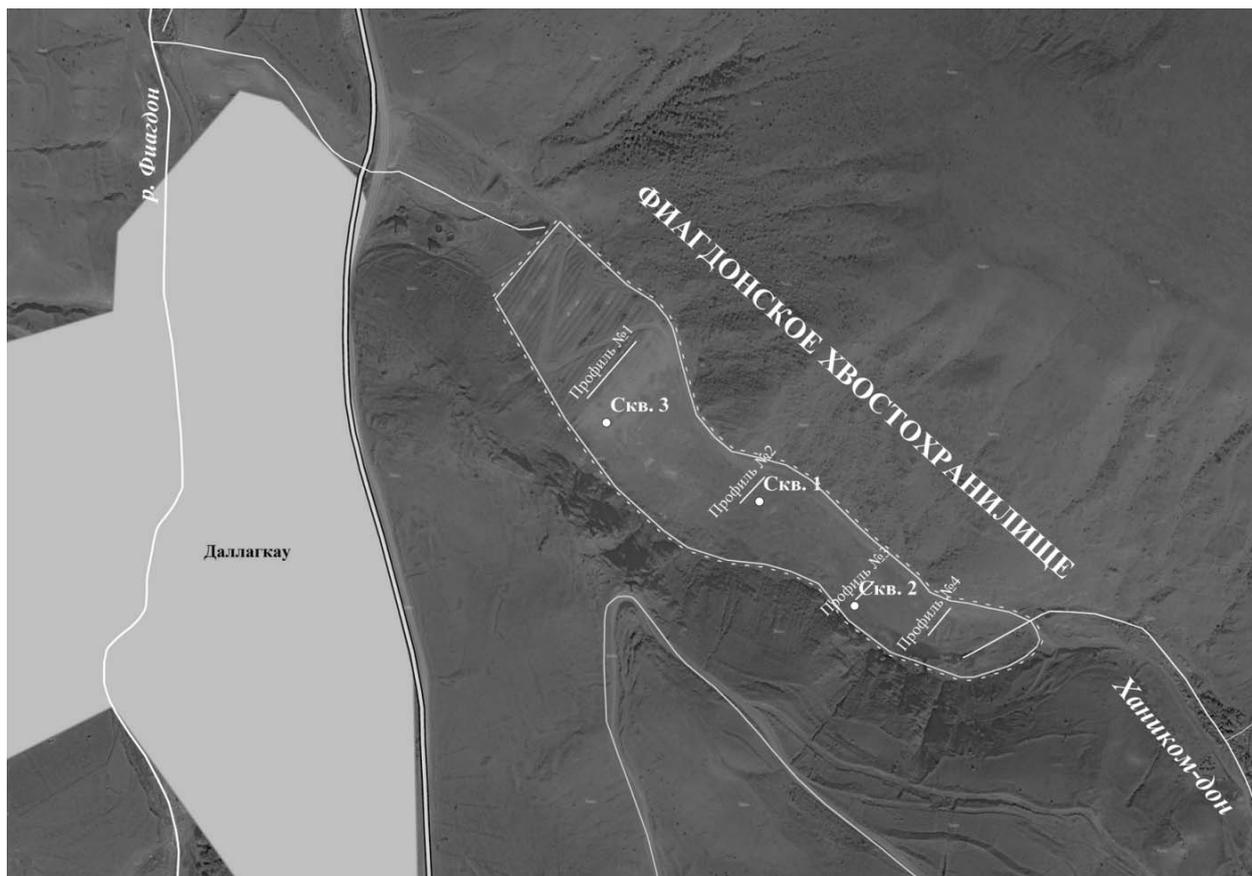


Рис. 1. Схема расположения профилей опробования поверхностного слоя Фиагдонского хвостохранилища

MnO, Fe₂O₃). Максимальные содержания оксидов Mn и Fe и ряда элементов в промышленных отходах, вероятнее 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, чем и было обусловлено высокое содержание в них базовых металлов (аналогичная картина была установлена в хвостохранилищах Тырныаузского вольфрамово-молибденового комбината [4, 2]); б) сбоями в процессе флотации, в результате чего рудные минералы могли «уходить» в хвосты; в) поступлением на обогатительную фабрику руд с других месторождений, применительно к которым технология обогащения руд Фиагдонского ГОКа не была адаптирована.

3. На основании анализа новых [после 6] геохимических данных рассчитаны средние содержания оксидов (в масс. %) и базовых металлов (в г/т) в промышленных отходах, находящихся в хвостохранилище. Они составили для: MnO = 0.201; Fe₂O₃ = 8.62; S = 2.61; Cu = 345.73; Zn = 1 997.4; Ba = 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 хвостохра-

нилище, их условные запасы могут измениться следующим образом: Pb – содержание было 0,19 %, стало 0,2709, запасы были 4 560 т, а стали 65 016 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 829.7т; 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.

