УДК 553.4;553.0461
DOI 10.23671/VNC.2019.4.43324

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

**А.Г. Гурбанов[1], А.Б. Лексин[2], В.М. Газеев[3], О.А. Гурбанова[4], А.Б. Лолаев[5], А.Х. Оганесян[6], С.О. Дзебоев[7]**

***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 = 3 228 и 3 199 в 2 разных точках во 2-м слое; As = 1461 и 1313 в 2 разных точках во 2-м и верхнем слоях, соотственно. 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 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 опробования: 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.*
*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 керна 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] *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. ИГЕМ РАН, г. Москва.*
[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, г. 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] *Дзебоев Станислав Олегович – аспирант ФГБОУ СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ (dzaboev.stas@mail.ru).*

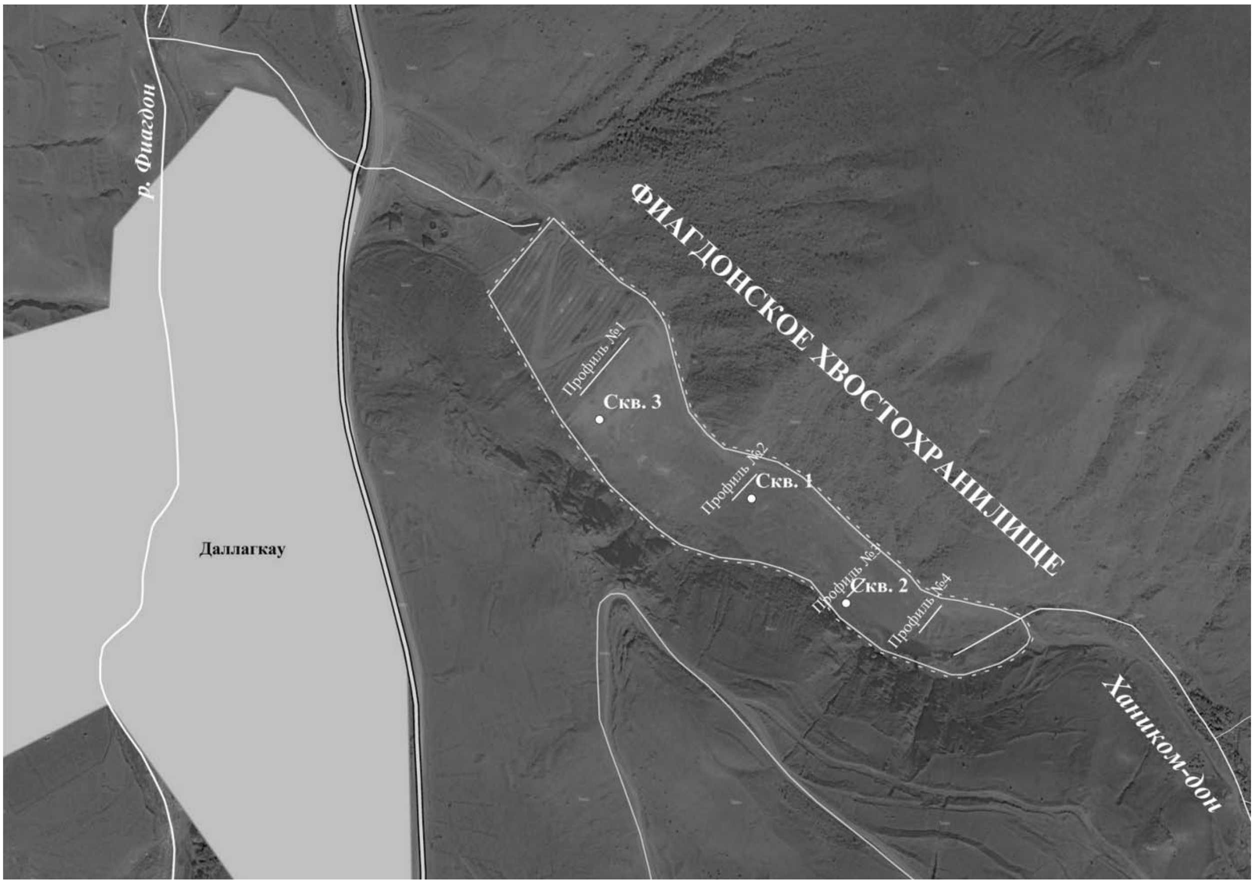



***Рис. 1.* Схема расположения профилей опробования поверхностного слоя Фиагдонского хвостохранилища**

MnO, $Fe_2O_3$). 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 обословлено 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; $Fe_2O_3$ = 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 хвостохранилище, 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 м$^2$. 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 приведены 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 30–50м 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.

