

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ХВОСТОХРАНИЛИЩА ЗОЛОТОРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА: ЦЕННЫЕ И ТОКСИЧНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Наталья Викторовна Юркевич

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, доцент кафедры геофизических систем, e-mail: YurkevichNV@ipgg.sbras.ru

Светлана Борисовна Бортникова

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор геолого-минералогических наук, профессор, тел. (383)330-95-36, e-mail: BortnikovaSB@ipgg.sbras.ru

Владимир Владимирович Оленченко

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)330-79-08, e-mail: OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru

Ирина Викторовна Проворная

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат экономических наук, научный сотрудник, тел. (383)330-95-36, e-mail: ProvornayaIV@ipgg.sbras.ru

Ольга Петровна Саева

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, e-mail: SaevaOP@ipgg.sbras.ru

Приводятся данные о составе и объемах хвостов в хранилище отходов Комсомольского золотоизвлекательного завода по результатам электротомографии и химических анализов. Сделана оценка ресурсов ценных и токсичных компонентов (Ag, Zn, Cd, Pb, As, Hg) и рассчитан экологический ущерб.

Ключевые слова: хвостохранилище, сульфидные отходы, электротомография, металлы, экологический ущерб, переработка.

THE CURRENT STATE OF GOLD MINING TAILINGS: VALUABLE AND TOXIC COMPONENTS

Nataliya V. Yurkevich

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Ph. D., Senior Researcher; Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karla Marksa Prospect, Assistant professor of Department of Geophysical Systems, e-mail: YurkevichNV@ipgg.sbras.ru

Svetlana B. Bortnikova

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptyug Prospect, D. Sc., Professor, tel. (383)330-95-36, e-mail: BortnikovaSB@ipgg.sbras.ru

Vladimir V. Olenchenko

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptyug Prospect, Ph. D., Senior Researcher, e-mail: OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru

Irina V. Provornaya

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptyug Prospect, Ph. D., Senior Researcher, tel. (383)330-95-36, e-mail: ProvornayaIV@ipgg.sbras.ru

Olga P. Saeva

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptyug Prospect, Ph. D., Researcher, e-mail: SaevaOP@ipgg.sbras.ru

Provides data structure and the volume of tailings waste storage Komsomolsk gold recovery plant according to the results of electrical tomography and chemical analysis. Done resource estimation of the valuable and toxic components (Ag, Zn, Cd, Pb, As, Hg) and calculated environmental damage.

Key words: sulfide-bearing mine tailings, electrical resistivity tomography, metals, environmental damage, recycling.

Сульфидсодержащие отходы обогащения руд вызывают интерес исследователей в связи с тем, что они являются источником загрязнения окружающей среды и в то же время представляют собой техногенные месторождения. Актуальной задачей стала оценка не только токсичных, но и ценных компонентов хранилищ, с применением комплекса геохимических методов, частотного и вертикального электрического зондирования [1–3]. Цель работы – определение объемов и состава вещества отходов в Комсомольском хвостохранилище (Кемеровская область) с использованием электротомографии и геохимических методов, расчет экологического ущерба. Комсомольский золотоизвлекательный завод (КЗЗ, пос. Комсомольск, Кемеровская область) был введен в эксплуатацию в 1937–1940 гг. Золото-арсенопирит-кварцевые руды перерабатывались цианированием, производилось извлечение золота из сурьмяных кеков (продукт переработки антимонитовых концентратов выщелачиванием). Твердое вещество отходов состоит из кварца, полевого шпата, кальцита и сульфидных минералов (пирит, сфалерит, галенит, пирротин и арсенопирит). В результате складирования отходов над поверхностью твердой части образовалось техногенное озеро площадью порядка 100 тыс. м², со средней глубиной около 2 м [4].

В 2014–2016 гг. было проведено подробное опробование твердого вещества хвостохранилища и различных поверхностных вод. Микроэлементный состав твердого вещества анализировался при помощи метода РФА-СИ на ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН, поверхностных вод – методом ИСП-МС. С помощью метода электротомографии (ЭТ) было установлено геоэлектрическое строение участка

исследований до глубины 30 м. В пределах хвостохранилища была разбита сеть наблюдений из 9 профилей №№ 1–9 длиной по 355 м. Измерения методом ЭТ выполнялись аппаратурой «Скала-48» [5], последовательность подключения электродов соответствует установке Шлюмберже, шаг измерений по профилю – 5 м, обработка данных – с помощью программ Res2Dinv и Res3Dinv [6].

