

Санкт-Петербургский государственный университет

Материалы
12-ой международной школы-конференции

ПРОБЛЕМЫ ГЕОКОСМОСА

Санкт-Петербург, Петергоф

8-12 октября 2018 г.

Ответственные редакторы:

Н.Ю. Бобров, Н.В.Золотова, А.А. Костеров, Т.Б. Яновская

Санкт-Петербург 2018

УДК 550.8; 551
ББК 26.3
П78

П78 **Проблемы геокосмоса.** Материалы 12-й международной школы-конференции. Санкт-Петербург, Петергоф. 8–12 октября 2018 г. / Отв. редакторы: Н. Ю. Бобров, Н. В. Золотова, А. А. Костеров, Т. Б. Яновская. — СПб.: Изд-во ВВМ, 2018. — 385 с.

ISBN 978-5-9651-1207-4

Влияние суточного хода температуры на удельное электрическое сопротивление вещества отвалов хвостов обогащения сульфидных руд

Осипова П.С.⁽¹⁾, Оленченко В.В.⁽¹⁾, Бортникова С.Б.⁽¹⁾, Юркевич Н.В.⁽¹⁾

1 - Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН (ИНГГ СО РАН), 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3, телефон: 73833332900, e-mail: OsipovaPS@ipgg.sbras.ru

Аннотация.

Отвалы горно-обогатительных предприятий под воздействием факторов окружающей среды со временем подвергаются интенсивным гипергенным преобразованиям. Активные гипергенные преобразования таких «руд» находятся в тесной взаимосвязи с физическими полями. Цель настоящей работы заключается в определении характера и причин изменения удельного электрического сопротивления (УЭС) вещества отвала отходов обогащения руд с течением времени. Исследования выполнены методом микро-электротомографии путем определения УЭС разреза до глубины 1.5 м с интервалом в один час в течение суток с одновременной регистрацией температуры вещества на глубине 0.1 м. Максимальная суточная динамика УЭС установлена над интенсивно преобразованными техногенными рудами. УЭС связано с температурой вещества по экспоненциальному закону с достоверностью 96 %. С помощью закона Арчи выявлена прямая зависимость амплитуды суточных изменений УЭС от показателя цементации m . Выявлен полидисперсный состав и высокие значения m для окисленного вещества отвала, для которого амплитуда динамики сопротивления максимальна.

Ключевые слова: Хвостохранилище, температура, удельное электрическое сопротивление, суточная динамика, электротомография.

Введение

Минеральное сырье в процессе добычи и переработки подвергается дроблению и интенсивному диспергированию, в результате чего формируются тонко измельченные технологически переработанные сульфидсодержащие отходы. Описаны многочисленные негативные последствия гипергенных преобразований сульфидсодержащих отходов за счёт выноса кислоты, металлов и металлоидов с дренажными водами [1-5]. Существуют перспективы извлечения из отходов ценных компонентов, и зачастую высокие концентрации Cu, Zn, Ag, Au делают такую переработку рентабельной и позволяют рассматривать хвостохранилища в качестве «техногенных месторождений» [6, 7].

Одним из главных факторов гипергенных преобразований техногенных систем являются температурные колебания [8, 9]. Замечено, что энергоактивные геологические образования, например, зоны оруденения, обладают быстро меняющимися физическими свойствами, что приводит к динамике локальных геофизических полей [10]. Эффект суточной динамики геоэлектрических полей был открыт в середине прошлого века [11] и заключается в суточном изменении удельного электрического сопротивления (УЭС) при изменении внешних и, следовательно, внутренних свойств изучаемой среды. Изменение во времени геоэлектрических полей чаще всего наблюдается на рудных месторождениях и в зонах тектонических нарушений [12].

Известные на сегодняшний день исследования в области геофизики техногенных сред не затрагивают вопросы изменения физических свойств вещества отвалов во времени, которые

происходят в ходе гипергенных преобразований. Главная цель настоящей работы заключается в определении характера и причин изменения электрофизических параметров вещества техногенных отвалов в течение суток.

Характеристика объекта исследования

Объектом исследования является Белоключевской отвал, расположенный в 300 м от жилых построек пос. Урск Кемеровской области: $54.463326^{\circ}\text{N}$, $85.386502^{\circ}\text{E}$ (рис. 1).