Хвостохранилище (рис. 1) введено в эксплуатацию в 1970 г. Расположено оно в пойме р. Хаником-дон, протекающей в узком, каньонообразном ущелье широтного простирания. С северного и южного бортов оно ограничено скальными выходами раннеюрских песчано-сланцевых 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 ФГОКа в хвостохранилище захоронено 2,4 млн тонн промышленных отходов, а данные о содержаниях и запасах базовых металлов приведе-

Таблица № 1

ны в [3]. Из рудных минералов в промышленных отходах присутствуют: 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].

МЕТОДИКИ ОТБОРА ПРОБ И ИХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе экспедиционных работ 2015 г. было проведено опробование поверхностного слоя (на глубину 60 см, а в 2 местах – до 110 см) по четырем профилям, пройденным через 150–200 м. В каждом профиле, в трех точках с интервалами 30–50 м методом пунктирной борозды отбирались пробы из верхнего слоя мощностью 10 см и из 2-го слоя мощностью 50 см, а в профиле № 2 в 2 точках взяты пробы и из 3-го слоя мощностью 50 см. Вес каждой пробы составлял 100 г. Всего для исследований закономерностей в характере распределения содержаний базовых металлов было отобрано 24 пробы. Каждая геохимическая проба 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, необходимого для последующих аналитических исследований.

Исследования выполнялись в ЦКП ИГЕМ РАН «ИГЕМ-АНАЛИТИКА». Анализ химического состава проб и определение в них содержаний ряда макро- и 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 последующим отливом гомогенного стеклообразного диска. Потери при про-

Номер пробы	CaO	TiO ₂	MnO	Fe _{общ.}	P ₂ O ₅	S _{общ.}
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
72/16	2.67	0.59	0.020	2.84	0.08	4.32
73/16	1.88	0.76	0.164	5.40	0.12	2.50
74/16	1.14	0.78	0.119	5.34	0.12	1.90
75/16	5.53	0.53	0.019	5.57	0.30	5.96
76/16	2.91	0.46	0.043	5.22	0.16	5.74
Среднее по профилю 1	2.83	0.62	0.073	4.87	0.156	4.08
77/16	2.90	0.60	0.019	5.55	0.06	8.10
78/16	3.77	0.61	0.020	5.05	0.09	7.29
79/16	1.53	0.74	0.021	3.86	0.13	4.10
80/16	3.19	0.58	0.023	4.13	0.09	5.48
81/16	3.49	0.59	0.023	4.51	0.07	5.57
82/16	2.06	0.53	0.204	8.92	0.14	4.14
83/16	2.69	0.64	0.027	4.20	0.10	4.68
84/16	2.15	0.58	0.085	4.90	0.13	4.51
Среднее по профилю 2	2.72	0.61	0.053	5.14	0.101	5.48
85/16	0.25	0.86	0.066	9.67	0.33	2.63
86/16	1.37	0.79	0.037	5.22	0.13	2.48
87/16	1.56	0.62	0.048	5.97	0.14	5.26
88/16	1.40	0.72	0.180	5.35	0.12	2.58
89/16	2.64	0.61	0.014	2.41	0.06	3.44
Среднее по профилю 3	1.44	0.72	0.069	5.72	0.156	3.28
90/16	1.83	0.86	0.132	5.33	0.14	1.39
91/16	1.94	0.76	0.140	5.20	0.13	2.34
92/16	1.56	0.80	0.095	5.22	0.12	2.42
93/15	2.35	0.60	0.014	3.79	0.03	5.82
94/16	3.17	0.60	0.015	7.75	0.05	11.18
95/16	3.33	0.55	0.015	2.72	0.04	5.84
Среднее по профилю 4	2.36	0.695	0.069	5.0	0.085	4.83
Среднее по 4-м профилям	2.34	0.66	0.066	5.18	0.125	4.42

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

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В статье рассмотрены впервые полученные результаты геохимических исследований (табл. № 1) 24 проб промышленных отходов из поверхностного слоя мощностью 60 см, отобранных по четырем профилям (рис. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОБ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ, ОТОБРАННЫХ ИЗ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ (МОЩНОСТЬЮ 60 СМ) ФИАГДОНСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА

