

УДК 553.4;553.0461

**ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О ВАРИАЦИЯХ СОДЕРЖАНИЙ  
МАКРО-, МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ  
В ВЕРТИКАЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДАХ  
ФИАГДОНСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА  
(РЕСПУБЛИКА СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ — АЛАНИЯ)**

**А. Г. Гурбанов<sup>1,2,\*</sup>, академик РАН О. А. Богатиков<sup>1</sup>, А. Б. Лексин<sup>1,\*\*</sup>,  
В. М. Газеев<sup>1,2</sup>, О. А. Гурбанова<sup>4</sup>, А. Б. Лолаев<sup>2,3</sup>, В. Э. Илаев<sup>3</sup>**

Поступило 25.12.2018 г.

Впервые публикуются новые данные о содержании макро- и микроэлементов в промышленных отходах Фиагдонского хвостохранилища, полученные количественными методами (XRF и ICP MS), которые оказались выше прежних данных, использованных для подсчёта запасов металлов, хранящихся в нём. При этом повышенные содержания благородных металлов, особенно платины, выявлены впервые. Это делает целесообразным с экономической точки зрения разработку способа полной утилизации отходов с извлечением из них экономически ценных и экологически опасных элементов.

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

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5652487169-72>

### ВВЕДЕНИЕ

Хвостохранилище Фиагдонской обогатительной фабрики (ФОФ) расположено (рис. 1) в пойме р. Хаником-дон (правый приток р. Фиагдон в 2,5 км севернее пос. Верхний Фиагдон). Оно имеет вытянутую в широтном направлении V-образную форму и ограничено с южного и северного бортов скальными выходами раннеюрских песчано-сланцевых толщ. От долины р. Фиагдон хвостохранилище отделено высокой насыпной дамбой. Площадь хвостохранилища около 56 000 м<sup>2</sup>. Его длина по ущелью до 800 м при ширине от 50 и до 200 м, и в нём захоронено 2,4 млн т промышленных отходов с содержаниями (мас. %): Pb — 0,19, запасы 4560 т; Zn — 0,36, запасы 8400 т; Cu — 0,12, запасы 2880 т; Fe — 6,8, запасы 163 200 т; Ti — 0,16, запасы 3840 т; Mn — 0,14, запасы 3360 т; Ag — 4,0 г/т, запасы 9,6 т [1]. Из рудных минералов в промышленных отходах

описаны сфалерит, галенит, халькопирит, пирит, арсенопирит, титаномагнетит и реже барит. Хвостохранилище введено в эксплуатацию в 1970 г., а отработано в 2003 г. [4].

### МЕТОДИКИ ОТБОРА ПРОБ И МЕТОДЫ ИХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методом пунктирной борозды опробован (взята 71 проба) керн трёх скважин, пробуренных на всю мощность хвостохранилища. Керн сложен переслаивающимися средне- и крупнозернистыми “лежащими” песками. Для геохимических исследований из керна с каждого метра отбирались пробы весом по 100 г каждая. В скважине № 2 пробами охарактеризованы интервалы от 1,5 до 10 м, в скважине № 1 — от 1,5 и до 22 м, а в скважине № 3 — от 1,5 до 31,5 м, т.е. на всю мощность промышленных отходов. Остатки керна скважин объединены в сводные пробы для дальнейших, технологических исследований. Подготовка проб для анализов осуществлялась по общепринятым методикам. Исследования выполнялись в ЦКП “ИГЕМ АНАЛИТИКА”. Анализ химического состава проб и определение в них содержаний ряда элементов выполнены методом рентгено-флюоресцентной спектрометрии (XRF) на спектрометре последовательного действия PW-2400 Philips Analytical B.V. При калибровке спек-

<sup>1</sup> Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской Академии наук, Москва

<sup>2</sup> Владикавказский научный центр Российской Академии наук

<sup>3</sup> Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный университет), Владикавказ

<sup>4</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

\* E-mail: [gurbanov@igem.ru](mailto:gurbanov@igem.ru)

\*\* E-mail: [lexin@igem.ru](mailto:lexin@igem.ru)