*Таблица № 1*

| Номер пробы | CaO | $TiO_2$ | MnO | $Fe_{общ.}$ | $P_2O_5$ | $S_{общ.}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) |
| 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** |

Исследования выполнялись в ЦКП ИГЕМ РАН «ИГЕМ-АНАЛИТИКА». Анализ химического состава проб и определение в них содержаний ряда макро- и 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 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 прокаливании (LOI) определялись гравиметрическим способом. Время выдержки при температуре 950º С составляло 30 мин. Подготовка препаратов для анализа микроэлементов выполнена путем прессования 1 г порошка пробы с полистиролом под давлением 5 т/см$^2$.

## 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

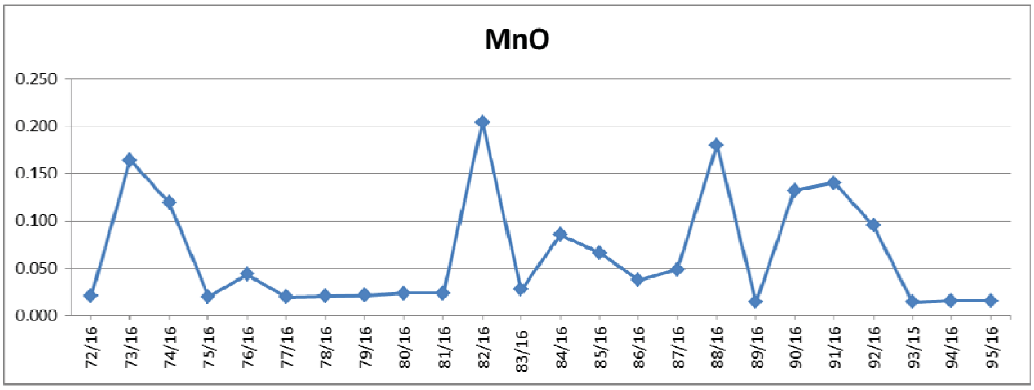
(оксиды и сера в масс. %, элементы в г/т)

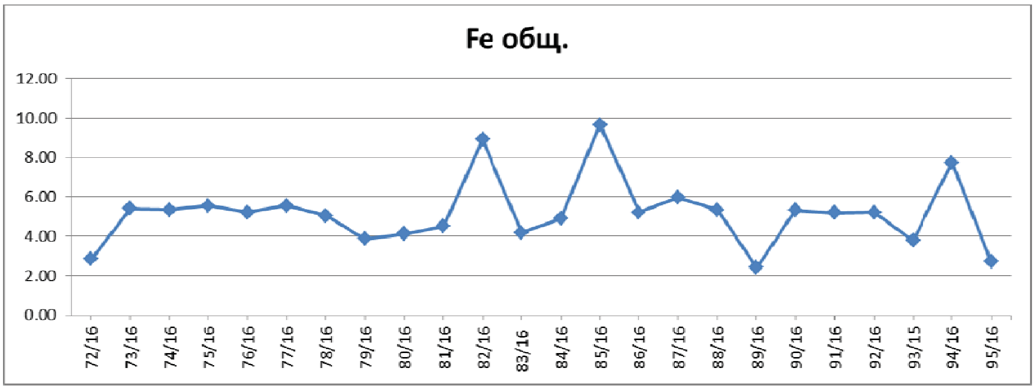
На основании анализа полученных данных (*таблица № 1*) установлено, что:

