

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»  
(СГУГиТ)

# **ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ**

XIV Международный научный конгресс

Международная научная конференция

**«НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ. ГОРНОЕ ДЕЛО. НАПРАВЛЕНИЯ  
И ТЕХНОЛОГИИ ПОИСКА, РАЗВЕДКИ И РАЗРАБОТКИ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.  
ЭКОНОМИКА. ГЕОЭКОЛОГИЯ»**

Т. 4

Сборник материалов

Новосибирск  
СГУГиТ  
2018

Ответственные за выпуск:

Доктор геолого-минералогических наук, академик РАН,  
главный научный сотрудник Института нефтегазовой геологии  
и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск  
*А. Э. Конторович*

Доктор технических наук, академик РАН,  
главный научный сотрудник Института нефтегазовой геологии  
и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск  
*М. И. Энов*

Доктор технических наук, директор Института нефтегазовой геологии  
и геофизики СО РАН, Новосибирск  
*И. Н. Ельцов*

Кандидат технических наук, директор Института горного дела  
им. Н. А. Чинакала СО РАН, Новосибирск  
*А. С. Кондратенко*

Кандидат геолого-минералогических наук, исполнительный директор  
Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики  
и минерального сырья, г. Новосибирск  
*М. Ю. Смирнов*

Начальник департамента по недропользованию по Сибирскому федеральному округу  
Федерального агентства по недропользованию «Роснедра», Новосибирск  
*А. И. Неволько*

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля  
2018 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное  
дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторож-  
дений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : сб. материалов  
в 6 т. Т. 4. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – 335 с.

В сборнике опубликованы материалы XIV Международного научного конгресса  
«Интерэкспо ГЕО-Сибирь», представленные на Международной научной конференции  
«Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разра-  
ботки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» (секция «Гео-  
логическое, геофизическое и геохимическое обеспечение поиска и разведки полезных  
ископаемых. Геотехнологии. Геоэкология»).

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

Материалы публикуются в авторской редакции

## **ЗАВИСИМОСТЬ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ОТ СУТОЧНОГО ХОДА ТЕМПЕРАТУРЫ**

### ***Полина Сергеевна Осипова***

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, магистрант, тел. (913)749-78-84, e-mail: OsipovaPS@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, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией геоэлектрики, тел. (383)330-79-08, e-mail: OlenchenkoVV@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

### ***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, научный сотрудник; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доцент кафедры геофизических систем; Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, тел. (383)363-91-94, e-mail: YurkevichNV@ipgg.sbras.ru

Показаны результаты суточных наблюдений за температурой и удельным электрическим сопротивлением методом микро-электротомографии на отвале горно-обогатительного комбината. Установлено, что максимальная суточная динамика удельного электрического сопротивления (УЭС) наблюдается над интенсивно преобразованными техногенными рудами. Показана связь удельного электросопротивления с температурой вещества.

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

## **DEPENDENCE OF THE ELECTRICAL RESISTIVITY OF MINE TAILINGS FROM THE DAILY TEMPERATURE DYNAMICS**

### ***Polina S. Osipova***

Novosibirsk National Research State University, 2, Pirogova St., Novosibirsk, 630073, Russia, Graduate, phone: (913)749-78-84, e-mail: OsipovaPS@ipgg.sbras.ru

### ***Vladimir V. Olenchenko***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Leading Researcher, Head of Laboratory of Geoelectric, phone: (383)330-79-08, e-mail: OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru

***Svetlana B. Bortnikova***

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

***Natalia V. Yurkevich***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Researcher; Novosibirsk State Technical University, 20, Prospect K. Marx St., Novosibirsk, 630073, Russia, Associate Professor, Department of Geophysical Systems; Novosibirsk National Research State University, 2, Pirogova St., Novosibirsk, 630073, Russia, phone: (383)363-91-94, e-mail: YurkevichNV@ipgg.sbras.ru

The results of daily temperature and electrical resistivity (ER) measurements using micro-electrotomography method on the mine tailings dump are provided. It has been established that the maximum daily dynamics of ER is observed over intensively transformed tailings. The relationship of the ER of the tailings with their temperature is established.