Отвал сложен отходами обогащения руд Белоключевского месторождения, входящего в состав Урского рудного поля [13, 14]. При отработке Белоключевского месторождения в 30-х годах прошлого века брались верхние части рудных тел (кварц-баритовая и кварц-пиритовая сыпучки), из которых цианированием добывалось золото. Отходы переработки складировались в виде насыпных отвалов.



Рис. 1. – Расположение Белоключевского отвала, профиль микро-электротомографии и термометрических измерений (1), точки опробования вещества отвала (2).

Методы и методика исследования

На поверхности отвала были выполнены измерения методом электротомографии. Для измерения УЭС применялась многоэлектродная электроразведочная станция Скала-48. Последовательность подключения электродов соответствовала дипольно-осевой установке. Количество электродов – 48, межэлектродное расстояние – 0,2 м, длина профиля – 9,1 м, глубинность исследования – до 1,5 м.

Измерения УЭС проводились каждый час в течение суток с 16:00 1 июля до 15:00 2 июля 2017 года. Обработка данных проводилась с помощью программы двумерной инверсии Res2Dinv [15]. Применялся метод робастной инверсии (robust smoothness constrain).

Температура вещества отвалов определялась на глубине 0,1 м в середине профиля лабораторным электронным термометром ЛТ-300 ($-50...+300^{\circ}\text{C}$) с датчиком из нержавеющей стали.

Пробы твердого вещества были взяты из закопушек глубиной 1 м в визуально различных по степени окисленности горизонтах в двух точках профиля для лабораторных исследований.

Результаты и обсуждение

На геоэлектрическом разрезе в стартовый момент времени (16:00) значение сопротивления вещества изменяется от 0,3 до 300 Ом·м (рис. 2). Широкий диапазон УЭС хвостов обогащения связан с разным вещественным составом и кислотностью порового раствора. Наблюдения показали, что вещество с сопротивлением 10-20 Ом·м соответствует слабо измененным хвостам, приповерхностные зоны высокого сопротивления (> 40 Ом·м) – интенсивно окисленным хвостам. Аномалия с сопротивлением менее 2 Ом·м связана с породами с высокой кислотностью порового раствора.

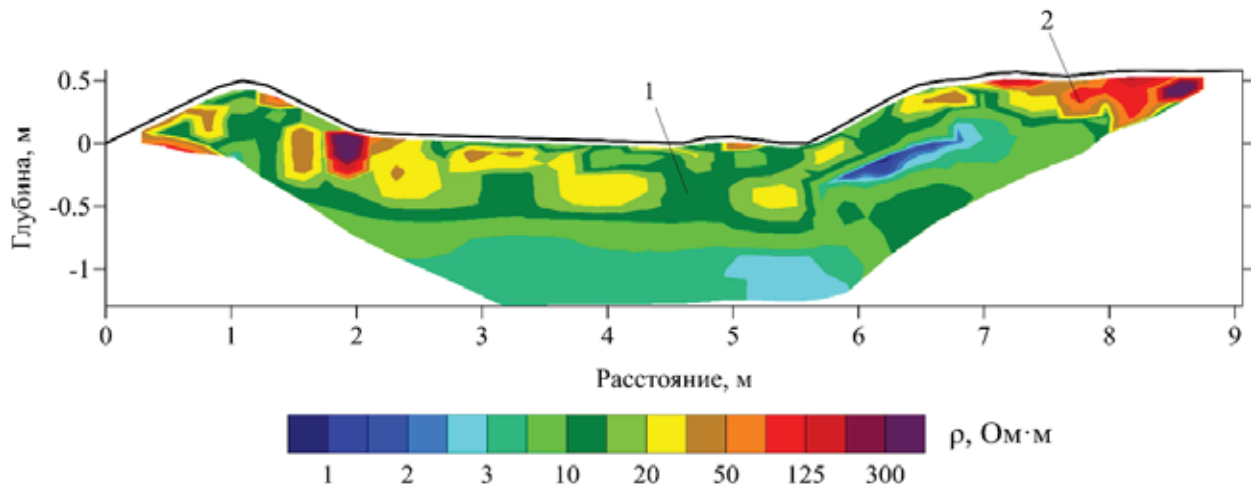


Рис. 2. – Геоэлектрический разрез в 16:00: 1 - первичные руды, 2 – окисленные руды.