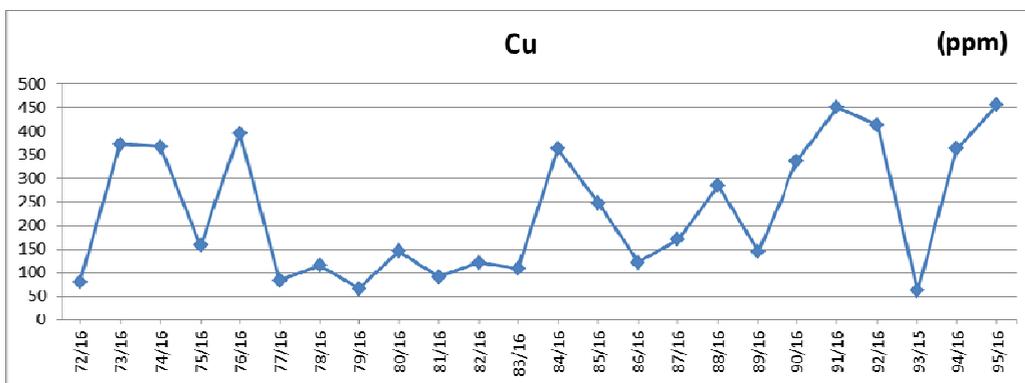
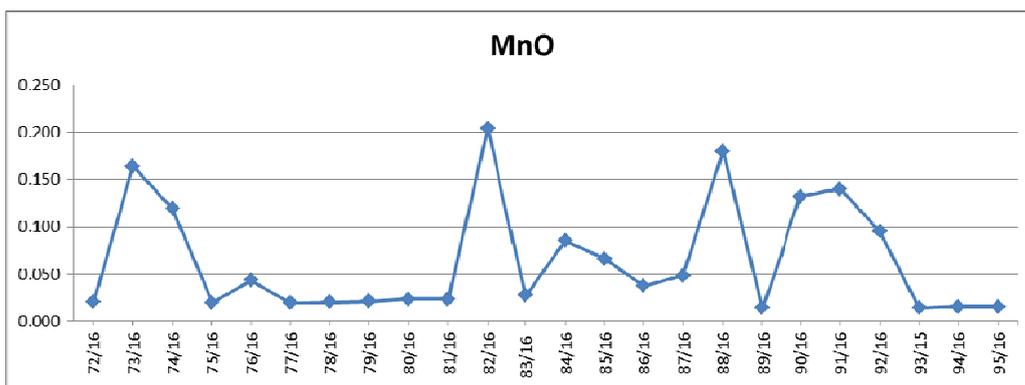
(оксиды и сера в масс. %, элементы в г/т)

На основании анализа полученных данных (таблица № 1) установлено, что:

Продолжение таблицы № 1

Номер пробы	Cr (ppm)	V (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Zr (ppm)	Ba (ppm)	Th (ppm)	Y (ppm)	Nb (ppm)	Pb (ppm)	As (ppm)
72/16	112	86	6	13	80	381	127	49	146	288	7	<5	11	1921	956
73/16	95	114	14	39	372	2038	187	54	177	342	7	12	11	3228	1461
74/16	109	116	11	30	367	1487	191	50	183	385	11	15	11	3199	1313
75/16	111	60	6	32	158	448	108	70	98	232	9	<5	8	1418	4769
76/16	59	54	10	34	396	1106	106	43	94	199	11	10	8	1101	3214
Среднее по профилю 1	97.2	86	9.4	29.6	274.6	1092	143.8	53.2	139.6	289.2	9	9	9.8	2173.4	2342.6
77/16	97	68	2	12	84	154	113	44	138	267	9	12	9	2113	204
78/16	74	70	6	15	115	655	115	47	144	271	<5	13	9	1999	554
79/16	90	97	3	20	66	130	141	39	184	302	11	10	12	1876	954
80/16	81	69	6	12	145	392	118	42	147	285	8	10	10	1731	732
81/16	70	70	5	12	91	290	115	56	142	282	11	11	10	1791	309
82/16	96	52	2	25	121	630	120	47	146	454	15	<5	8	3824	751
83/16	85	90	2	13	109	240	124	45	163	273	7	11	10	1676	589
84/16	87	70	8	26	363	677	122	43	146	267	16	20	10	1662	887
Среднее по профилю 2	85	79.8	4.13	16.9	136.8	366	121	45.4	151.3	300.1	10.1	11.4	9.8	2084	622.5
85/16	152	101	15	60	247	524	132	103	210	423	26	37	9	957	1401
86/16	111	117	4	18	121	394	180	59	187	378	11	9	12	3513	1360
87/16	86	77	9	27	170	548	119	42	162	258	8	15	9	1780	2482
88/16	91	102	18	48	284	2617	163	55	175	326	11	18	11	2575	1596
89/16	81	82	5	9	144	429	149	52	149	303	7	<5	12	4017	355
Среднее по профилю 3	104.2	95.8	10.2	32.4	193.2	902.4	148.6	62.2	176.6	337.6	12.6	16.6	10.6	2568.4	1438.8
90/16	137	130	9	43	337	972	200	64	198	413	16	21	12	2097	454
91/16	92	107	10	33	450	1576	193	53	174	353	8	10	11	3089	1831
92/16	110	125	16	32	413	1539	203	55	177	379	11	12	10	3428	1265
93/15	73	81	3	7	62	97	125	42	144	399	9	8	11	2442	191
94/16	69	43	5	24	363	311	132	51	116	268	<5	<5	8	4561	843
95/16	79	77	4	25	455	1788	138	44	124	390	<5	<5	10	3283	388
Среднее по профилю 4	93.3	93.8	7.8	27.3	346.7	1047.2	165.2	51.5	155.5	367	11.3	9.8	10.3	3150	828.7
Среднее по 4-м профилям	94.9	88.9	7.9	26.6	237.8	851.4	144.7	53.1	155.8	323.5	10.8	11.7	10.1	2493.9	1308.2

