

Ключевой проблемой в изучении геоэкологии прибрежно-шельфовой зоны Арктических морей можно назвать односторонний подход при оценке геоэкологических последствий, без учета особенностей строения и развития криолитозоны. Любые изменения, будь то внешнее (техногенное) воздействие или проявления природных процессов, неразрывно связаны с криолитозонной и криосферой в целом в виду особенностей климата и распространением многолетнемерзлых пород (ММП). На шельфе толщи ММП имеют разную температуру и глубину залегания кровли мерзлоты, т. е., можно изначально говорить о различных условиях протекания процессов в прибрежно-шельфовой зоне. Именно поэтому одни и те же процессы будут проявляться по-разному, что необходимо учитывать при прогнозе экологической ситуации, особенно в прибрежной зоне, где наблюдаются наиболее контрастные условия (интенсивное прогревание в летний период, промерзание от припайного льда в зимний период).

Определяющим фактором развития как природных, так и техногенных процессов, следует считать деградацию шельфовой криолитозоны, то есть повышение температуры ММП, уменьшение глубины залегания ММП, увеличение мощности сезонно-талого слоя. Даже незначительные повышения температуры могут привести к началу фазовых переходов (при отрицательной температуре воды и осадка в целом), то есть в толще мерзлых пород появятся пленки незамерзшей воды, что способствует высвобождению органического вещества, миграции химических элементов, в том числе – загрязняющих веществ. Таким образом, прогнозирование состояния шельфовой криолитозоны важно для грамотной оценки экологической ситуации.

Для решения проблем геоэкологического прогноза в прибрежно-шельфовой зоне Арктических морей необходимо районирование шельфа, главным показателем для которого следует считать тип и темпы деградации криолитозоны (учитывающие состав и особенности строения пород, их температуру и засоление). Также предлагается совершенствование подходов к геоэкологическому картированию прибрежно-шельфовой зоны. Используемые методы – ландшафтный, литологический, геохимический – не отображают в равной мере континентальную и морскую составляющие [1], а предложенный И.Г. Авенариусом с соавторами морфоструктурный подход (т. е., учитывающий оротектонические элементы ландшафта) не показателен в плане распространения мерзлых пород. Решением проблемы может быть комплексное использование геоморфологического и геокриологического подходов.

Литература

1. Авенариус И.Г., Сорокина Е.П., Львов Л.А. и др. Принципы геоэкологического картографирования прибрежно-шельфовых зон на базе использования материалов дистанционного зондирования // Концептуальные проблемы геоэкологического изучения шельфа / Отв. ред. А.Ю. Опекунов.- СПб. — 2000. — С. 69–77.
2. Богоявленский В.И. Перспективы и проблемы освоения месторождений нефти и газа шельфа Арктики // Бурение и нефть, вып. 11, 2012
3. Ильин Г.В. Распространение загрязняющих веществ в шельфовых морях Российской Арктики // Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии, вып. 1 – М., Геос, 2009, с. 124 – 164.
4. Романовский Н.Н., Тумской В.Е. Ретроспективный подход к оценке современного распространения и строения шельфовой криолитозоны Восточной Арктики.// – Криосфера Земли, т. 15, № 1.
5. Сергиенко В. И., Лобковский Л. И., Семилетов И. П., Дударев О. В. и др. Деградация подводной мерзлоты и разрушение гидратов шельфа морей Восточной Арктики как возможная причина «метановой катастрофы»: некоторые результаты комплексных исследований 2011 года.// Доклады Академии Наук, 2012, том 446, № 3, - М. Наука, с. 330–335
6. Holmes M.L., Creager Y.S. Holocene history of the Laptev Sea Continental Shelf // Marine Geology and Oceanography of the Arctic Seas, 1974, p. 211-229

