

Физическое моделирование электрометрического контроля утечек из бассейна продуктивных растворов

А. С. Калганов^{1}, В. В. Оленченко¹*

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация
* e-mail: KalganovAS@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Поиск утечек из различных гидротехнических сооружений — это актуальная задача электротометрии. Одним из объектов электрометрического контроля являются бассейны продуктивных растворов, в которых накапливаются продукты кучного выщелачивания золота. Выявление нарушения в слое гидроизоляции бассейнов возможно методом электротомографии с измерением вызванной поляризации. Для определения характера электрических аномалий от нарушения было проведено физическое моделирование. Малый пластиковый бак с водой имитировал бассейн растворов. В баке было проделано отверстие, которое обеспечивало гидравлическую связь с большим баком. Измерения выполнены аппаратурой Скла-64, а двумерная инверсия данных проведена с помощью программы Res2DInv. В результате установлено, что место утечки выделяется аномалией низкого удельного электрического сопротивления и интенсивной аномалией нормированной заряжаемости. Однако двумерная модель сопротивления осложнена артефактами инверсии. Аномалия нормированной заряжаемости локальна и точно отмечает место утечки в дне бассейна. Предлагается использовать комплексный анализ моделей удельного электрического сопротивления и нормированной заряжаемости для электрометрического контроля утечек из бассейнов растворов и других гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: утечки, гидроизоляция, электротомография, вызванная поляризация, кучное выщелачивание

Physical modeling of electrometric control of leaks from the pregnant solution pond

A. S. Kalganov^{1}, V. V. Olenchenko¹*

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk,
Russian Federation
* e-mail: KalganovAS@ipgg.sbras.ru

Abstract. The search for leaks from various hydraulic structures is a topical task of electrometry. Pregnant solution pond is one of the objects of electrometric control. They accumulate gold-enriched solutions. Identification of a breach in the waterproofing layer of a pond is possible by the method of electrical resistivity tomography with the measurement of induced polarization. Physical simulations were carried out to determine the nature of the electrical anomalies caused by the breach. A small plastic water tank imitated a solution pond. A hole was made in the bottom of the small tank, it provided a hydraulic connection with the large tank. The measurements were performed with the Skla-64 equipment, and the two-dimensional data inversion was carried out using the Res2DInv program. As a result, it was found that the place of leakage is allocated by an anomaly of low electrical resistivity and an intense anomaly of normalized chargeability. However, the 2D electrical resistivity model is complicated by inversion artifacts. The normalized chargeability anomaly is local and accu-

rately marks the location of the leak in the bottom of the tank. It is proposed to use a complex analysis of electrical resistivity and normalized chargeability for electrometric monitoring of leaks from pregnant solution pond and other hydraulic structures.

Keywords: leaks, waterproofing, electrical resistivity tomography, chargeability, heap leaching

Введение

Одним из самых эффективных способов добычи золота является кучное выщелачивание (КВ), которое выполняется следующим образом. Рудная масса, сложенная в штабель, орошается цианистым раствором, который фильтруется через руду и выщелачивает золото. Золотосодержащий раствор через систему дренажей накапливается в бассейне растворов (зумпфе). Бассейн растворов представляет собой выемку в грунте или обвалованный участок со слоем гидроизоляции из толстой полиэтиленовой плёнки. При монтаже гидроизоляции или в процессе эксплуатации бассейна могут возникать нарушения из-за расхождения швов в результате некачественной пайки или низкого качества плёнки. Это приводит к утечкам продуктивного раствора из ёмкости. Поиск таких утечек и является актуальной задачей электрометрического контроля.

Обычно для выявления утечек из гидротехнических сооружений, хранилищ нефтепродуктов применяются методы сопротивления, в том числе в модификации электротомографии [1-4]. В редких случаях используется комплексный анализ удельного электрического сопротивления (УЭС) и поляризуемости грунтов. Например, утечки через плотину создают аномалии низкого УЭС и высокой поляризуемости [5].

Целью этого исследования являлось установление характера электрических аномалий при электрометрическом контроле утечек через гидроизоляцию методом электротомографии с измерением вызванной поляризации (ЭТ-ВП)

Методы и материалы

Физическая модель бассейна представляла собой пластиковый контейнер с водой размером 39×28×14 см. В контейнере размещалось 32 электрода с шагом 1 см на специальной диэлектрической шине (рис. 1). Глубина воды составляла 1,5 см. Электропроводность воды была определена кондуктометром и в пересчёте на УЭС было равно 25 Ом·м. Этот бак помещался в бак больших размеров 79×57×18 см (рис. 1). По середине между 16 и 17 электродами в дне бака № 1 было сделано отверстие в виде щели длиной 4 см и шириной 0,1 см, которая имитировала повреждение слоя гидроизоляции.