**Key words:** mine tailings, temperature, resistivity, daily dynamics, electrical resistivity tomography.

Складирование отходов горно-обогатительных комбинатов в отвалах, с одной стороны, имеет неблагоприятные экологические последствия [10], но в то же время высокие концентрации металлов (Fe, Zn, Cu, Pb, Ag, Au), накопленные за время складирования, позволяют рассматривать такие объекты как «техногенные месторождения» [4]. Руды подвержены гипергенным изменениям под влиянием температуры окружающей среды, в результате чего на границе рудных минералов и поровой влаги протекают электрохимические реакции и вещество подвергается химическому и физическому разрушению [5]. От степени гипергенной трансформации будет зависеть технология вторичной переработки техногенных руд.

Гипергенные изменения находят отражение в геофизических полях. Известно, что геофизические поля могут изменяться в течение суток. Эффект суточной динамики геоэлектрических полей подробно изучался и получил практическое применение в 1980-х гг. [2]. Он заключается в суточном изменении естественного электрического поля и УЭС под влиянием внешних воздействий планетарного масштаба. Часто динамика геоэлектрических полей во времени наблюдается на рудных месторождениях [1].

Для изучения отвалов чаще всего из геофизических методов применяется электротомография, с помощью которой определяется распределение УЭС. Эти данные используются для определения пространственного распределения отходов разного состава, определения путей миграции дренажа, объема и глубины хвостохранилища [7, 8]. Но эти исследования не освещают особенности временных изменений геоэлектрических свойств, имеющих место в ходе гипергенных преобразований техногенных систем. Главной целью настоящей работы является определение характера и причин изменения УЭС вещества отвалов в течение суток.

В Кемеровской области, в 300 м от населенного пункта Урск, расположен сульфидсодержащий Белоключевской отвал, представленный скоплением высокоминерализованных отходов.

Вещество отвала представляет собой отходы обогащения руд Белоключевского месторождения. Оно входит в состав Урского рудного поля. Строение, морфология, вещественный состав рудных тел, последовательность минералообразования изучены и описаны многими исследователями [3]. При отработке Белоключевского месторождения в 1930-х гг. из верхних частей рудных тел цианированием добывалось золото. Отходы переработки складировались в виде насыпных отвалов.

В разрезе отвал представляет собой чередование контрастных по цвету слоев: от ярко-рыжего до зеленовато- и голубовато-серого. Цвет зависит от степени гипергенного преобразования вещества. Современный геохимический состав отвала определяется первичной неоднородностью складированного вещества и вторичными процессами перераспределения элементов.

На поверхности отвала были выполнены измерения методом микроэлектротомографии. Для измерения УЭС применялась многоэлектродная электроразведочная станция Скала-48. Последовательность подключения электродов соответствовала дипольной 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 31 мая до 15:00 1 июня 2017 г. Температура вещества отвалов определялась термощупом на глубине 0,1 м в середине профиля.

На рис. 1 показан геоэлектрический разрез отвала по профилю в момент времени 16:00.