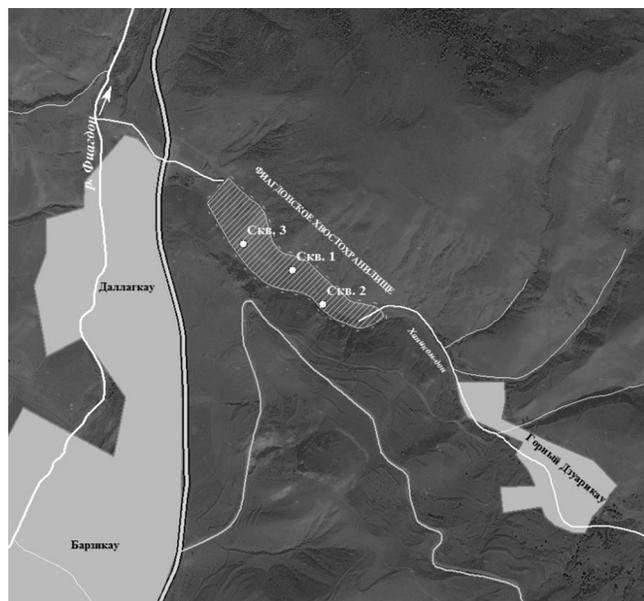


Рис. 1. Схема расположения Фиагдонского хвостохранилища и устьев скважин.

тромаметра использованы отраслевые и государственные стандартные образцы горных пород (14 ОСО, 56 ГСО). Качество результатов соответствует требованиям III категории точности количественного анализа по ОСТ РФ 41-08-205-99. Содержание благородных металлов проводилось методом спектроскопии с индукционно-связанной плазмой с масс-спектрометрическим окончанием (ICP-MS) на масс-спектрометре X-Series II с использованием российских и международных стандартов.

### РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных результатов геохимических исследований 37 проб из керна трёх скважин и 5 проб из низов разреза хвостохранилища для определения в них содержаний благородных металлов помог выявить конкретные вариации содержаний (оксидов в мас.%, микроэлементов в г/т, здесь и далее) в вертикальных разрезах хвостохранилища от восточного края до западного. В скважине № 2 (восточная часть хвостохранилища) выявлены следующие вариации содержаний элементов в вертикальном 10-м разрезе: содержание  $TiO_2$ , Cr, V, Cu, в целом, снижается вниз по разрезу, а MnO,  $Fe_2O_3$  общ, CaO, Zn, Pb явно увеличивается. Для Ni, Sr, As происходит слабое увеличение содержаний вниз по разрезу, а содержание Ba и  $S_{общ}$  в общем по всему разрезу (за исключением положительных аномалий на глубинах 2 и 9 м) практически постоянное. В характере распределения содержаний ма-

кро- и микроэлементов вниз по разрезу выявлены следующие особенности на глубинах: 1,5 м — максимальные содержания  $TiO_2 = 0,85$ , Cr = 129, V = 140, Cu = 441, Pb = 3038; 2 м — максимальные содержания S = 2,44, Ni = 37, Co = 17, Zn = 2277, Sr = 73, Ba = 1390, As = 1061; 3 м — максимальные содержания Sr = 81, Ba = 1726, As = 1089 и минимальные — Pb = 1790; 5 м — максимальные содержания  $TiO_2 = 0,86$ , V = 131, Co = 16, Cu = 458, Zn = 3187; 6 м — максимальные содержания  $Fe_2O_3 = 9,85$ , Cr = 112, Pb = 3255 и минимальное Cu = 300; 7 м — максимальное содержание MnO = 0,26; 8 м — максимальные содержания CaO = 2,94, Cu = 443; 9 м — максимальные содержания MnO = 0,27,  $Fe_2O_3 = 10,5$ , Zn = 2398, Pb = 5492; 10 м — максимальные содержания MnO = 0,27, CaO = 2,92, Ni = 40. На 9 м содержания (в г/т) Ru — 0,001; Rh — 0,002; Pd — 0,046; Ir — 0,009; Pt — 1,29; Au — 0,05.

В скважине № 1 (центр хвостохранилища) наблюдаются следующие вариации содержаний элементов вниз по вертикальному 22-метровому разрезу:  $TiO_2$ ,  $S_{общ}$ , Cu, Zn, Ba, Pb и As явно увеличиваются, а MnO,  $Fe_2O_{3общ}$ , V, Sr — слабо увеличиваются. В вариациях содержаний элементов в вертикальном разрезе выявлены следующие особенности на глубинах: 1,5 м — минимальные содержания MnO = 0,11,  $Fe_2O_3 = 5,7$ , S = 1,89, Zn = 1238, Ba = 288, Pb = 990, As = 701; 2 м — максимальные концентрации MnO = 1,28,  $Fe_2O_3 = 19,9$ , Pb = 7894 и минимальные  $TiO_2 = 0,43$ , V = 47, Ni = 22, Cu = 161; 3 м — максимальные концентрации S = 2,35, Zn = 2396; 4 м — максимальные концентрации Ni = 38, Sr = 73, Ba = 1436; 5 м — максимальные концентрации  $TiO_2 = 0,8$ , S = 2,51, Cr = 109, V = 127, Cu = 478; 9 м — максимальные концентрации MnO = 0,516,  $Fe_2O_3 = 12,05$ ; 12 м — максимальные концентрации S = 3,35, Co = 17, Ni = 38, As = 2012 и минимальные Cr = 56, Sr = 42; 17 м — максимальная концентрация V = 119; 19 м — минимальная концентрация  $Fe_2O_3 = 7,04$ ; 20 м — максимальные концентрации S = 3,24, Cu = 533; 21 м — минимальная концентрация  $Fe_2O_3 = 6,92$  и максимальные концентрации  $TiO_2 = 0,79$ , Cu = 498, Zn = 2688, As = 1764. На глубинах 19–20 м содержания (в г/т) Ru, Rh и Ir стабильные — 0,001; 0,002 и 0,009; Pd — снижается с 0,049 до 0,045; Pt и Au увеличиваются с 0,66 до 0,94 и с 0,08 до 0,17 соответственно.