Выявление участков максимального изменения УЭС на разрезе возможно с использованием функции таймлапс в программе двумерной инверсии. Однако для избегания неоднозначности интерпретации, связанной с неустойчивостью инверсии, далее в работе будут рассматриваться кажущиеся удельные сопротивления. Такой подход был использован в работе [16].

Для выявления точек с наиболее интенсивным изменением УЭС были построены графики показателя максимальной суточной динамики (рис. 3), который рассчитывается по формуле $\delta\rho_k = \rho_{\max} - \rho_{\min}$. Фоновое значение (медиана выборки) $\delta\rho_k$ равно 1,92 Ом·м. На расстоянии 2 м и 8-9 м от начала профиля наблюдаются повышенные (более 2 Ом·м) значения динамики УЭС. Максимальное

значение $\delta\rho_k$, достигающее 15 Ом·м, наблюдается на расстоянии 8,7 м от начала профиля на глубине 0,14 м. Анализ данных показал, что интенсивная динамика ρ_k проявляется в зонах аномалий высокого УЭС, которые связаны с сильно измененным веществом.

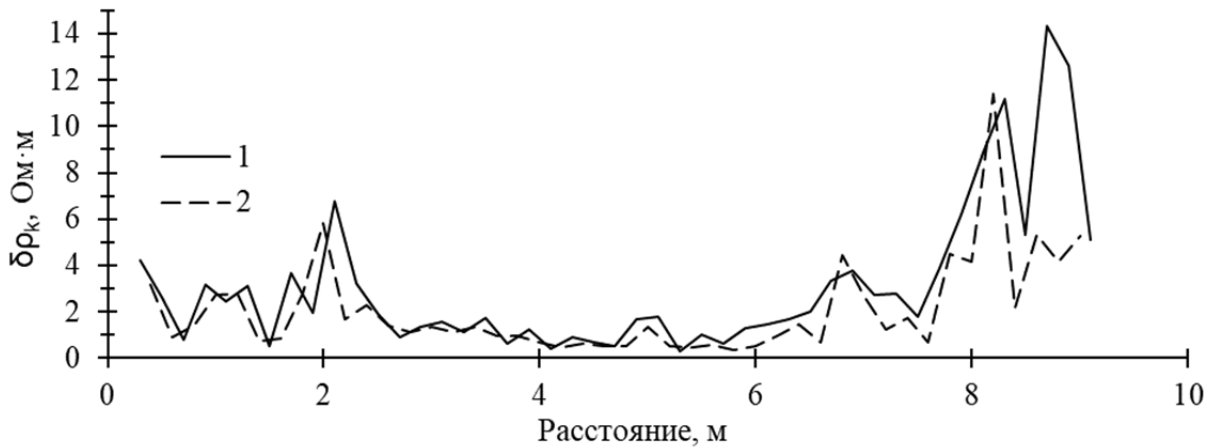


Рис. 3. – График максимальной суточной динамики кажущегося УЭС вдоль профиля наблюдения: 1 – псевдоглубина 0,08 м, 2 – псевдоглубина 0,14 м.

Для определения изменения УЭС во времени на каждом пикете наблюдения необходимо привести значения сопротивления к одному масштабу. Для этого построены временные развёртки по формуле $\Delta\rho_k(t) = \rho_k(t) - \rho_k^{cp}$. На рис. 4, а приведены развёртки для глубины 0,08 м и 0,14 м. На одной глубине они изменяются синфазно с максимумом в 7:00 часов и минимумом в 17:00. Это говорит о том, что изменение УЭС на всем профиле вызвано внешним воздействием одной природы.

При сравнении временных разверток с графиком изменения температуры (Т) на глубине 0.1 в течение суток (рис. 4, б) очевидна взаимосвязь этих процессов. При уменьшении температуры амплитуда $\Delta\rho_k$ увеличивается, а при увеличении Т вещества – уменьшается, то есть наблюдается обратная зависимость сопротивления от температуры ($K=-0,85$). Таким образом, внешним физическим воздействием, изменяющим УЭС техногенных руд в течение суток, является температура воздуха, определяющая температуру техногенных руд в слое суточных колебаний.

