

УДК 550.31

**ВЫЯВЛЕНИЕ ПУТЕЙ МИГРАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ВОД
ИЗ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ МЕТОДОМ
ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ
(НА ПРИМЕРЕ ЗОЛОТВАЛА ЧИТИНСКОЙ ТЭЦ-1)**

¹Оленченко В.В., ²Усманов М.Т., ²Усманова Л.И., ²Цыренжапов С.В.

*¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск,
e-mail: olenchenkovv@ipgg.sbras.ru;*

²Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, e-mail: usgi@yandex.ru

Утечки техногенных вод из гидротехнических сооружений вызывают подтопление прилегающих территорий и приводят к загрязнению природных вод. Выбор мероприятий для устранения утечек и предотвращения загрязнения природных вод зависит от качества проведенных изысканий. Современные электроразведочные технологии существенно дополняют сведения об инженерно-геологическом строении объекта и территории исследований. В работе приводятся результаты опытно-методических работ методом электротомографии в пределах гидрозолоотвала Читинской ТЭЦ-1. Выявлено два типа аномалий низкого удельного электрического сопротивления горных пород, связанных с надмерзлотным стоком техногенных вод и с фильтрацией по разломам. Минерализация подземных вод, оцененная по геофизическим данным, составляет 1 г/л, что не противоречит результатам гидрохимических исследований. В результате исследований установлено, что метод электротомографии является эффективным для выявления утечек техногенных вод из гидротехнических сооружений различного назначения.

Ключевые слова: электротомография, гидротехническое сооружение, фильтрация, подтопление

**IDENTIFY WAYS MIGRATION TECHNOGENIC WATER HYDRAULIC
STRUCTURES BY ELECTRON TOMOGRAPHY (ON THE EXAMPLE ASH
DISPOSAL AREA CHITA HPS-1)**

¹Olenchenko V.V., ²Usmanov M.T., ²Usmanova L.I., ²Tsyrenzhapov S.V.

*¹Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk,
e-mail: olenchenkovv@ipgg.sbras.ru;*

²Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, e-mail: usgi@yandex.ru

Drain water from man-made waterworks cause flooding of surrounding areas and lead to contamination of natural waters. The choice of measures to eliminate leaks and prevent pollution of natural waters depends on the quality of the research. Modern geoelectric technology greatly complement the information on engineering and geological structure of the area and the object of research. This paper presents the results of research and methodological papers electron tomography method within ash disposal area Chita HPS-1. Two types of anomalies in the low electrical resistivity of rocks associated with man-made suprapapermafrost drain water and filtered by faults. Mineralization of groundwater, estimated from geophysical data, is 1 g/l, which is consistent with the results of hydrochemical investigations.

Keywords: electron tomography, hydraulic engineering construction, filtration, flooding

Эксплуатация гидротехнических сооружений (ГТС) нередко сопровождается утечками техногенных вод, вызывающих подтопление прилегающих территорий. Так, например, существующий с 70-х годов прошлого века золоотвал Читинской теплоэлектростанции № 1 (ТЭЦ-1) является причиной подтопления взлетно-посадочной полосы аэропорта Кадала, расположенной в 3 км к югу от ГТС, и автодороги местного значения, находящейся в 1,5 км к востоку от ГТС [2]. Кроме того, отсутствие противофильтрационного экрана в ложе золоотвала, литологический состав пород, наличие разлома, по которому происходит разгрузка техногенных вод в подземный горизонт и миграция их по потоку до озера Кенон, расположенному в 3 км к юго-вос-

току, привели к загрязнению природных вод такими химическими компонентами как сульфаты, фториды, марганец, медь [4]. Для предотвращения утечек из ГТС, борьбы с подтоплением территорий и загрязнением подземных вод применяется ряд инженерных мероприятий, таких как устройство противофильтрационных завес, оборудование перехватывающих водопонижительных скважин. Однако эффективность применяемых инженерно-технических решений будет зависеть от качества предшествующих изысканий, на основе которых формируется инженерно-геологическая и гидрогеологическая модель строения участка исследований. Современные электроразведочные технологии позволяют существенно дополнить представления об инженерно-геологиче-

ском строении объекта, основанные на данных бурения. С помощью геофизических методов выявляются особенности строения изучаемой территории, неучтенные при буровых работах, уточняется инженерно-геологическое строение территории. Главной целью проведенных исследований являлась оценка геологической информативности метода электротомографии при выявлении путей фильтрации техногенных вод из гидрозолоотвала в разрезе пород.