Экономическая оценка экологического ущерба от загрязнения водохозяйственного участка (Y_B) определялась по формуле [7, 8]: $Y_B = \gamma_B \cdot \sigma_B \cdot M_B$, где γ_B – показатель удельного ущерба водным ресурсам, руб./усл. тонну; σ_B – коэффициент экологической значимости для водных объектов по бассейнам основных рек; M_B – приведенная масса загрязняющих веществ, усл. тонн: $M_B = \sum_{i=0}^N A_i \cdot m_i$, где N – общее количество загрязняющих веществ. Показатель относительной опасности i -го вещества $A_i = \frac{1}{\text{ПДК}_i}$, где ПДК_в – предельно-допустимая концентрация [9].

По результатам химических анализов содержания Cu, Zn, As, Sb, Ag, In в веществе отходов КЗЗ сопоставимы с концентрациями этих элементов в перерабатываемых рудах или по усредненным литературным данным (таблица). Среднее содержание накопленного золота – 0.38 г/т, что ниже среднего в перерабатываемых на КЗЗ рудах (1.57 г/т в 1980 г.), но максимальные концентрации в хвостах (0.9 г/т) сопоставимы с рудными.

Таблица

Некоторые элементы в составе хвостов Комсомольского хранилища и сравнение с содержаниями в руде, г/т

n=30	Cu	Zn	As	Sb	Cd	Au	Ag	In	Sn
Вещество Комсомольского хвостохранилища, г/т									
средн	1400	630	3000	2500	6.6	0.38	3.2	16	14
мин	1100	207	910	270	0.11	0.21	1.1	7.1	0.49
макс	1800	1200	7200	5000	14	0.92	9.2	33	64
руда	100-1000*	140**	100-1000**	1000-10000***	100-5000***	1.57**	2.5**	2-23***	100-1000**

Примечание: * – по данным [4]; ** – из отчета «Показатели работы Комсомольского завода в 1969–1981 годах» по состоянию на 1980 год; *** – по данным [10].

Состав воды гидроотвала характеризуется окислительными условиями (Eh 400 мВ) и сравнительно невысокой минерализацией – 0.4 г/л. В анионном составе преобладает сульфат-анион (290 мг/л), в катионном – Ca²⁺ (86 мг/л) и Mg²⁺ (17 мг/л). Слабощелочная реакция среды (рН от 7 до 8 единиц) в поверхностных водах хранилища обусловлена составом твердого вещества, контактирующего с водой: 3.2 % карбонатного углерода и 2 % сульфидной серы. То есть кислота, формирующаяся при окислении сульфидной компоненты, нейтрализуется достаточным количеством карбонатных минералов. Концентра-

ции металлов в исследуемых водах невысоки (в сумме около 0.6 мг/л). Напротив, средние содержания мышьяка и сурьмы составляют 0.21 (As) и 0.85 мг/л (Sb), что выше ПДК_в [9] в 21 и 170 раз соответственно.

По данным электротомографии были построены геоэлектрические разрезы Комсомольского хранилища. Хвосты на разрезах выделяются как зоны пониженного сопротивления (25–30 Ом·м), мощность отложений варьирует от 4.5 до 7.5 м. Основание хвостохранилища представлено диоритами, имеющими высокое (1000–3000 и более Ом·м) УЭС (рис. 1). По характеру распределения УЭС на глубине 20 м прослеживается путь фильтрации дренажа от места складирования в область разгрузки под дамбой и далее, по разлому, в область разгрузки в р. Воскресенка.

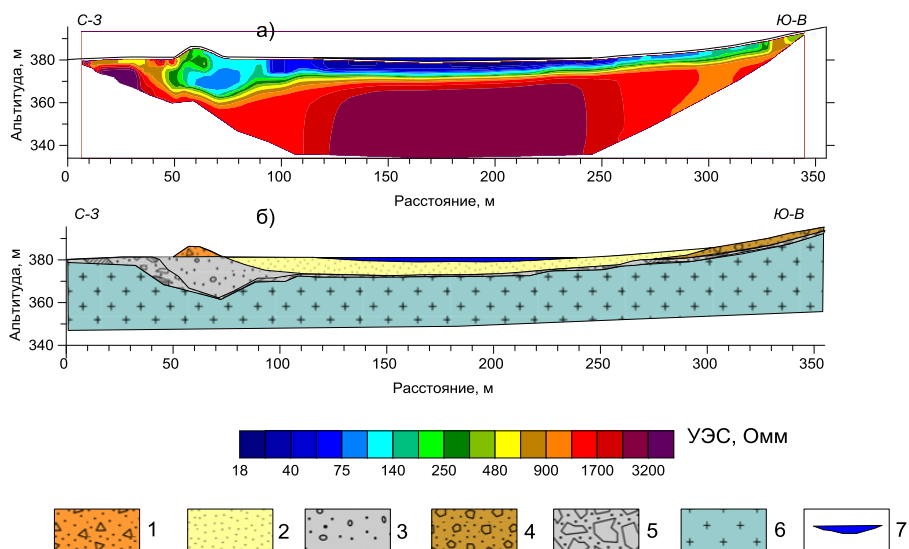


Рис. 1. Геоэлектрический разрез (а); его интерпретация (б):
 1 – насыпные грунты дамбы; 2 – хвосты обогащения; 3 – рыхлые отложения; 4 – рыхлые склоновые отложения; 5 – кора выветривания диоритов; 6 – коренные диориты; 7 – гидроотвал