Применение к таблице № 1. Профиль № 1: проба 72/15 – верхний слой, мощность 10 см; 73/15 – 2-й слой, мощ. 50 см; 74/15 – верхний слой, мощ. 10 см; 75/15 – 2-й слой, мощ. 50 см; 76/15 – верхний слой, мощ. 10 см; Профиль № 2: проба 77/15 – верхний слой, мощ. 10 см; 78/15 – 2-й слой, мощ. 50 см; 79/15 – 3-й слой, мощ. 50 см; 80/15 – верхний слой, мощ. 10 см; 81/15 – 2-й слой, мощ. 50 см; 82/15 – 3-й слой, мощ. 50 см; 83/15 – верхний слой, мощ. 10 см; 84/15 – 2-й слой, мощ. 50 см; Профиль № 3: проба 85/15 – верхний слой, мощ. 10 см; 86/15 – 2-й слой, мощ. 50 см; 87/15 – верхний слой, мощ. 10 см; 88/15 – 2-й слой, мощ. 50 см; 89/15 – верхний слой, мощ. 50 см; Профиль № 4: проба 90/15 – верхний слой, мощ. 10 см; 91/15 – 2-й слой, мощ. 50 см; 92/15 – верхний слой, мощ. 10 см; 93/15 – 2-й слой, мощ. 50 см; 94/15 – верхний слой, мощ. 10 см; 95/15 – 2-й слой, мощ. 50 см.



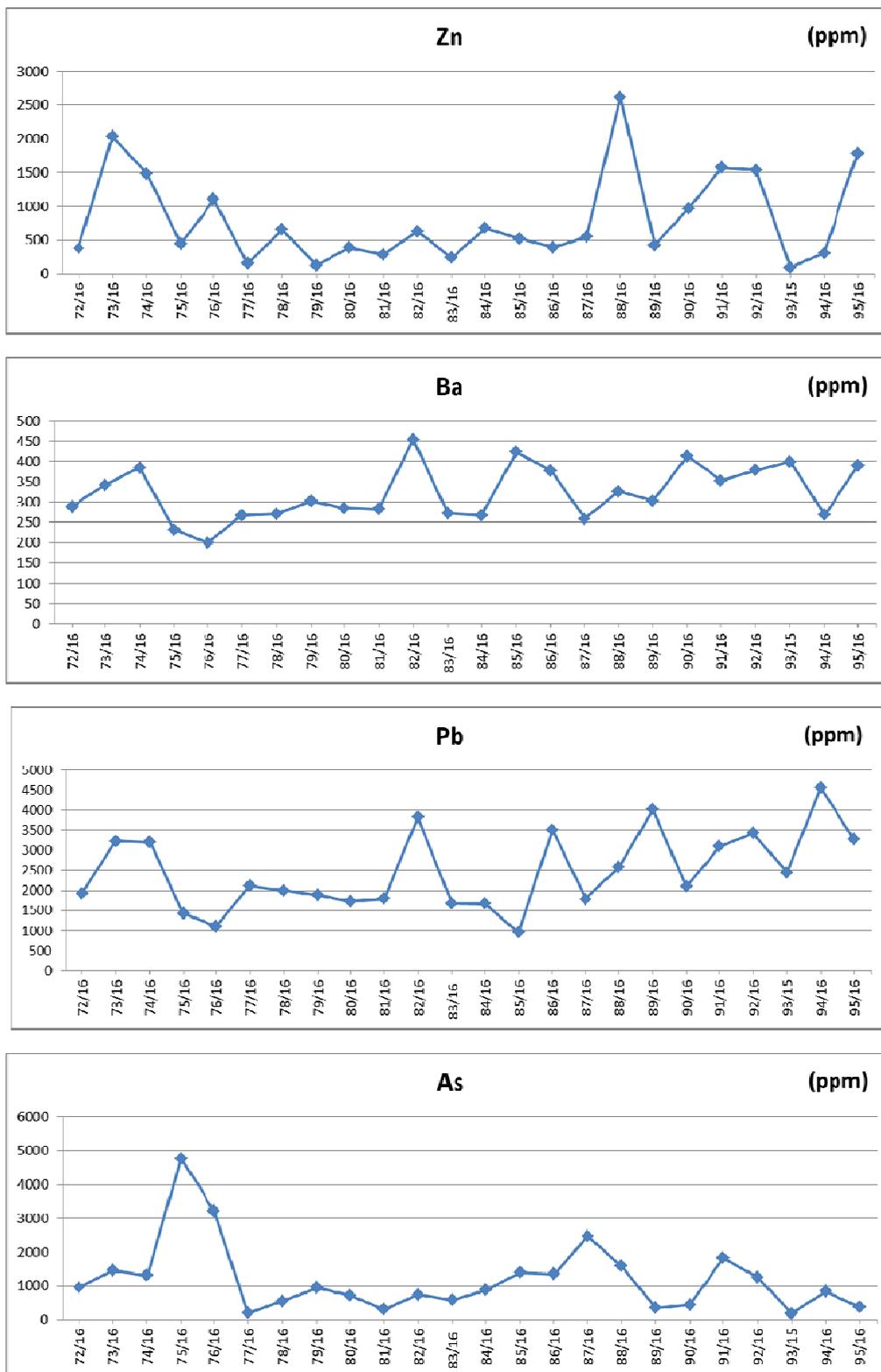


Рис. 2. Графики распределения базовых металлов и металлоидов в поверхностном 0.6 м слое хвостохранилища по четырем профилям