Гидрозолоотвал Читинской ТЭЦ-1 расположен в естественном понижении рельефа Читино-Ингодинской впадины (Центральное Забайкалье) и по гипсометрическим отметкам находится выше промплощадки ТЭЦ (северный берег оз. Кенон). Объект емкостью 10 млн. м³ введен в эксплуатацию в 1973 г. В его составе две чаши с разделительной дамбой, используемой в качестве фильтра. Первая чаша служит накопителем твердодожидких отходов, вторая – в качестве отстойника для осаждения твердых частиц и осветления воды. Противофильтрационный экран отсутствует.

В геологическом строении территории исследований принимают участие озёрно-континентальные отложения доронинской свиты нижнего мела, представленные переслаивающимися песчаниками и алевролитами, реже аргиллитами, с криогенной корой выветривания (криогенным элювием) мощностью до 30–40 м, перекрытой 1–2 м слоём делювиальных отложений. Породы свиты осложнены тектоническими нарушениями северо-западного и северо-восточного простираний [2]. На территории исследований распространены многолетнемерзлые породы (ММП). Глубина залегания кровли ММП 3–5 м, а подошвы (по геофизическим данным) – 25–30 м. Под чашей ГЗО вследствие его утепляющего действия мерзлота деградировала. Уровень подземных вод вблизи золоотвала находится на глубинах 4,4–7,4 м.

По химическому составу воды золоотвала ТЭЦ-1 в 2002 и 2006 гг. были сульфатными магниевыми-кальциевыми. В 2008 г. произошел рост содержания хлора, анионный состав стал хлоридно-сульфатным, а катионный – натриево-магниевыми-кальциевыми. Воды щелочные с рН до 9,4. Величина минерализации в 2002–2008 гг. изменялась в пределах 0,94–1,13 г/л. Содержания сульфат-ионов и фторид-ионов составили 450–600 мг/л и 15–17 мг/л соответственно [5].

Химический состав водных проб из родниковой разгрузки, расположенной южнее золоотвала на расстоянии 1 км, и самоизливающейся скважины в долине р. Кадалинка (ниже золоотвала по предполагаемому потоку фильтрации техногенных вод) в этот

же период характеризуется содержаниями сульфатов до 635 и 580 мг/л, величиной минерализации – до 1,77 и до 1,2 г/л соответственно. Вне зоны влияния фильтрационного потока от золоотвала (скв. в пос. Черемушки) концентрация сульфатов составила 66 мг/л.

Геофизические работы проведены методом электротомографии. Данная технология является современной модификацией метода вертикального электрического зондирования. Электротомография основана на многоэлектродных измерениях и автоматической инверсии полученных данных [6].

Электротомография включает оптимизированную методику полевых наблюдений и соответствующие технологии обработки и интерпретации полевых данных. Интерпретация проводится в рамках двумерных и трехмерных моделей, а исследуемые среды могут значительно отличаться от «классических» горизонтально-слоистых.

Методика электротомографии основана на:

- выполнении измерений с помощью многоэлектродных установок;
- двумерной или трехмерной автоматической инверсии полученных данных.

При электротомографии в качестве питающих и измерительных электродов используются одни и те же расположенные на профиле заземления (рис. 1). Их количество может достигать нескольких десятков и даже сотен штук. Электроды заземляются с одинаковым шагом (обычно 5 м) и подключаются к коммутационному кабелю (косе). Такая схема измерений приводит к существенному увеличению плотности наблюдений по сравнению с традиционным методом вертикальных электрических зондирования. При этом плотность измерений соответствует детальности многоразностного электропрофилирования с определенным шагом по профилю (1, 2,5, 5 и т.д. м).

Специальная аппаратура поочередно коммутирует и опрашивает различные комбинации электродов. В результате измерений получают информацию о распределении кажущегося удельного электрического сопротивления по разрезу.

Полученные данные по профилю обрабатываются совместно. Такой подход позволяет построить двумерный геоэлектрический разрез и учесть влияние рельефа. Двумерную обработку выполняют с применением процедуры именуемой «двумерной автоматической инверсией», реализуемой в специальных программах (Res2Dinv, ZondRes2D и другие). На вход программы подаются результаты измерений, полученные с помощью многоэлектродной установки, в итоге формируется геоэлектриче-

ский разрез – распределение электрических свойств горных пород по глубине и по латерали. Сопоставляя данные электротомографии с априорной геологической информацией, проводят геологическую интерпретацию разрезов сопротивления.