В результате интерпретации данных была установлена мощность хвостов на всех профилях ЭТ и построена карта мощности техногенных отложений. Мощность хвостов неравномерна по площади, изменяется от первых метров по периферии хвостохранилища до 26 м на участке локального понижения кровли коренных пород. Медианное значение мощности хвостов составляет 7.6 м.

С помощью инструмента Volume программы Surfer (Golden Software) был рассчитан объем хвостов 958 тыс.м³, что сопоставимо с данными [4] (810 тыс. м³). По нашим оценкам, масса накопленных хвостов составляет около 3 млн. тонн. Зная концентрации металлов, мышьяка и сурьмы (см. таблицу), мы рассчитали ресурсы ценных и потенциально токсичных элементов в хвостах (средние значения, тонн): 9100 As, 7600 Sb, 4300 Cu, 1900 Zn, 48 In, 42 Sn, 20 Cd, 10 Ag, 1.2 Au. При рыночной цене золота 2300 рублей за 1 гр. (курс Центробан-

ка на 18.02.2017) стоимость складированного в хвостах металла составит около 2.7 млрд. рублей. Аналогичным образом оценивается стоимость других металлов в составе отходов. Присутствие же 9100 тонн мышьяка, элемента 1-го класса опасности, обуславливают экологические риски от размещения хвостохранилища на территории поселка в непосредственной близости от жилой зоны.

Результаты расчетов экономической оценки экологического ущерба от загрязнения р. Воскресенка в результате стока загрязненных вод с Комсомольского хвостохранилища показали ежегодный ущерб в размере 53.682 млн руб.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что полезные компоненты (Zn, Cu, Ag, Au, In, Sn) находятся в высоких концентрациях, сопоставимых с рудными. Их добыча могла бы существенно минимизировать стоимость работы по устранению экологического ущерба территории в зоне влияния отстойника. Целесообразна разработка рекомендаций по извлечению металлов и рекультивации нарушенных территорий.

Работа была выполнена в рамках проекта НИР ИНГГ СО РАН VIII.80.1.4 и при финансовой поддержке гранта фонда Президента РФ № МК-6654.2016.5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. The combination of Geoelectrical Measurements and Hydro-Geochemical Studies for the Evaluation of Groundwater Pollution in Mining Tailings Areas / S. Bortnikova, N. Yurkevich, E. Bessonova et al. // The Handbook of Environmental Chemistry. – Springer Berlin Heidelberg. ISSN: 1867-979X (Print) 1616-864X (Online). DOI: 10.1007/698_2013_234. 2013
2. Вертикальное и латеральное распространение высокоминерализованных растворов кислого дренажа по данным электротомографии и гидрогеохимии (Урской отвал, Салаир) / В.В. Оленченко, Д.О. Кучер, С.Б. Бортникова и др. // Геология и геофизика. – 2016. – № 4. – С. 782–795.
3. Yurkevich N.V., Saeva O.P., Karin Y.G. Geochemical anomalies in two sulfide-bearing waste disposal areas: Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, and As in contaminated waters and snow. Kemerovo and Chelyabinsk regions, Russia // Toxicological & Environmental Chemistry. – 2015. – Vol. 97, Issue 1. – P. 1–14.
4. Бортникова. С.Б., О.Л. Гаськова, Е.П. Бессонова. Геохимия техногенных систем. – Новосибирск: Академическое изд-во «ГЕО», 2006. – 169 с.
5. Электротомография: аппаратура, методика и опыт применения / Е.В. Балков, Г.Л. Панин, Ю.А. Манштейн и др. // Геофизика. – 2012. – № 6. – С. 54–63.
6. Loke M.H. Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies // A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys. – 2009.
7. Письмо Минприроды РФ n 04-25, Роскомзема № 61-5678 от 27.12.1993 «О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами».
8. Методика определения предотвращенного экологического ущерба, утвержденная Приказом Госкомэкологии России от 30.11. 1999.
9. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.
10. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: справочник в 6 кн. / Под ред. Э.К. Буренкова. – Кн. 3: Редкие р – элементы. – М.: Недра, 1996. – 352 с.

© Н. В. Юркевич, С. Б. Бортникова, В. В. Оленченко,
И. В. Проворная, О. П. Саева, 2017