СОСТАВ ОТВАЛА БЕЛОКЛЮЧЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СКАНИРОВАНИЯ И ГЕОХИМИЧЕСКОГО ОПРОБОВАНИЯ

Н.В. Юркевич, Ю.Г. Карин, Т.А. Кулешова

*Новосибирский государственный технический университет, ИНГГ СО РАН,
г. Новосибирск, Россия*

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 [1, 2] с высокими содержаниями цветных металлов. Одним из перспективных подходов к изучению состава хвостохранилищ является применение геофизических методов. Электроразведка позволяет оптимизировать систему мониторинга техногенных систем, сократив число отбираемых проб для геохимических исследований, оценить ресурсы полезных компонентов и очертить зоны распространения подземных дренажных потоков [3; 4].

Объект и методы исследования

В данной работе исследовано строение и состав отвала отходов переработки руд Белоключевского медно-колчеданного месторождения геофизическими и геохимическими методами. Месторождение относится к Урской группе, содержит цинк, медь, свинец, барит, серебро, золото, разведано, но не разрабатывается – составляет Государственный резерв. В СЗ направлении от пос. Урск (Кемеровская область) на территории берёзовой рощи

находится небольшой насыпной отвал вскрышных пород Белоключевского месторождения площадью 2000 м², высотой 6 м. Сульфидсодержащие отходы контактируют с атмосферными осадками и становятся источниками кислых дренажных потоков за счет окисления основного кислотопродуцирующего минерала - пирита. Кислые поверхностные потоки сжигают траву и кустарники на своём пути, кроме того существует опасность попадания дренажа в грунтовые воды. Поэтому целью данной работы стало оценить состав и объемы техногенного хранилища для разработки рекомендаций по рекультивации нарушенной территории. В ходе полевых работ 2016 года была опробована комплексная геофизико-геохимическая методика экспрессной оценки состава отвала, на основании которой были выбраны точки для дальнейшего детального опробования и анализа на широкий спектр химических элементов. Работы проводились в несколько этапов:

Последовательность работ:

1. На первом этапе предварительно исследуется геоэлектрическая зональность хранилища горнопромышленных отходов, то есть распределение удельного электрического сопротивления (УЭС) по площади и глубине. Используются методы электротомографии и индукционного частотного зондирования. Электротомография осуществлялась с помощью многоэлектродной установки «Скала-48» (разработка ИНГГ СО РАН). Последовательность подключения электродов соответствовала симметричной установке Шлюмберже с максимальным разном питающей линии АВ до 235 м. При этом, глубинность исследований достигала 45 м. Частотное зондирование проводилось электромагнитным сканером (ЭМС). Вся аппаратура и методы интерпретации данных разработаны в ИНГГ СО РАН. Предварительные геофизические данные используются для выбора оптимальных точек для опробования.

2. Опробование вещества отходов в точках с наименьшими удельными электрическими сопротивлениями (в наиболее проводящих зонах), приготовление паст (суспензий) в соотношении отходы : вода = 2 : 1 по массе. Этот метод хорошо известен в западной литературе [5] и даёт первичную информацию о составе жидкой фазы, контактирующей с веществом отходов. Полевые измерения значений рН, окислительно-восстановительного потенциала паст потенциометрическим методом на портативном иономере Эксперт-001 («Эконикс», Москва) и удельной электрической проводимости (УЭП) паст кондуктометрическим методом при помощи портативного кондуктометра Cond 315i (WTW, США). Полученная информация далее используется для выбора точек опробования и определения химического состава.

3. Анализ твердого вещества рентгенофлуоресцентным (РФА) методом для определения содержаний оксидов силикатной группы и Ва, рентгенофлуоресцентным методом с синхротронным излучением (РФА-СИ на базе ИЯФ СО РАН) и масс-спектрометрией с индуктивно-связанной плазмой на содержание ряда элементов (Cu, Zn, Cd, Pb, Sn, Ni, Co, Mo, Ag, Au, As, Sb, Bi, Ga, In, Tl, Be). Определение влажности, гранулометрического состава, содержания серы сульфидной и сульфатной методами классической аналитической химии.