носителю стандартному отклонению измеренного сопротивления для каждого замера. Замеры, в которых погрешность определения сопротивления превышала 1%, выбраковывались при первичной обработке данных. Во-вторых, сразу же после окон-

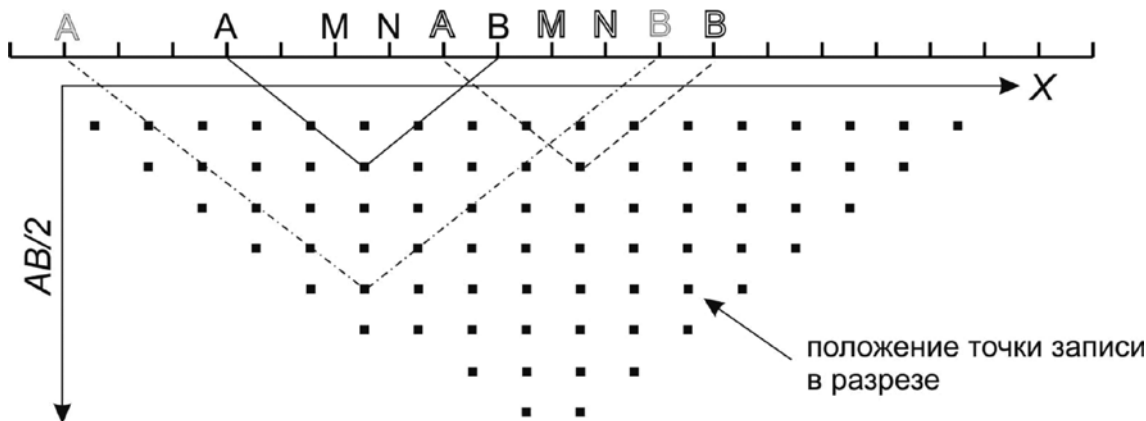


Рис. 1. Схема заземлений при электротомографии и положение точки записи на псевдоразрезе: AB – питающие электроды; MN – приемные электроды. В зависимости от подключения к прибору одни и те же электроды играют роль питающих или приемных

При площадных детальных работах результаты измерений по профилям можно объединить в трехмерный массив и выполнить трехмерную (3-D) инверсию данных. 3-D инверсию целесообразно проводить в тех случаях, когда объект поисков имеет заведомо трехмерную структуру или же геологическая среда насыщена трехмерными неоднородностями.

Площадные электроразведочные исследования методом электротомографии выполнены по 2 профилям. Схема расположения профилей приведена на рисунке 1, с шагом по профилю 5 м.

При измерениях применялась многоэлектродная электроразведочная станция «Скала-48» (рис. 1) разработанной в ИНГГ СО РАН и произведенной ООО «КБ Электротометрии».

Устройство заземлений осуществлялось стальными стержневыми электродами. Уровень сопротивления заземления питающих электродов во время работ составлял первые 1–5 кОм. При измерениях сила тока в питающей линии варьировала от 10 до 1600 мА, уровень напряжения на приемных электродах составлял 0,12–1200 мВ.

Качество измерений оценивалось на трех уровнях. Во-первых – аппаратными средствами прибора «Скала-48» по от-

числения замера на профиле анализировалась адекватность получаемых кривых зондирования и псевдоразрезов удельного электрического сопротивления геологической обстановке в пределах площади исследования. В-третьих, оценивалась воспроизводимость данных по повторным зондированиям. При этом средняя относительная погрешность не превышала 5%.

Первичная обработка данных проводилась с помощью программы SiberTools, предоставляемой с аппаратурой «Скала-48». Обработка заключалась в удалении выбросных значений, сглаживании кривых зондирования и экспорте данных в файл программы инверсии.

Решение обратной задачи (инверсия данных) осуществлялась с помощью программы Res2Dinv (Geotomo Inc., Малайзия). Полученные массивы данных экспортировались в файл формата программы Surfer, в которой строились геоэлектрические разрезы.

В пределах участка исследований выполнены электрические зондирования по двум профилям (рис. 2), расположенным с восточной (Профиль № 1) и южной (Профиль № 2) сторон ГТС. Длина профиля № 1 составила 1795 м, профиля № 2 – 1195 м.