1. Характер распределения рассчитанных средних величин содержаний макро- и микроэлементов по профилям в поверхностном слое (0.6 м) промышленных отходов неравномерный. Установлены следующие вариации средних содержаний по профилям (по латерали) с запада на восток:

- от профиля № 1 к профилю № 3 происходит снижение содержания CaO, а с профиля № 3 до профиля № 4 оно увеличивается;

- от профиля № 1 к профилю № 3 происходит увеличение содержаний $Fe_{общ}$, Zr, Th, Y, Nb, а с профиля № 3 до профиля № 4 они снижаются;

- от профиля № 1 к профилю № 2 происходит снижение содержаний MnO и Sr, с профиля № 2 до профиля № 3 оно повышается, а с профиля № 3 до профиля № 4 – остается стабильным;

- от профиля № 1 к профилю № 2 происходит снижение содержаний TiO_2 , P_2O_5 , Cr, V, Co, Ni, As, с профиля № 2 до профиля № 3 они увеличиваются, а с профиля № 3 до профиля № 4 – вновь снижаются;

- от профиля № 1 к профилю № 2 происходит снижение содержаний Cu, Zn, Rb и Pb, а с профиля № 2 до профиля № 4 – увеличение;

- от профиля № 1 к профилю № 4 происходит увеличение содержания Ba.

Неравномерный характер распределения содержаний макро- и микроэлементов по латерали в поверхностном слое хвостохранилища показан на *рис. 2*.

2. Рассчитанные величины средних содержаний базовых металлов и металлоидов (Mn, Fe, Cu, Zn, Ba, Pb) в поверхностном 0.6 м слое промышленных отходов оказались значительно ниже величины средних содержаний этих же металлов, рассчитанных по результатам анализов керна 3 скважин, пробуренных на всю мощность хвостохранилища. Исключение представляют только величины средних содержаний As и S, для которых наблюдается противоположная тенденция. Более низкие содержания базовых металлов в поверхностном слое можно объяснить следующим образом: а) наличие сильных ветров, постоянно дующих вдоль долины р. Ханикомдон, приводило к ветровой эрозии обогащенного рудными минералами тонкозернистого (т-3) материала из поверхностного слоя хвостохранилища. Этот т-3 материал, по свидетельствам местных жителей, разносился вверх и вниз по долине в виде «пылевых облаков» на несколько километров, загрязняя почвы прилегающих сельхозугодий и природных пастбищ, что было подтверждено результатами наших исследований. Процесс ветровой эрозии продолжался в течение нескольких лет до полной рекультивации поверхности хвостохранилища. Однако, после катастрофических событий [5], локально нарушивших слой рекультивации, ветровая эрозия частично возобновилась; б) улучшение технологии флотации на заключительном этапе обработки месторождений могло привести к уменьшению содержания базовых рудных минералов в «хвостах», сливаемых в хвостохранилище. Однако следует учитывать, что из-за малой мощности поверхностного слоя (0.6 м) уста-

новленные в нем низкие концентрации базовых металлов не повлияют на величины их средних содержаний в хвостохранилище, рассчитанные по данным анализа результатов геохимических исследований керна скважин, пробуренных на всю его мощность.

3. Неравномерный характер распределения содержаний ряда макро- и микроэлементов в поверхностном слое (60 см) хвостохранилища по латерали (*рис. 1 и 2*) наиболее явно отражается в распределении максимальных величин содержаний базовых металлов и металлоидов (оксиды в масс. %, элементы – в г/т). Так, в профиле № 1 максимальные величины содержаний установлены в следующих слоях (верхний слой – мощность 10 см, 2-й слой – мощность 50 см, здесь и далее) для: $TiO_2 = 0.76$ и 0.78 в одной точке в верхнем и 2-м слоях; $S = 5.96$ в одной точке во 2-м слое; Cu = 372 и 396 в 2 разных точках во 2-м и верхнем слоях; Zn = 2 038 и 1 487 в 2 разных точках во 2-м и верхнем слоях соответственно; Pb = 3 228 и 3 199 в 2 разных точках во 2-м слое; As = 1 461 и 1 313 в 2 разных точках во 2-м и верхнем слоях, соответственно. В профиле № 2: $TiO_2 = 0.74$ в одной точке, 3-й слой мощностью 50 см; $S = 8.1$ и 7.2 в 2 разных точках в верхнем и 2-м слоях, соответственно; Cu = 363 в одной точке 2-й слой; Zn = 655 и 677 в 2 разных точках во 2-м слое; Pb = 2 113 и 3 824 в 2 разных точках в верхнем и 3-м слоях, соответственно. В профиле № 3: TiO_2 в 2 разных точках: 0.86 – верхний слой, 0.79 и 0.72 – 2-й слой; $S = 5.26$ в одной точке верхний слой; Zn = 2 617 – 2-й слой в одной точке; Pb = в 2 разных точках: 3 513 – 2-й слой и 4 017 – верхний слой; As = в 2 разных точках: 1 401, 1 360 – верхний слой, 2 482 и 1 596 – 2-й слой. В профиле № 4: TiO_2 в 2 разных точках: 0.86 и 0.76 – верхний слой, 0.80 – 2-й слой; S в 3 разных точках: 5.82 и 5.84 – 2-й слой, 11.18 – верхний слой; Cu в 2 разных точках: 450 и 455 – 2-й слой, 413 – верхний слой; Zn в 2 разных точках: 1 576 и 1 788 – 2-й слой, 1 539 – верхний слой; Pb в 2 разных точках: 3 089 и 3 283 – 2-й слой, 3 428 и 4 561 – верхний слой; As в 2 разных точках: 1 831 – 2-й слой, 1 265 – верхний слой.