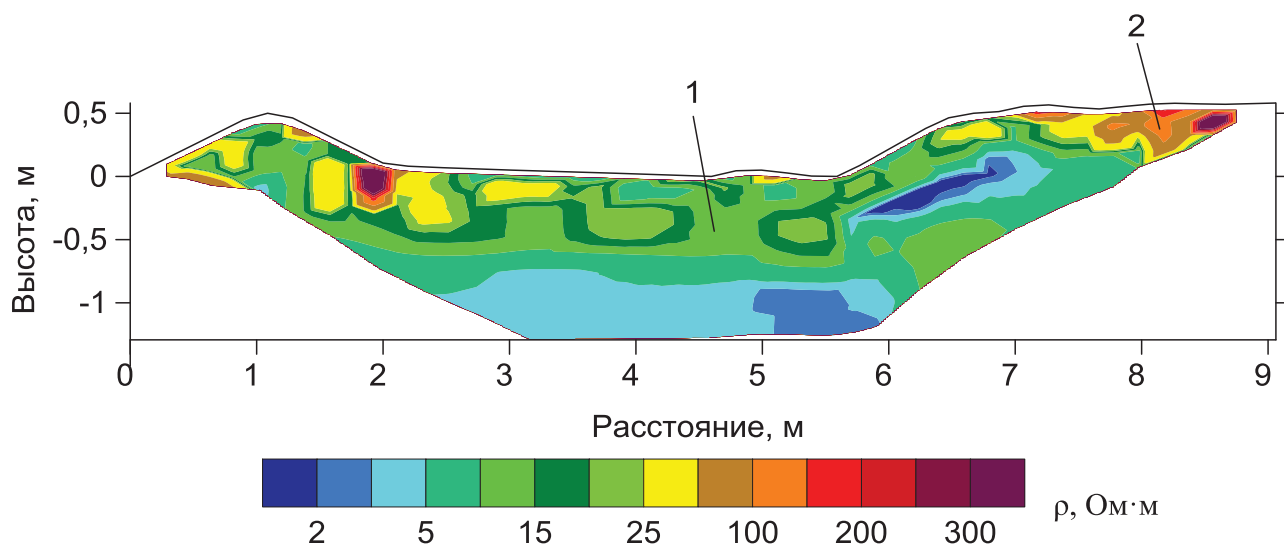


Рис. 1. Геоэлектрический разрез в 16:00:

1 – первичные руды; 2 – окисленные руды



Значение сопротивления вещества изменяется от 0,3 до 300 Ом·м. Широкий диапазон УЭС отходов обогащения связан с разным вещественным составом и кислотностью порового раствора. До глубины 0,5 м породы имеют повышенное сопротивление 10–50 Ом·м с включениями локальных участков с аномально высоким до 100–300 Ом·м и низким до 1 Ом·м сопротивлением. Это наиболее неоднородная часть разреза по геоэлектрическому строению. Ниже глубины 0,5 м сопротивление вещества меняется мало – в пределах 3–5 Ом·м, что говорит об однородном вещественном составе отвала.

Как показали наблюдения, близповерхностным зонам высокого сопротивления соответствуют интенсивно окисленные хвосты (рис. 2, б). Они имеют красно-рыжую окраску. Вещество с сопротивлением 10–20 Ом·м соответствует слабоизмененному веществу серо-голубого цвета (рис. 2, а). Аномалия с сопротивлением менее 2 Ом·м связана с кислотопродуцирующим материалом отходов.



а)



б)

Рис. 2. Вещество отвала:  
а) первичное; б) окисленное

Интервалы с наиболее интенсивным изменением УЭС определялись по графикам показателя максимальной суточной динамики (рис. 3), который рассчитывается по формуле  $\delta\rho_k = \rho_{\max} - \rho_{\min}$ . Повышенные значения  $\delta\rho_k$  наблюдаются на расстоянии 2 м и 8–9 м от начала профиля, т. е. в зонах аномалий высокого УЭС (см. рис. 1), которые связаны с сильноизмененным веществом.

Для определения изменения УЭС во времени на каждом пикете наблюдения значения сопротивления приведены к одному масштабу. Измеренная величина  $\rho_k$  в каждый момент времени  $t$  была приведена к среднему значению на пикете за период наблюдения по формуле  $\Delta\rho_k(t) = \rho_k(t) - \rho_k^{\text{ср}}$ . Изменение этой величины во времени называется временной разверткой. На рис. 4 показаны высокоамплитудные временные развертки для глубин 0,08 м (а) и 0,14 м (б). Временные развертки УЭС на разных пикетах профиля изменяются синфазно с максимумом в 7:00–8:00 часов и минимумом в 17:00. Это говорит о том, что изменение УЭС на всем профиле вызвано внешним воздействием одной природы.