Сопротивление хвостов складывается из УЭС твёрдого скелета и порового флюида. Связь между сопротивлением порового раствора и сопротивлением всего вещества описывается законом Арчи [17]:

$$\frac{\rho}{\rho_w} = \phi^{-m} \quad (1)$$

где ρ – сопротивление породы, Ом·м, ρ_w – сопротивление порового раствора, Ом·м, ϕ – коэффициент пористости, m – фактор цементации, отвечающий за распределение пор по размеру относительно среднего размера пор, или за дисперсность [18].

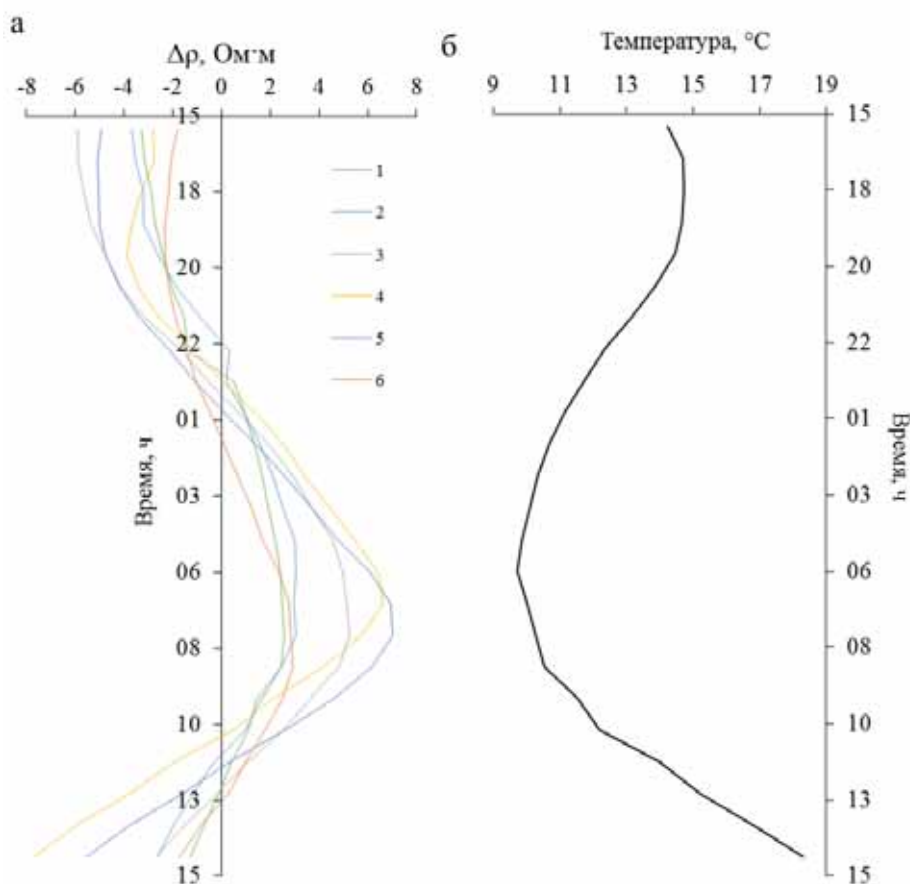


Рис. 4 – Временные развертки кажущегося УЭС в течение суток на разных пикетах профиля: а – псевдоглубина 0,08 м, б – график изменения температуры на глубине 0,1 м; 1 – 2 м, 2 – 2,1 м, 3 – 8,3 м, 4 – 8,7 м, 5 – 8,9 м, 6 – 9 м.

Из формулы (1) следует, что максимальная амплитуда суточной динамики УЭС наблюдается у вещества, имеющего наибольший показатель m , то есть высокую дисперсность. Исследования Мурцовкина [2014] указывают на то, что чем больше разброс размеров зерен относительно среднего размера (дисперсность), тем выше сопротивление среды при одной и той же пористости. Нами было установлено, что максимальная динамика ρ_k проявляется в зонах высокого сопротивления, соответствующих окисленным рудам. В результате гипергенеза эти руды приобретают полидисперсный состав в приповерхностной части разреза. Таким образом, чем больше разброс зерен относительно среднего размера, тем выше амплитуда динамики электросопротивления.