4. При анализе данных, приведенных на *рис. 2*, выявлены следующие особенности в распределении ряда металлов и металлоидов в конкретных слоях в пределах каждого из четырех профилей. Так, в профиле № 1 во 2-м слое в одной и той же точке опробования (73/15) наблюдаются максимальные концентрации: MnO, $Fe_{общ}$, Cu, Zn, Pb. В профиле № 2 в 3-м слое в одной и той же точке опробования (82/15) наблюдаются максимальные концентрации: MnO, $Fe_{общ}$, Ba, Pb. В профиле № 3 картина с максимальными концентрациями элементов иная. Так, максимальные концентрации MnO, Cu, Zn установлены в точке опробования 88/15 во 2-м слое; $Fe_{общ}$, Ba – в точке 85/15 в верхнем слое; Pb – в точке 86/15 во 2-м слое и в точке 89/15 – в верхнем слое; As – в точке 87/15 в верхнем слое. В профиле № 4: MnO, Cu, Zn, As в точке опробования 91/15 во 2-м слое; $Fe_{общ}$, S, Pb в точке опробования 94/15 в верхнем слое; Cu, Zn, Ba в точке опробования 95/15 во 2-м слое.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ приведенных в *таблице № 1* геохимических данных позволил выявить следующие закономерности в характере распределения содержаний макро- и микроэлементов в поверхностном слое (0.6 м) Фиагдонского хвостохранилища:

1. Характер распределения средних величин содержаний макро- и микроэлементов как внутри каждого из профилей, так и по латерали между профилями в поверхностном слое (0.6 м) промышленных отходов неравномерный.

2. Неравномерный характер распределения содержаний ряда макро- и микроэлементов в поверхностном слое (60 см) хвостохранилища по латерали (*рис. 1 и 2*) проявляется в распределении максимальных величин содержаний базовых металлов и металлоидов (оксиды в масс. %, элементы – в г/т). В профиле № 1 максимальные величины содержания установлены в следующих слоях (верхний слой – мощность 10 см, 2-й слой – мощность 50 см, здесь и далее) для: $TiO_2 = 0.76$ и 0.78 в одной точке в верхнем и 2-м слоях; $S = 5.96$ в одной точке во 2-м слое; $Cu = 372$ и 396 в 2 разных точках во 2-м и верхнем слоях; $Zn = 2\ 038$ и $1\ 487$ в 2 разных точках во 2-м и верхнем слоях соответственно; $Pb = 3\ 228$ и $3\ 199$ в 2 разных точках во 2-м слое; $As = 1\ 461$ и $1\ 313$ в 2 разных точках во 2-м и верхнем слоях, соответственно. В профиле № 2: $TiO_2 = 0.74$ в одной точке, 3-й слой мощностью 50 см; $S = 8.1$ и 7.2 в 2 разных точках в верхнем и 2-м слоях, соответственно; $Cu = 363$ в одной точке 2-й слой; $Zn = 655$ и 677 в 2 разных точках во 2-м слое; $Pb = 2\ 113$ и $3\ 824$ в 2 разных точках в верхнем и 3-м слоях, соответственно. В профиле № 3: TiO_2 в 2 разных точках: 0.86 – верхний слой, 0.79 и 0.72 – 2-й слой; $S = 5.26$ в одной точке верхний слой; $Zn = 2\ 617$ – 2-й слой в одной точке; $Pb =$ в 2 разных точках: $3\ 513$ – 2-й слой и $4\ 017$ – верхний слой; $As =$ в 2 разных точках: $1\ 401$, $1\ 360$ – верхний слой, $2\ 482$ и $1\ 596$ – 2-й слой. В профиле № 4: TiO_2 в 2 разных точках: 0.86 и 0.76 – верхний слой, 0.80 – 2-й слой;

S в 3 разных точках: 5.82 и 5.84 – 2-й слой, 11.18 – верхний слой; Cu в 2 разных точках: 450 и 455 – 2-й слой, 413 – верхний слой; Zn в 2 разных точках: $1\ 576$ и $1\ 788$ – 2-й слой, $1\ 539$ – верхний слой; Pb в 2 разных точках: $3\ 089$ и $3\ 283$ – 2-й слой, 3428 и 4561 – верхний слой; As в 2 разных точках: $1\ 831$ – 2-й слой, $1\ 265$ – верхний слой.