Результаты и обсуждение.

Электротомографические исследования позволили определить мощность техногенных отходов около 10 м, предположительно происходит растекание дренажного потока по площади и на глубину по направлению понижения рельефа, что подтверждается данными электрометрических измерений на геоэлектрическом разрезе по профилю длиной 340 м, пересекающем отвал и участок березовой рощи. Обнаружено, что отходы имеют низкие значения УЭС от 2 до 14 Ом·м, насыпь отличается сопротивлениями около 50 Ом·м, коренным породам соответствует сопротивление более 1000 Ом·м. Электромагнитное сканирование позволило оконтурить площадку с наиболее проводящим веществом, перспективным для дальнейшего изучения (рис. 1). В полевых условиях по построенной карте распределения УЭС были выбраны точки для измерения рН, Eh и электропроводности. Значения рН паст находятся в кислой области (1.9-3.0), высокие значения ox-red потенциала (+500+800 мВ) свидетельствуют об интенсивном протекании окислительных процессов, электропроводность варьирует от 500 до 3000 мкСм/см. Зоны с самыми высокими электропроводностями соответствуют зонам с наименьшими значениями рН и они же соотносятся с локальными участками самых низких УЭС по данным электро-магнитного сканирования. Концентрации железа и сульфидной серы в отходах достигает 28 % вес., что указывает на высокий кислотопродуцирующий потенциал отходов. Высоки концентрации меди, цинка (до 490 г/т), золота (1.5 г/т) и элементов первого класса опасности: мышьяка (до 520 г/т) и ртути (до 270 г/т) (табл. 1).

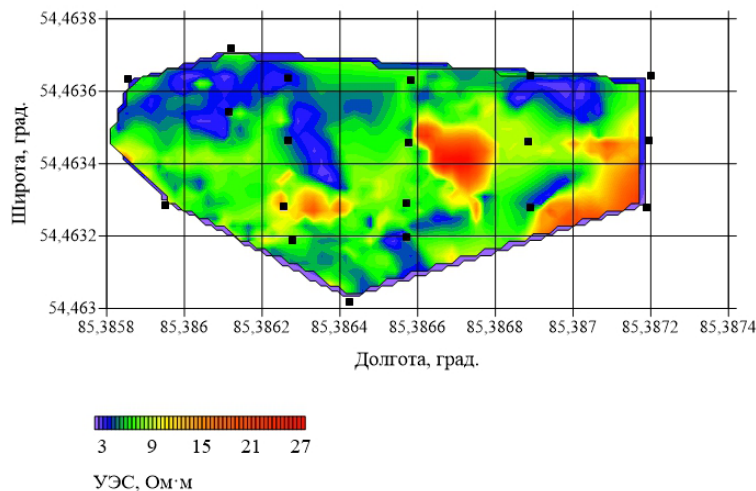


Рис. 1. Карта распределения УЭС по данным электромагнитного сканирования на площадке Белоключевского отвала. Синие области соответствуют высокопроводящим зонам предположительно с высокой концентрацией сульфидов металлов. Черными квадратами показаны точки отбора проб.

Данные об электропроводности, УЭС, значениях pH паст были сопоставлены с результатами химического анализа состава отходов. Были получены значимые положительные коэффициенты корреляции pH и УЭС ($K_{кор} = 0.75$), установлена их численная взаимосвязь:

$$pH = 1.9029 \cdot (УЭС, \text{ом} \cdot \text{м})^{0.143}$$

Кроме того, положительно коррелирует электропроводность и содержания сульфидной серы, железа, меди, цинка, мышьяка и ртути. Отрицательно коррелирует электропроводность с pH и УЭС по данным электромагнитного сканирования. Не наблюдается корреляция с влажностью или размерностью частиц вещества. Это указывает на преимущественный вклад в проводимость отходов минерального скелета вещества. Корреляционная связь электропроводности, измеренной прямым кондуктометрическим методом в пастах, и УЭС по данным электромагнитного сканирования позволяет использовать электроразведочный метод для экспресс-обнаружения участков техногенных объектов, перспективных для геохимического опробования. Проводимость отходов не обусловлена влажностью или размерностью вещества, а напрямую связана с его химическим составом, что было нами показано в ходе предыдущих исследований на хвостохранилищах Талмовские Пески, Дюков Лог, Урское, Комсомольское (Кемеровская область), Сак-Елга, Новое (Челябинская область) [3, 4].