В скважине № 3 (запад хвостохранилища) наблюдаются следующие вариации в содержании элементов вниз по вертикальному 31,5-метровому разрезу:  $TiO_2$ , MnO,  $Fe_2O_{3общ}$ , V, Cu, Zn, Ba, Pb, As явно увеличиваются,  $S_{общ}$ , Cr явно снижаются, а Ni в об-

шем слабо снижается при практически постоянном Sr. В распределении содержания макро- и микроэлементов в вертикальном разрезе выявлены следующие особенности на глубинах: 1,5 м — максимальные содержания S = 4,79, Cr = 110, Cu = 1194, As = 2300 и минимальные — MnO = 0,044, Ni = 38; 4 м — максимальные содержания Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 9,15, S = 3,52, Ni = 43 и минимальные Cu = 132, Pb = 594; 7 м — максимальные содержания TiO<sub>2</sub> = 0,68, MnO = 0,358, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 10,2, Cr = 89, Zn = 2263, Pb = 2600 и минимальные S = 2,24, As = 886; 14 м — максимальное содержание Zn = 2702; 17 м — минимальные содержания Cu = 191, Sr = 38, Pb = 763; 22 м — максимальное содержание As = 1646; 26 м — максимальные содержания V = 122, Sr = 436, Pb = 5258, и минимальные TiO<sub>2</sub> = 0,49, MnO = 0,049, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 4,84, Cr = 41, Ni = 21, Zn = 1120; 27 м — максимальные содержания S = 3,17, V = 134, Sr = 485, Pb = 5811 и минимальное Zn = 933; 28 м — максимальные содержания TiO<sub>2</sub> = 0,7, Cu = 546, Sr = 184, Pb = 2733; 31 м — максимальные содержания TiO<sub>2</sub> = 0,72, Cr = 82, Co = 14. На 28 и 30 м содержания (в г/т) Ru, Ir и Pt стабильные — 0,001; 0,008 и 0,07; Rh и Au снижаются с 0,002 до 0,001 и с 0,25 до 0,11 соответственно; Pd увеличивается с 0,042 до 0,044.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые выявлены вариации в характере распределения содержаний макро- и микроэлементов в вертикальных разрезах на всю мощность хвостохранилища и их средних величин с востока на запад (800 м по латерали). Максимальные концентрации базовых металлов могли быть обусловлены: а) наличием тонкодисперсной или наноразмерной богатой вкрапленности рудных минералов (халькопирита арсенопирита, галенита, сфалерита и др.) в жильных минералах из рудных тел, которые не флотировались и “уходили” в хвосты, обусловив в них высокие содержания полиметаллов (аналогичная картина доказана для хвостохранилищ Тырнаузского комбината [3]); или б) сбоями в технологии процесса флотации.

2. Установленные в нижних частях разреза хвостохранилища повышенные содержания благородных металлов можно объяснить как их наличием в нижнеюрском песчано-глинистом с графитовыми прослоями разрезе, содержащем полиметаллические месторождения Какадур-Хаником и Фиагдон, контролирующихся субмеридиональными ослабленными зонами [5, 6], так и возможным наличием в этом разрезе черносланцевого типа оруденения благородных металлов [7]. Не исключено, что при-

ведённые данные свидетельствуют о наличии в этом районе нового для Северной Осетии и Северного Кавказа нижнеюрского черносланцевого типа золото-платинового оруденения.