Измерения методом электротомографии были выполнены с помощью аппаратуры Скала-64к15. Последовательность подключения электродов соответствовала трёхэлектродной (pole-dipole) установке, при этом удалённый электрод располагался перпендикулярно линии измерений на расстоянии 64 см. Кроме УЭС измерялась поляризуемость (заряжаемость) среды во временном диапазоне 20-120 мс после выключения тока. Длительность импульса тока - 100 мс.

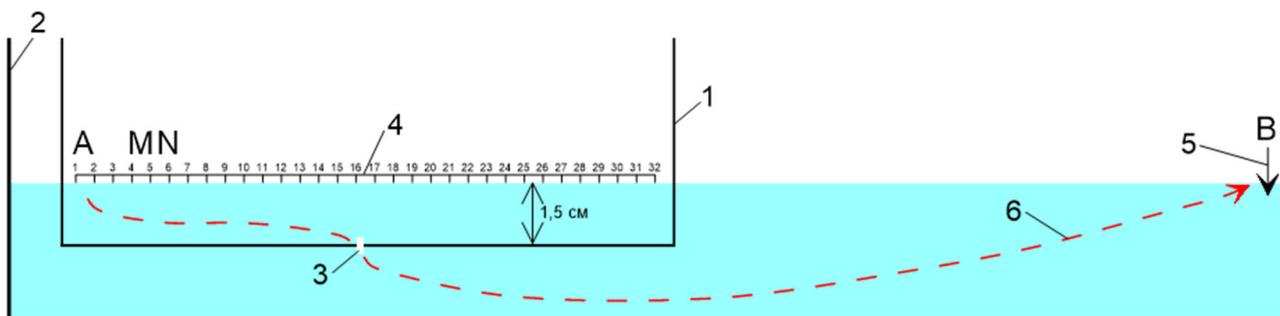


Рис. 1. Схема установки физического моделирования:

1 – бак №1; 2 – бак №2; 3 – щель в баке №1; 4 – измерительная установка: 32 электрода на диэлектрической шине; 5 – удалённый электрод; 6 – линия электрического тока.

Применение трёхэлектродной установки с удалённым электродом обеспечивает прохождение тока через щель, при этом в области щели происходит искажение электрического поля, чем и достигается аномальный эффект от нарушения гидроизоляции.

Обработка данных выполнялась с помощью программы двумерной инверсии Res2DInv. Применялся робастный способ инверсии. В результате строились разрезы УЭС среды и нормированной заряжаемости (m_n), которая рассчитывалась по формуле:

$$m_n = \frac{m \cdot 1000}{\rho},$$

где m – заряжаемость (поляризуемость), мВ/В; ρ – удельное электрическое сопротивление среды, Ом·м.

Результаты

По результатам 2-D инверсии были построены разрезы УЭС и нормированной заряжаемости среды (рис. 2). На разрезе УЭС область нарушения гидроизоляции (щель) выделяется аномалией очень низкого (до 0,06 Ом·м) электросопротивления. Однако кроме этой аномалии разрез осложнен артефактами инверсии, затрудняющими однозначную интерпретацию.

На разрезе нормированной заряжаемости (рис. 2а) положение щели интерпретируется однозначно по очень интенсивной аномалии, что оказалось весьма неожиданным результатом. На сегодняшний день неясна причина аномалии поляризуемости и нормированной заряжаемости над щелью. Исходя из природы параметра m_n можно предположить, что аномалия связана с сильной поверхностной проводимостью в области щели. Однако для подтверждения этой гипотезы необходимо провести специальные исследования.