3. При анализе данных, приведенных на *рис. 2*, выявлены следующие особенности в распределении ряда металлов и металлоидов в конкретных слоях в пределах каждого из четырех профилей. Так, в профиле № 1 во 2-м слое в одной и той же точке опробования (73/15) наблюдаются максимальные концентрации: MnO , $Fe_{общ}$, Cu , Zn , Pb . В профиле № 2 в 3-м слое в одной и той же точке опробования (82/15) наблюдаются максимальные концентрации: MnO , $Fe_{общ}$, Va , Pb . В профиле № 3 картина с максимальными концентрациями элементов иная. Так, максимальные концентрации MnO , Cu , Zn установлены в точке опробования 88/15 во 2-м слое; $Fe_{общ}$, Va – в точке 85/15 в верхнем слое; Pb – в точке 86/15 во 2-м слое и в точке 89/15 – в верхнем слое; As – в точке 87/15 в верхнем слое. В профиле № 4: MnO , Cu , Zn , As в точке опробования 91/15 во 2-м слое; $Fe_{общ}$, S , Pb в точке опробования 94/15 в верхнем слое; Cu , Zn , Va в точке опробования 95/15 во 2-м слое.

4. Установлено, что величины средних содержаний базовых металлов и металлоидов (Mn , Fe , Cu , Zn , Va , Pb) в поверхностном 0.6 м слое промышленных отходов значительно ниже величины средних содержаний этих же металлов, рассчитанных по результатам анализов керн 3 скважин, пробуренных на всю мощность хвостохранилища. Исключение представляют только величины средних содержаний As и S , для которых наблюдается противоположная тенденция. Однако, из-за малой мощности поверхностного слоя (0.6 м), установленные в нем низкие концентрации базовых металлов не влияют на величины их средних содержаний на всю мощность промышленных отходов, находящихся в хвостохранилище.

Работа выполнена по плану НИР ВНЦ РАН при финансовой поддержке НИОКТР КНИО ВНЦ РАН (рег. № АААА-А19-119040190054-8) и Проекта президиума РАН №15 «Новые материалы с повышенными прочностными и функциональными»

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 вольфрамово-молибденового комбината методом кислотного выщелачивания // ДАН, 2016, том 470, № 4, С. 344–347.
3. 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 «Севоссеонаука». Фонд ФГГРУП «Севосветметразведка». 1996. 103 с.
4. Гурбанов А.Г., Богатииков О.А., Карамурзов Б.С., Газеев В.М., Винокуров С.Ф., Лексин А.Б., Шевченко А.В., Долгов 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 вольфрамо-молибденового комбината (Кабардино-Балкарская республика) в свете новых данных // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2015. № 1 (63). С. 82–90.
5. Гурбанов А.Г., Лексин А.Б., Газеев В.М., Гурбанова О.А., Лолаев А.Б., Цуканова Л.Е., 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.
6. Гурбанов А.Г., Лексин А.Б., Газеев В.М., Гурбанова О.А., Лолаев А.Б., Илаев В.Э., Оганесян А.Х. Закономерности в характере распределения в вертикальных разрезах содержаний макро- и микроэлементов и в распределении по латерали величин средних содержаний ряда элементов по данным изучения керн 3 скважин, пробуренных на всю мощность Фиагдонского хвостохранилища (Республика Северная Осетия-Алания) // Вестник ВНЦ РАН. 2019. Т. 19. № 2.

PATTERNS IN THE NATURE OF THE CONTENTS OF MACRO- AND MICROELEMENTS DISTRIBUTION IN THE SURFACE LAYER (0.6 M) OF THE FIAGDON TAILING DUMP (REPUBLIC OF NORTH OSSETIA-ALANIA)

A.G. Gurbanov^{1,2}, A.B. Leksin¹, V.M. Gazeev^{1,2}, O.A. Gurbanova⁴, A.B. Lolaev^{2,5},

A.Kh. Oganessian^{2,3}, S.O. Dzeboev³.

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 – The Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «The North Ossetian State University named after K.L. Khetagurov» (NOSU).

Abstract. In the article, based on the results of geochemical studies of 24 samples from buried industrial wastes, taken from the surface layer (0.6 m) of the Fiagdon tailing dump in 4 profiles from west to east up to 800 m and their analysis revealed a number of patterns in the distribution of macro- and microelement contents. The nature of the distribution of the average values of macro- and microelements contents, both within each of the profiles and laterally between the profiles in the surface layer of industrial wastes is not uniform. It is most clearly manifested in the distribution of the maximum values of base metals and metalloids contents (oxides in wt.%, elements - in g/ton).