Выводы

Анализ графиков суточного изменения температуры вещества отвала и его УЭС показал сильную обратную зависимость, на основании чего был сделан вывод, что температура воздуха является главным физическим фактором, изменяющим электросопротивление техногенных руд по экспоненциальному закону.

Амплитуда суточных изменений УЭС связана с показателем цементации в формуле Арчи, который также отвечает за дисперсию размеров зёрен вещества. Чем больше показатель цементации

(неоднородное вещество), тем сильнее изменяется УЭС породы в течение суток при изменении температуры.

Таким образом, установлено, что УЭС вещества отвала зависит от температуры, а его максимальные изменения отмечаются в зонах интенсивно изменённых пород в результате гипергенеза. Этот признак можно использовать как критерий для определения степени преобразования техногенных руд.

Список литературы

1. 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. – Т. 97. – №. 1. – С. 76-89.
2. Cidu R. et al. Fate of Antimony and Contaminated Waters at the Abandoned Su Suergiu Mine (Sardinia, Italy) // *Mine and the Environment*. – 2018. – Т.37. - №. 1. – С. 151-165.
3. Корнеева Т.В., Юркевич Н.В., Аминов П.Г. Геохимические особенности миграционных потоков в зоне влияния горнопромышленного техногенеза (г. Медногорск) // *Известия Томского политехнического университета*. – 2017. – Т. 328 – № 2.
4. Bortnikova S. B. et al. Evidence of trace element emission during the combustion of sulfide-bearing metallurgical slags // *Applied geochemistry*. – 2017. – Т. 78. – С. 105-115.
5. Bortnikova S.B. et al. Assessment of emissions of trace elements and sulfur gases from sulfide tailings // *Journal of Geochemical Exploration*. – 2018. – Т. 186. – С. 256-269
6. Птицын А.Б. и др. Особенности криогеохимических процессов в зоне окисления сульфидных месторождений (по экспериментальным данным). – 2006.
7. Юркевич Н. В. и др. Оценка современного состояния хвостохранилища золоторудного производства: ценные и токсичные компоненты // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2017. – Т. 2. – №. 4. – С. 113-117.
8. Sveshnikov G.B. Electrochemical processes in sulfide deposits // *LGU, Leningrad*. – 1967.
9. Татауров С.Б. Трансформация и переработка золотосодержащего сырья в условиях криолитозоны / М.: Горная книга. 2008. 318 с.
10. Баласанян С.Ю. Динамическая геоэлектрика. Новосибирск: Наука, 1990. — 232 с.
11. Семенов А.С., Новожилова М.Е., Вешев А.В. «Меняющиеся естественное электрическое поле» в Земле // *Вопросы рудной геофизики*. – 1957. – вып. 1. – С.83-113.
12. Авгулевич Д. Л. Исследование меняющихся во времени естественных электрических полей Земли с целью выявления закономерностей их формирования во времени и совершенствования метода естественного электрического поля: дис. На соискание ученой степени канд. геол.-мин. наук:дис. – Иркутск:Дис. канд геол.-минералог. наук, 2003
13. Болгов Г.П. Сульфиды Салаира. Урская группа полиметаллических месторождений // *Изв, Томского Индустр. Института*, 1937, т. 58, вып. 3, с. 45–96.
14. Зеркалов В.И. Новые минералы в рудах Урских месторождений Салаира // *Вестник Западно-Сибирского и Новосибирского геологического управления*, 1959, вып. 4, с. 57-59.
15. Loke M.H. Tutorial. RES2DINV Vers. 3.59, Rapid 2-D Resistivity & IP Inversion Using the Least-squares Method. Malaysia: Geotomo Software, 2010. 148 p.
16. Модин И.Н., Макаров Д.В., Александров П.Н. Возможности электротомографических станций при выполнении мониторинговых наблюдений // *Инженерные изыскания*. – 2014. – №. 9-10. – С. 22-31.
17. Archie G E. The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics [J]. *Petroleum Transactions of AIME*, 1942, 146: 54–62.
18. Мурцовкин, В. А. (2014). Моделирование процессов электропроводности и фильтрации в пористых средах. *Коллоидный журнал*, 76(1), 55-55.