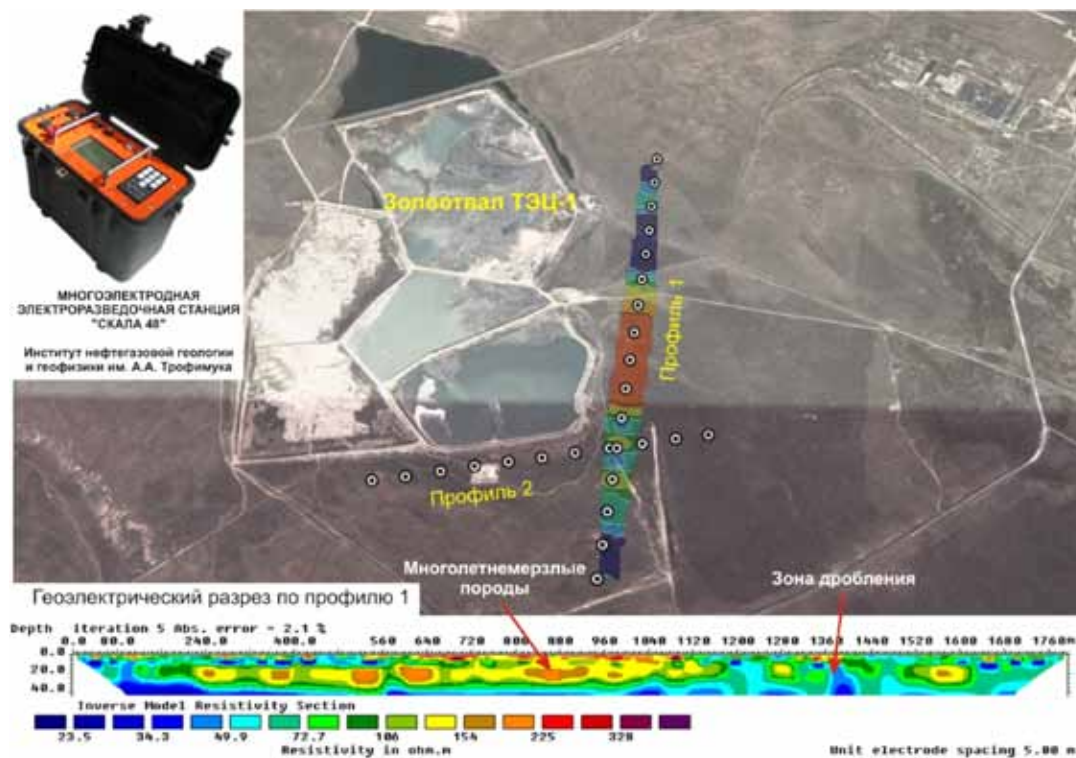


Рис. 2. Схема обследования территории

Измерения выполнялись аппаратурой «Скала-48», разработанной в ИНГГ СО РАН. Шаг измерений по профилю составлял 5 м, при этом, последовательность подключения электродов соответствовала симметричной Шлюмберже и дипольно-осевой установкам. Для обработки данных применялась программа Res2Dinv [6]. По результатам двумерной инверсии строились геоэлектрические разрезы. В основе геологической интерпретации данных электро-томографии лежат известные зависимости удельного электрического сопротивления пород от литологического состава, влажности и минерализации поровой влаги и температуры [1]. Как правило, удельное электрическое сопротивление пород возрастает в ряду аргиллит-алевролит-песчаник и уменьшается при увеличении влажности и минерализации поровой влаги. Удельное электрическое сопротивление многолетнемерзлых пород в разы выше, чем талых. Пониженным электросопротивлением выделяются обводнённые зоны разломов. Геофизические исследования проведены в мае 2014 года, когда сезонномерзлый слой имел максимальную глубину промерзания.

На рис. 3 показаны геоэлектрические разрезы по профилям 1 и 2. Слой повышенного удельного электрического сопротивления в приповерхностной части раз-

реза выделяются сезонномерзлые породы. На профиле № 1 в интервале глубин 9–30 м отмечается опорный горизонт высокого удельного электрического сопротивления (100–200 Ом/м), интерпретируемый как высокотемпературные многолетнемерзлые породы.

Участки фильтрации подземных вод локализуются на разрезах аномалиями пониженного УЭС (20–30 Ом/м). Выделяется два типа аномалий, связанных с фильтрацией подземных вод. Первый тип – аномалии над опорным высокоомным горизонтом. Такие аномалии соответствуют надмерзлотному стоку техногенных вод, они проявляются на профиле № 1 в интервале 1200–1600 м на глубине около 10 м. Второй тип – низкоомные аномалии, связанные с фильтрацией по трещинам зон разломов (трещино-жильные и трещино-пластовые воды). Такие низкоомные аномалии выявлены на профиле № 1 в интервале 1400–1700 м на глубине 20–40 м и на профиле № 2 в интервале 300–500 м и 500–800 м на глубинах 13–20 м.