Таблица

Значения pH, удельной электропроводности, окислительно-восстановительного потенциала, удельного электрического сопротивления, влажности (W), серы сульфатной и сульфидной, химических элементов в веществе отходов из Белоключевского отвала (n=20)

| | pH | УЭП, мкСм/ см | Eh, мВ | УЭС, Ом·м | % | | | | г/т | | | | |
|---------|------|---------------------|-----------|--------------|-----|--------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| | | | | | W | Сера сульфатная | Сера сульфидная | Fe | Cu | Zn | As | Au | Hg |
| мин | 1.95 | 500 | 508 | 1.4 | 6.7 | 0.20 | 2.2 | 1.4 | 18 | 26 | 160 | 0.14 | 37 |
| макс | 5.71 | 7300 | 798 | 130 | 20 | 1.2 | 28 | 28 | 420 | 490 | 520 | 1.5 | 270 |
| среднее | 2.82 | 3900 | 709 | 35 | 12 | 0.52 | 8.3 | 5.4 | 110 | 120 | 270 | 0.67 | 100 |

Выводы.

1. Предложена схема мониторинга хвостохранилищ горнорудного производства с применением геохимических и электроразведочных методов, включающая съемку исследуемой площадки электромагнитным сканированием, определение зон аномальной проводимости, получение профилей микроэлектротомографии, опробование шурфов в наиболее контрастных по сопротивлениям зонах.

2. Обнаружена значимая корреляция электропроводности отходов, измеренной прямым экспресс-методом в пастах в полевых условиях, с их химическим составом: кислотностью, содержанием металлов, сульфатной и сульфидной серы. На основании установленной численной взаимосвязи между pH и УЭС возможно прогнозирование зон распространения кислых дренажных потоков на глубинах, недоступных для опробования, по геоэлектрическим разрезам.

3. Высокие содержания железа и сульфидной серы указывают на кислотопродуцирующий потенциал отходов из Белоключевского отвала. По геофизическим данным общий объем техногенного сырья составляет 200 тыс. м³, высокие концентрации цветных металлов, в том числе и золота, свидетельствуют о целесообразности их извлечения.

Работа выполнена при финансовой поддержке фонда президента РФ (грант № МК-6654.2016.5).

Литература

1. Экология и охрана природы при открытых горных работах / Под. ред. П.И. Томакова. - М.: Изд-во МГГУ, 1994. - 417 с.
2. Птицын, А.Б. Проблемы освоения техногенных месторождений Забайкалья / А.Б. Птицын // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. - 2014. - №3с-2. - С. 128-130.
3. Bortnikova S., Yurkevich N., Bessonova E., Karin Y., Saeva O. The combination of Geoelectrical Measurements and Hydro-Geochemical Studies for the Evaluation of Groundwater Pollution in Mining Tailings Areas, The Handbook of Environmental Chemistry . Springer Berlin Heidelberg, ISSN: 1867-979X (Print) 1616-864X (Online), DOI: 10.1007/698_2013_234, 2013
4. 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. - V. 97. - I. 1. - p. 1-14.
5. Smart, R., Skinner, W. M., Levay, G., Gerson, A. R., Thomas, J. E., Sobieraj, H., ... & Stewart, W. A. (2002). ARD test handbook: Project P387, A prediction and kinetic control of acid mine drainage. AMIRA, International Ltd, Ian Wark Research Institute, Melbourne, Australia.