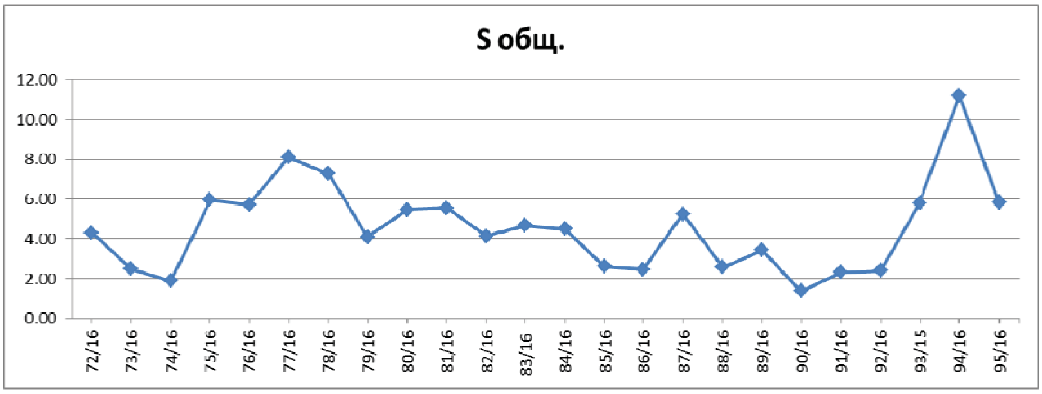
***Продолжение таблицы № 1***

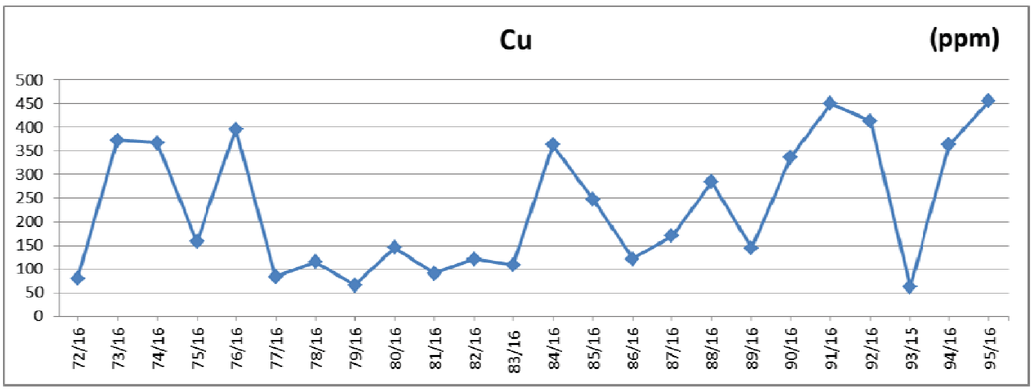
| Номер пробы | Cr | V | Co | Ni | Cu | Zn | Rb | Sr | Zr | Ba | Th | Y | Nb | Pb | As |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) |
| 72/16 | 112 | 86 | 6 | 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** |

*Примечание 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.*


MnO
0.250
0.200
0.150
0.100
0.050
0.000
72/16 73/16 74/16 75/16 76/16 77/16 78/16 79/16 80/16 81/16 82/16 83/16 84/16 85/16 86/16 87/16 88/16 89/16 90/16 91/16 92/16 93/15 94/16 95/16


Fe общ.
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
72/16 73/16 74/16 75/16 76/16 77/16 78/16 79/16 80/16 81/16 82/16 83/16 84/16 85/16 86/16 87/16 88/16 89/16 90/16 91/16 92/16 93/15 94/16 95/16


S общ.
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
72/16 73/16 74/16 75/16 76/16 77/16 78/16 79/16 80/16 81/16 82/16 83/16 84/16 85/16 86/16 87/16 88/16 89/16 90/16 91/16 92/16 93/15 94/16 95/16


Cu
(ppm)
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
72/16 73/16 74/16 75/16 76/16 77/16 78/16 79/16 80/16 81/16 82/16 83/16 84/16 85/16 86/16 87/16 88/16 89/16 90/16 91/16 92/16 93/15 94/16 95/16