По известной зависимости удельного электрического сопротивления от концентрации солей [3] можно оценить минерализацию подземных вод. По данным электро-томографии, сопротивление обводнённых пород составляет 20–30 Ом/м, что соответствует минерализации подземных вод порядка 1 г/л.

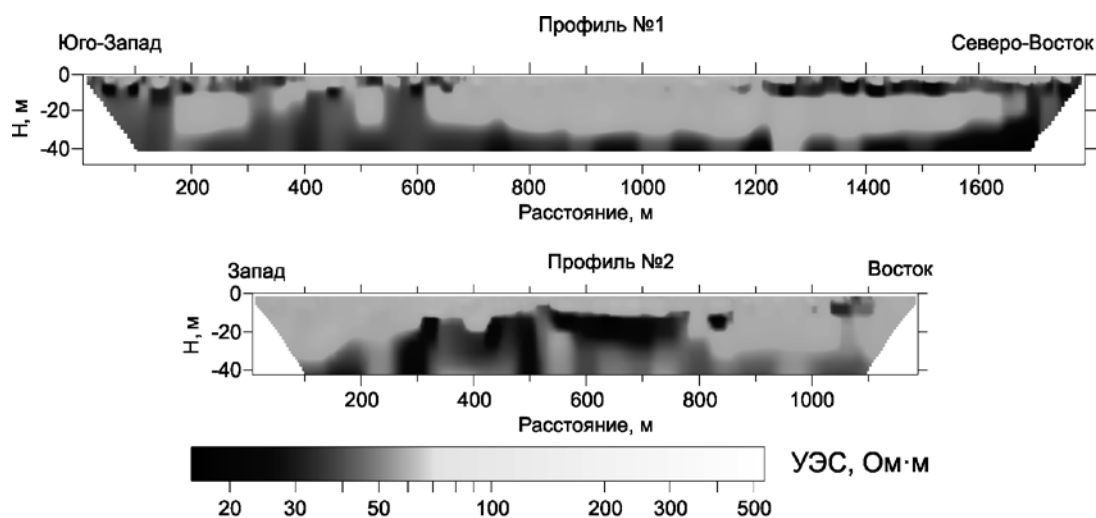


Рис. 3. Геоэлектрические разрезы по профилям № 1, № 2 по данным электротомографии

Выводы

В результате геофизических исследований выявлено два типа аномалий пониженного удельного электрического сопротивления, связанных с фильтрацией подземных вод. Первый тип аномалий отмечается над опорным высокоомным горизонтом и связан с надмерзлотным стоком техногенных вод. Второй тип аномалий низкого удельного электрического сопротивления вызван обводнёнными зонами разломов. По геофизическим данным минерализация подземных вод оценивается в 1 г/л, что не противоречит результатам гидрохимических исследований.

Таким образом, можно сделать заключение, что использованный метод является эффективным для выявления утечек техногенных вод из гидротехнических сооружений различного назначения. Данные геофизических исследований методом электротомографии рекомендуется использовать при принятии инженерно-технических решений по противофильтрационным мероприятиям, так как это позволит существен-

но снизить затраты на инженерно-геологические изыскания.

Список литературы

1. Ерофеев Л.Я., Вахромеев Г.С., Зинченко В.С., Номоконова Г.Г. Физика горных пород: учебник для вузов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 520 с.
2. Коростелева А.Я., Цыганок В.И. и др. Отчет о гидрогеологических исследованиях по установлению причин подтопления Читинской ГРЭС и аэропорта. – Чита, 1978. – 126 с.
3. СП 11–105–97. «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть VI. «Правила производства геофизических исследований». Госстрой России. – Москва: Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИИС) Госстроя России, 2004.
4. Усманова Л.И. Современное химико-экологическое состояние оз. Кенон – водоема-охладителя Читинской ТЭЦ-1 // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами. Труды Всероссийской конференции с участием иностранных ученых. Томск: Изд-во НТЛ, 2012. – С. 179–181.
5. Усманова Л.И., Усманов М.Т. Влияние золоотвалов Читинских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 на природные воды прилегающих территорий // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатского Госуниверситета, 2010. – № 2. В. 16. – С. 231–242.
6. Loke M.H. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. – 2009. – 144 p.