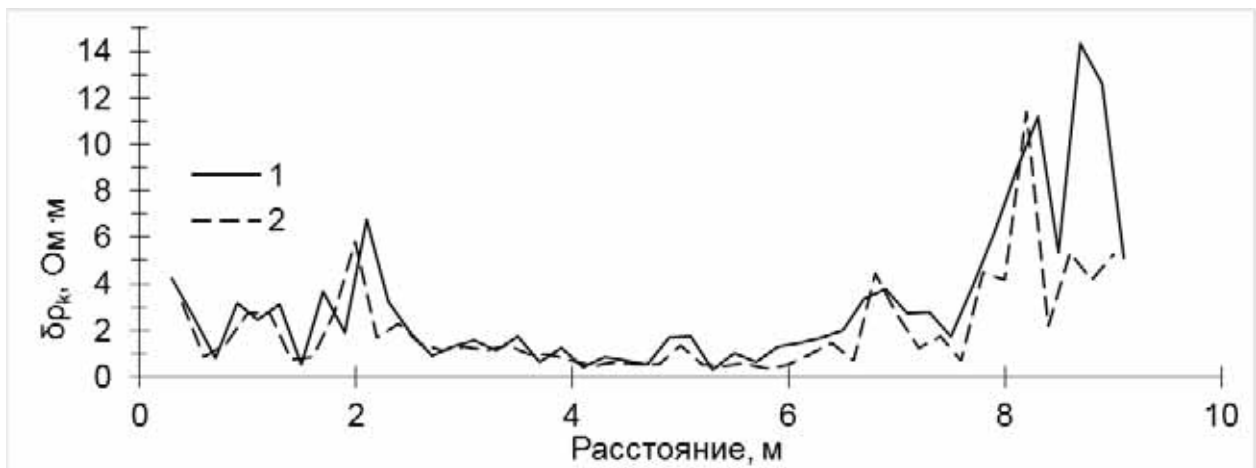


Рис. 3. Максимальная суточная динамика кажущегося УЭС  
вдоль профиля наблюдения:

1 – псевдоглубина 0,08 м; 2 – псевдоглубина 0,14 м

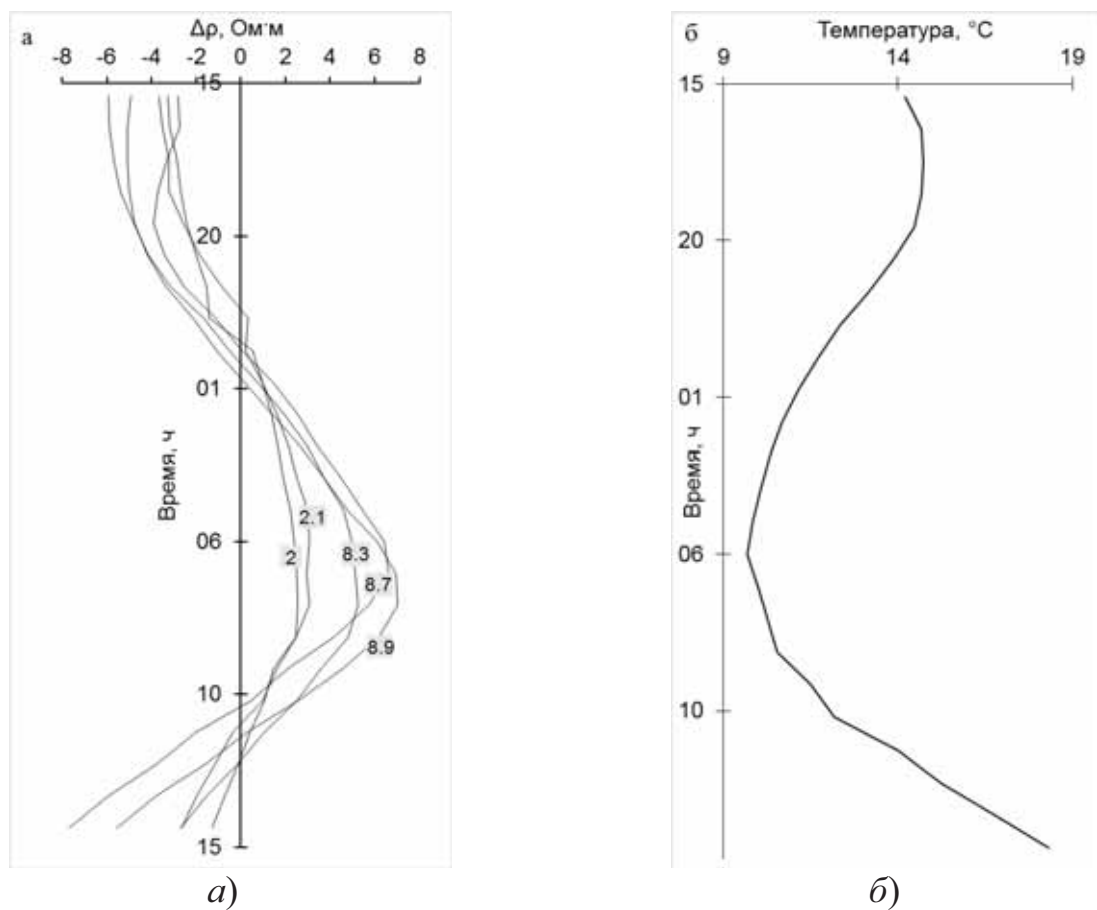


Рис. 4. Сопоставление временных разверток УЭС и температуры  
в течение суток:

а) временные развертки кажущегося УЭС в течение суток на разных пикетах профиля на псевдоглубинах 0,08 м и 0,14 м; б) суточный ход температуры; шифр кривых – расстояние по профилю в метрах

Очевидна взаимосвязь временных разверток с графиком изменения температуры ( $T$ ) на глубине 0,1 м в течение суток (рис. 4, б). При уменьшении температуры амплитуда  $\Delta\rho_k$  увеличивается, а при увеличении  $T$  вещества – уменьшается, т. е. наблюдается обратная зависимость сопротивления от температуры. Таким образом, внешним физическим воздействием, изменяющим УЭС техногенных руд в течение суток, является температура воздуха, определяющая температуру грунтов в слое суточных колебаний.

На рис. 5 показано изменение УЭС на глубине 0,08 м в зависимости от температуры вещества на глубине 0,1 м. Связь УЭС и температуры описывается экспоненциальным законом. Аналогичная зависимость описана в работах [6, 9].

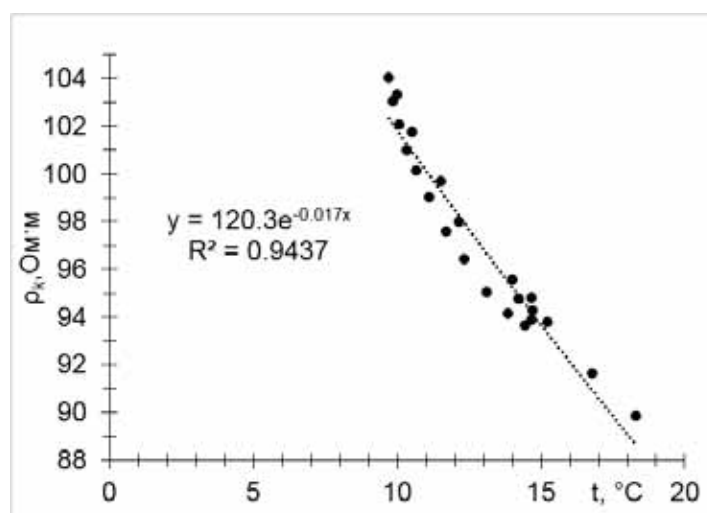


Рис. 5. Зависимость кажущегося удельного электрического сопротивления от температуры на псевдоглубине 0,08 м

В результате анализа изменений суточного хода температуры и УЭС верхней части разреза до глубины 0,15 м установлена тесная обратная корреляционная связь этих параметров ( $K = -0,97$ ). При этом максимальные изменения УЭС в течение суток происходят в зоне интенсивно преобразованных техногенных руд. При понижении температуры вещества его УЭС увеличивается, и наоборот, что мы связываем с изменением проводимости порового раствора.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авгулевич Д. Л. Исследование меняющихся во времени естественных электрических полей Земли с целью выявления закономерностей их формирования и совершенствования метода естественного электрического поля : дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Иркутск, 2003. – 156 с.
2. Баласанян С. Ю. Динамическая геоэлектрика. – Новосибирск : Наука, 1990. – 232 с.
3. Дистанов Э. Г. Колчеданно-полиметаллические месторождения Сибири. – Новосибирск : Наука, 1977. – 351 с.
4. Оценка современного состояния хвостохранилища золоторудного производства: ценные и токсичные компоненты / Н. В. Юркевич, С. Б. Бортникова, В. В. Оленченко и др. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недро-



пользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 4. – С. 113–117.