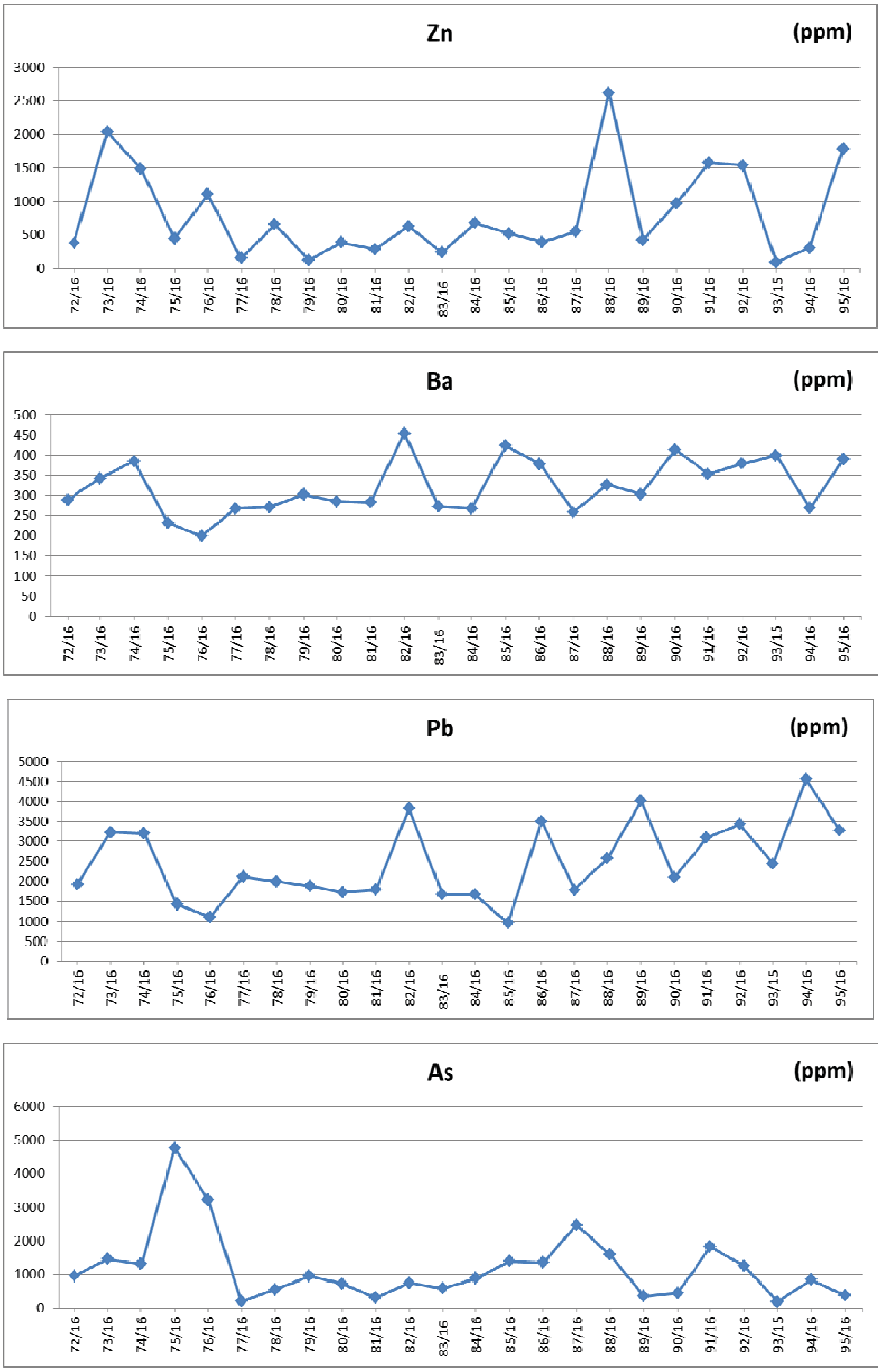



***Рис. 2.*** **Графики распределения базовых металлов и металлоидов в поверхностном 0.6 м слое хвостохранилища по четырем профилям**

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 микроэлеменов 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-з) материала из поверхностного слоя хвостохранилища. Этот т-з 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 отработки 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) установленные 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 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 7.2в 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, $Fe_{общ}$, 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.

4. Установлено, что величины средних содержаний базовых металлов и металлоидов (Mn, Fe, Cu, Zn, Ba, Pb) в поверхностном 0.6 м слое промышленных отходов 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. 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., ГурбановА.Г., Богатиков О.А., Сычкова В.А., ШевченкоА.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 «Севосгеонаука». Фонд ФГГРУП «Севосцветметразведка». 1996. 103 с.*

***4. Гурбанов А.Г., Богатиков 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., Дзебоев 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., Дзебоев 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 керна 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. Leksin[1], V.M. Gazeev[1,2], O.A. Gurbanova[4], A.B. Lolaev[2,5], A.Kh. Oganesyan[2,3], S.O. Dzeboev[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 – The Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «The North Ossetian State Universitynamed 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 inafter) for: $TiO_2$ = 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: $TiO_2$= 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: $TiO_2$ 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: $TiO_2$ 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 prirodnyh resursov YUzhnogo federal'nogo okruga // Uchebnik dlya vuzov. – Vladikavkaz: Proekt-Press, 2005. 192 s.*

*2.Vinokurov S.F., GurbanovA.G., Bogatikov O.A., Sychkova V.A., SHevchenkoA.V., Leksin A.B., Dudarov Z.I. Geohimicheskie osobennosti utilizacii 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 ekologicheski 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 «Sevoscvetmetrazvedka». 1996. 103 s.*

*4. Gurbanov A.G., Bogatikov 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., Oganesyan A.H., Dzeboev S.O., Kozinkin A.V., Kozakov A.T., Cukanova L.E. Problemy utilizacii promyshlennyh othodov Tyrnyauzskogo vol'framo-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., Oganesyan A.H. Variacii 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., Oganesyan 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, proburennyh na vsyu moshchnost' Fiagdonskogo hvostohranilishcha (Respublika Severnaya Osetiya-Alaniya) // Vestnik VNC RAN. 2019. T. 19. №2.*