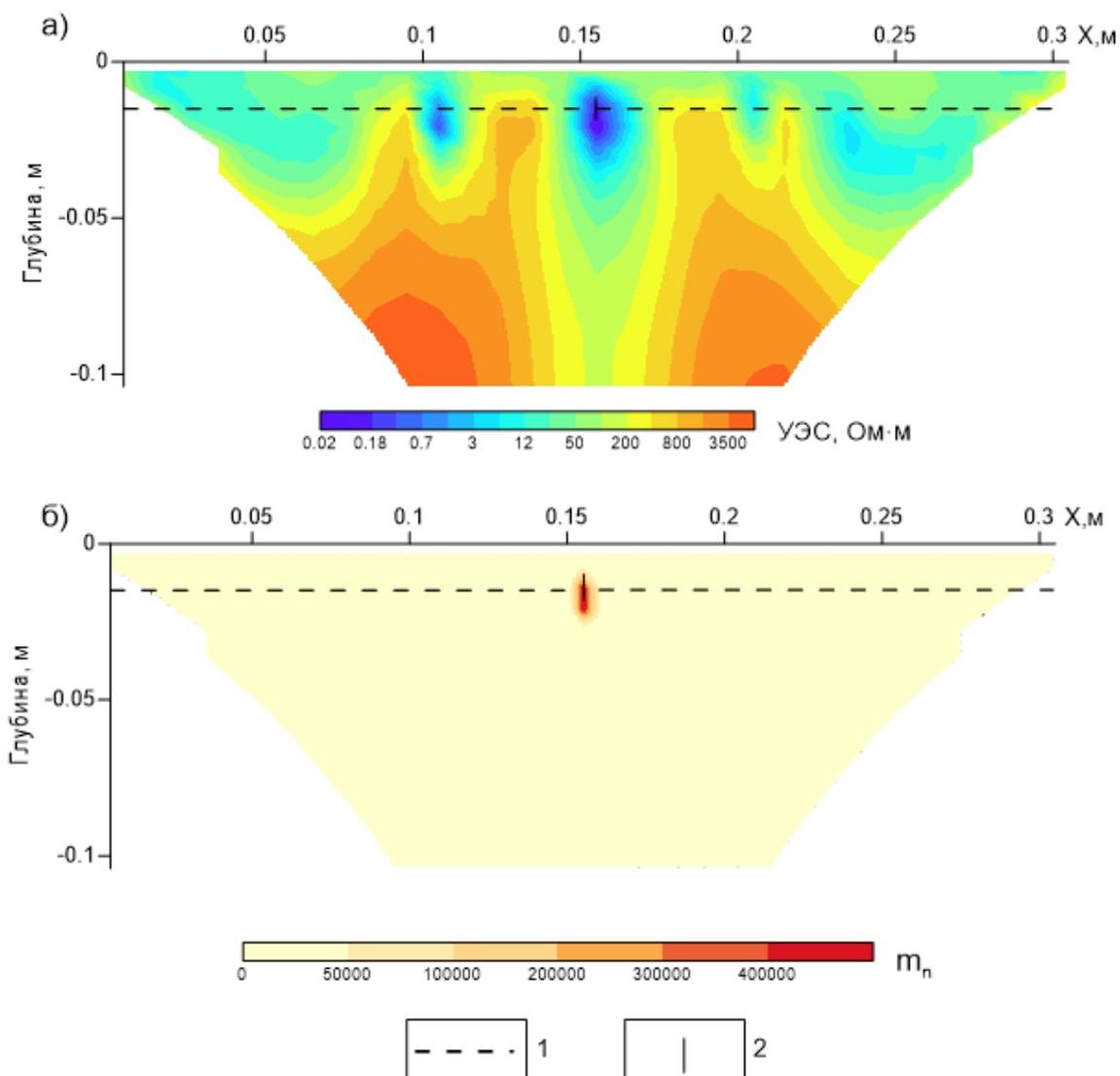


Рис. 2. Разрез УЭС (а) и нормированной заряжаемости (б) по результатам 2D инверсии данных физического моделирования:

1 – уровень дна бака №1; 2 – положение щели в баке №1.

Заключение

Физическое моделирование показало, что наряду с параметром УЭС для локализации мест повреждения гидроизоляции в основании бассейнов растворов и других гидротехнических сооружений нужно использовать параметр нормированной заряжаемости. При этом снижается неоднозначность интерпретации и появляется возможность отличить аномалии низкого УЭС, связанные с утечками через плёнку от аномалий другой природы.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных научных исследований № FWZZ-2022-0024.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горожанцев А. В., Герасимова И. Ю., Тайницкий А. А. Результаты оценки технического состояния шламового амбара методами электротометрии // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – 2017. – № 17. – С. 137-142
2. Поносов В. А., Горожанцев А. В., Герасимова И. Ю. Применение электроразведки при контроле герметичности резервуаров для хранения жидких нефтеотходов // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – 2011. – №. 11. – С. 103-106.
3. Ramirez A., Daily W., Binley A., LaBrecque D., Roelant D. Detection of leaks in underground storage tanks using electrical resistance methods // Journal of Environmental and Engineering Geophysics. – 1996. – Т. 1. – №. 3. – С. 189-203.
4. Chambers J. E., Meldrum P. I., Wilkinson P. B., Gunn D., Uhlemann S., Kuras O., Swift R., Inauen C., Butler S. Remote condition assessment of geotechnical assets using a new low-power ERT monitoring system // Near Surface Geoscience 2016-22nd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. – European Association of Geoscientists & Engineers, 2016. – Т. 2016. – №. 1. – С. ср-495-00147.
5. Martínez-Moreno F. J. Delgado-Ramos F., Galindo-Zaldívar J., Martín-Rosales W., López-Chicano M., González-Castillo L. Identification of leakage and potential areas for internal erosion combining ERT and IP techniques at the Negratín Dam left abutment (Granada, southern Spain) // Engineering Geology. – 2018. – Т. 240. – С. 74-80.

© А. С. Калганов, В. В. Оленченко, 2022