In Profile №1, maximum contents are set at the following sampling points and layers: (top layer is 10 cm in thickness, 2-nd layer is 50 cm in thickness, here and in after) for: TiO₂ = 0.76 and 0.78 at one sampling point in the upper and 2-nd layers, respectively; S = 5.96 at one point in the 2-nd layer; Cu = 372 and 396 at 2 different points in the 2-nd and upper layers; Zn = 2038 and 1487 at 2 different points in the 2-nd and upper layers, respectively; Pb = 3228 and 3199 at 2 different points in the 2-nd layer; As = 1461 and 1313 in 2 different points in the 2-nd and upper layers, respectively.

In Profile №2: TiO₂ = 0.74 at one point, the third layer with a capacity of 50 cm; S = 8.1 and 7.2 at 2 different sampling points in the upper and second layers, respectively; Cu = 363 at one point in the 2-nd layer; Zn = 655 and 677 at 2 different points in the 2-nd layer; Pb = 2113 and 3824 at 2 different points in the upper and third layers, respectively.

In Profile №3: TiO₂ in 2 different points: 0.86 - the top layer, 0.79 and 0.72 - the 2-nd layer; S = 5.26 at one point the upper layer; Zn = 2617 - 2-nd layer at one point; Pb = at 2 different sampling points: 3513 - 2-nd layer and 4017 - top layer; As = at 2 different points: 1401, 1360 - top layer, 2482 and 1596 - 2-nd layer.

In Profile №4: TiO₂ in 2 different points: 0.86 and 0.76 - the top layer, 0.80 - the 2-nd layer; S at 3 different points: 5.82 and 5.84 - 2-nd layer, 11.18 - top layer; Cu at 2 different points: 450 and 455 - 2-nd layer, 413 - top layer; Zn in 2 different points: 1576 and 1788 - 2-nd layer, 1539 - upper layer; Pb in 2 different points: 3089 and 3283 - the 2-nd layer, 3428 and 4561 - the top layer; As in 2 different points: 1831 - 2-nd layer, 1265 - top layer.

It was established that the average content of base metals and metalloids (Mn, Fe, Cu, Zn, Ba, Pb) in the surface 0.6 m layer of industrial wastes turned out to be lower than the average content of the same metals in the tailing dump as a whole, calculated from the results of core analyzes of 3 wells drilled to the full thickness of the tailing dump. However, due to the low thickness of the surface layer, this had practically no effect on the decrease in the size of their average contents in the upper storage area as a whole.

Keywords: Fiagdon tailing dump, macro- and microelement and base metals contents, patterns in the distribution of elements in 4 profiles, contents from west to east in the surface layer (0.6 m) of the tailing dump.

REFERENCES

1. Vagin V.S., Golik V.I. Problemy ispol'zovaniya prirodnih resursov YUzhnogo federal'nogo okruga // Uchebnik dlya vuzov. – Vladikavkaz: Proekt-Press, 2005. 192 s.
2. 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 vyshchelachivaniya // DAN, 2016, tom 470, № 4, S. 344–347.
3. Gazdanov A.C. i dr. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Podgotovka ekologicheskii napryazhennyh lokal'nyh ob»ektov k monitoringu (Ocenka tekhnogennoego vozdeystviya hvostohranilishch Mizurskoj i Fiagdonskoj obogatitel'nyh fabrik na okruzhayushchuyu sredu). Goskondredra RSO-A, geologicheskoe nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Sevosgeonauka». Fond FGGRUP «Sevoscvetmetrazvedka». 1996. 103 s.
4. Gurbanov A.G., Bogatkov O.A., Karamurzov 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'fram-molibdenovogo kombinata (Kabardino-Balkarskaya respublika) v svete novyh dannyh // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN. 2015. № 1 (63). S. 82–90.
5. Gurbanov A.G., Leksin A.B., Gazeev V.M., Gurbanova O.A., Lolaev A.B., Cukanova L.E., Ilaev V.E., Dzeboev S.O., Oganessian A.H. Variatsii soderzhanij makro- i mikroelementov v vertikal'nyh razrezah v promyshlennyh othodah Fiagdonskogo hvostohranilishcha (Respublika Severnaya Osetiya-Alaniya) // Vestnik VNC RAN. 2019. T. 19. № 1. S. 59–68.
6. Gurbanov A.G., Leksin A.B., Gazeev V.M., Gurbanova O.A., Lolaev A.B., Ilaev V.E., Oganessian A.H. Zakonomernosti v haraktere raspredeleniya v vertikal'nyh razrezah soderzhanij makro- i mikroelementov i v raspredelenii po laterali velichin srednih soderzhanij ryada elementov po dannym izucheniya kerna skvazhin, proburenyh na vsyu moshchnost' Fiagdonskogo hvostohranilishcha (Respublika Severnaya Osetiya-Alaniya) // Vestnik VNC RAN. 2019. T. 19. №2.