5. Татауров С. Трансформация и переработка золотосодержащего сырья в криолитозоне. – Litres, 2017.

6. Comparing temperature correction models for soil electrical conductivity measurement / R. Ma, Alex B. Mcbratney, B. M. Whelan et al. // Precision Agriculture. – 2011. – Vol. 12, N 1. – P. 55–66.

7. Electrical resistivity imaging revealed the spatial properties of mine tailing ponds in the Sierra Minera of Southeast Spain / P. Martínez-Pagán, A. Faz Cano, E. Aracil et al. // Journal of Environmental & Engineering Geophysics. – 2009. – Vol. 14, N 2. – P. 63–76.

8. Evidence of trace element emission during the combustion of sulfide-bearing metallurgical slags / S. B. Bortnikova, V. V. Olenchenko, O. L. Gaskova et al. // Applied geochemistry. – 2017. – Vol. 78. – P. 105–115.

9. The temperature correction for the electrical resistivity measurements in undisturbed soil samples: Analysis of the existing conversion models and proposal of a new model / A. Besson, I. Cousin, A. Dorigny // Soil Science. – 2008. – Vol. 173, N 10. – P. 707–720.

10. 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 shoe, Kemerovo and Chelyabinsk regions, Russia // Toxicological & Environmental Chemistry. – 2005. – Vol. 97, N 1. – P. 76–89.

## REFERENCES

1. Avgulevich D. L. Issledovanie menjajushhihsja vo vremeni estestvennyh jelektricheskikh polej Zemli s cell'ju vyjavlenija zakonomernostej ih formirovanija i sovershenstvovanija metoda estestvennogo jelektricheskogo polja : dis. ... kand. geol.-min. nauk. – Irkutsk, 2003. – 156 s.

2. Balasanjan S. Ju. Dinamicheskaja geoelektrika. – Novosibirsk : Nauka, 1990. – 232 s.

3. Distanov Je. G. Kolchedanno-polimetallicheskie mestorozhdenija Sibiri. – Novosibirsk : Nauka, 1977. – 351 s.

4. Ocenka sovremennogo sostojanija hvostohranilishha zolotorudnogo proizvodstva: cennye i toksichnye komponenty / N. V. Jurkevich, S. B. Bortnikova, V. V. Olenchenko i dr. // Interjekspo Geo-Sibir'. – 2017. – T. 4. – S. 113–117.

5. Tataurov S. Transformacija i pererabotka zolotosoderzhashhego syr'ja v kriolitozone. – Litres, 2017.

6. Comparing temperature correction models for soil electrical conductivity measurement / R. Ma, Alex B. Mcbratney, B. M. Whelan et al. // Precision Agriculture. – 2011. – Vol. 12, N 1. – P. 55–66.

7. Electrical resistivity imaging revealed the spatial properties of mine tailing ponds in the Sierra Minera of Southeast Spain / P. Martínez-Pagán, A. Faz Cano, E. Aracil et al. // Journal of Environmental & Engineering Geophysics. – 2009. – Vol. 14, N 2. – P. 63–76.

8. Evidence of trace element emission during the combustion of sulfide-bearing metallurgical slags / S. B. Bortnikova, V. V. Olenchenko, O. L. Gaskova et al. // Applied geochemistry. – 2017. – Vol. 78. – P. 105–115.

9. The temperature correction for the electrical resistivity measurements in undisturbed soil samples: Analysis of the existing conversion models and proposal of a new model / A. Besson, I. Cousin, A. Dorigny // Soil Science. – 2008. – Vol. 173, N 10. – P. 707–720.

10. 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 shoe, Kemerovo and Chelyabinsk regions, Russia // Toxicological & Environmental Chemistry. – 2005. – Vol. 97, N 1. – P. 76–89.

© П. С. Оситова, В. В. Оленченко, С. Б. Бортникова, Н. В. Юркевич, 2018