3. На основании новых геохимических данных рассчитаны средние содержания оксидов и ряда элементов в хвостохранилище. Так как эти данные превышают средние величины содержания, использованные Фиагдонским ГОКом для подсчёта запасов металлов, хранящихся в хвостохранилище, то их запасы могли измениться следующим образом: Pb — содержание было 0,19% стало 0,267, запасы были 4560 т, стали 6408 т; Zn — содержание было 0,36% стало 0,2, запасы были 8400 т, стали 4667 т; Cu — содержание было 0,12%, стало 0,038, запасы были 2880 т, стали 912 т; Fe — содержание было 6,8%, стало 9,04, запасы были 163 200 т, стали 216 960 т; Ti — содержание было 0,16%, стало 0,71%, запасы были 3840 т, стали 17 040 т; Mn — содержание было 0,14%, стало 0,235, запасы были 3360 т, стали 5640 т. После получения результатов исследований всех ещё не проанализированных проб (35 проб из керна скважин и 24 пробы из поверхностного слоя [0,3–0,5 м] хвостохранилища) запасы ряда металлов могут ещё увеличиться, что сделает разработку способа полной утилизации отходов [2, 3] с предварительным извлечением из них экономически ценных и экологически опасных элементов более привлекательным мероприятием с экономической точки зрения.

**Источники финансирования.** Работа выполнена по плану НИР ИГЕМ РАН № 0136–2018–0036 — Проект 1.39 “Проблемно-ориентированные исследования техногенных отходов горно-рудных предприятий Северного Кавказа и Забайкалья: размещение, вещественно-минеральный состав, оценка воздействия на экосистемы” в рамках программы фундаментальных исследований президиума РАН № 39 “Фундаментальные основы и энергоэффективные, ресурсосберегающие, инновационные технологии переработки минерального сырья, утилизации промышленных и бытовых отходов” при финансовой поддержке НИОКТР КНИО ВНЦ РАН: АААА–А17–117060910043–8 на 2018 г.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагин В.С., Голик В.И. Проблемы использования природных ресурсов Южного федерального округа: Учебник для вузов. Владикавказ: Проект-Пресс, 2005. 192 с.
2. Винокуров С.Ф., Гурбанов А.Г., Шевченко А.В., Дударов З.И. Способ утилизации слабокарбонатных отходов флотационного обогащения вольфрам-

- молибденовых руд. RU (11) 2627 656(13) С1. Федеральная служба по интеллектуальной собственности // Бюл. 2017. № 22.
3. *Винокуров С.Ф., Богатиков О.А. Гурбанов А.Г. и др.* Экологические риски хранения отходов Тырныаузского вольфрам-молибденового комбината и проблемы их комплексной утилизации. Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2018. 130 с.
  4. *Газданов А.Ц., Кусраев А.Г., Лолаев А.Б. и др.* Отчёт о научно-исследовательской работе “Подготовка экологически напряжённых локальных объектов к мониторингу” (Оценка техногенного воздействия хвостохранилищ Мизурской и Фиагдонской обогатительных фабрик на окружающую среду). М.: Госкомнедра РСО-А, геол. науч.-производ. предприятие “Севосгеонаука” / Фонд ФГГРУП “Севосцветметразведка”, 1996. 103 с.
  5. *Гурбанов А.Г., Зембатов С.С.* // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1978. № 5. С. 106–120.
  6. *Гурбанов А.Г., Фаворская М.А.* // Сов. геология. 1977. № 7. С. 44–58.
  7. *Давыдов К.В., Давыдова Э.И., Таратынко Е.С. и др.* Отчёт “Поисковые работы на золото-серебряный и золото-сульфидный типы оруденения Горной Осетии (РСО-Алания)”. 2009. Госконтракт № 1/07”. Владикавказ: Севосгеологоразведка: Росгеолфонд, 2009. Центральное фондохранилище инв. № 494640.

**THE FIRST DATA ABOUT THE VARIATIONS IN THE CONTENT OF MACRO- AND MICROELEMENTS AND PRECIOUS METALS IN VERTICAL SECTIONS IN INDUSTRIAL WASTES OF THE FIAGDON TAILING DUMP (REPUBLIC OF NORTH OSSETIA — ALANIA)**

**G. Gurbanov<sup>1,2</sup>, Academician of the RAS O. A. Bogatikov<sup>1</sup>, A. B. Leksin<sup>1</sup>, V. M. Gazeev<sup>1,2</sup>, O. A. Gurbanova<sup>4</sup>, A. B. Lolaev<sup>2,3</sup>, V. E. Ilaev<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Vladikavkaz, Russian Federation*

<sup>3</sup>*The North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy, Vladikavkaz, Russian Federation*

<sup>4</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

Received December 25, 2018

The new data published firstly obtained by quantitative methods (XRF and ICP MS) on the terms of the average content of macro- and microelements in industrial wastes of the Fiaгdon tailing dump exceed the data used for calculation of the metals reserves stored in tailing pond. While elevated content of precious metals, especially Platinum, revealed for the first time. This makes more attractive measure from an economic point of view. The development of a method for the complete utilization of waste, with the extraction of economically valuable and environmentally hazardous elements.

**Keywords:** Fiaгdon tailing dump, content of macro- and microelements, wells, variations in the distribution of the contents of elements in vertical sections of industrial wastes.