

И. О. Шапаренко^{1}, Н. Н. Неведрова¹, Ю. Г. Карин¹*

Физическое моделирование разломных зон сейсмоактивных районов по данным электротомографии

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

Аннотация. В статье представлены результаты физического моделирования данных электротомографии. Учитывая разрезы по данным полевых наблюдений в районе Горного Алтая, были созданы физические модели имитирующие участки с разломными зонами. Проведена серия измерений с использованием трех разных установок над моделями с изменением ширины зоны разлома. По результатам интерпретации данных физического моделирования показаны возможности разных установок для обнаружения вертикальной разломной зоны и определения её ширины.

Ключевые слова: физическое моделирование, электротомография, разломная зона

I. O. Shaparenko^{1}, N. N. Nevedrova¹, Yu. G. Karin¹*

Physical modeling of fault zones in seismically active regions based on ERT data

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

Abstract. The article presents the results of physical modeling of electrotomography data. Taking into account the results of field observations in the region of the Altai Mountains, physical models were created that simulate areas with fault zones. Measurements were made using three setups over models with a change in the width of the fault zone. Based on the results of the interpretation of physical modeling data, the possibilities of different installations for detecting vertical fault zones and determining its width are shown.

Keywords: physical modelling, electrical resistivity tomography, fault zone

Введение

На территории Горного Алтая специалистами лаборатории электромагнитных полей ИНГГ СО РАН проводятся ежегодные полевые работы методами геоэлектрики в том числе привлекается электротомография (ЭТ). Актуальность обусловлена необходимостью наблюдений геофизическими методами за развитием опасных явлений, вызванных геодинамическими процессами (землетрясениями, оползнями) в сейсмоактивных заселенных регионах.

В настоящее время ЭТ относится к одному из ведущих геофизических методов исследования верхней части геологического разреза при решении широкого круга задач. Для верификации полученных геоэлектрических моделей, по-

вышения надежности интерпретации достаточно часто привлекают численное моделирование [1]. Физическое моделирование с той же целью используется пока недостаточно активно. В зарубежной литературе встречаются работы по физическому моделированию методом ЭТ, они зачастую посвящены межскважинной электротомографии [2] либо исследованиям чувствительности метода в целом [3].

В данной статье приведены результаты физического моделирования, для которого были созданы специальные средства, позволяющие его осуществить. В ходе работы решались следующие задачи. Во-первых, была разработана физическая модель, имитирующая разломную структуру с возможностью изменять её размеры. Она помещалась в бассейн, заполненный водой, создающей однородную окружающую среду. Во-вторых, была адаптирована специализированная аппаратура электротомографии, подготовлена мини-коса и выбрано несколько актуальных установок ЭТ. Далее проведена серия измерений с разными вариантами модели и разными установками. В заключении выполнена интерпретация полученных данных.

Обоснование параметров модели с учетом полевых данных Горного Алтая

При создании физической модели авторы опирались на результаты интерпретации полевых данных, полученных в Горном Алтае. В качестве примера на рисунке 1 показан геоэлектрический разрез по одному из профилей в центральной части Чуйской впадины. Согласно геологическим материалам И. Д. Зольникова и Е. В. Деева здесь выделена разломная зона [4, 5]. Профиль ЭТ выполнен вкрест простираения этой зоны. Для увеличения достоверности интерпретации геоэлектрический разрез построен с использованием двух программных комплексов (рис. 1).

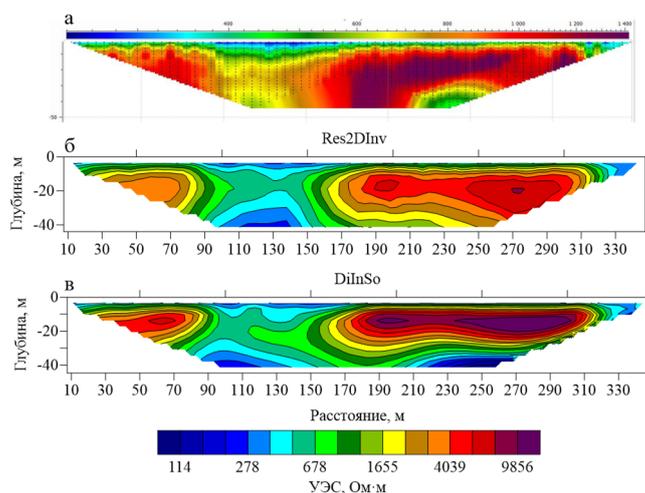


Рис. 1. Разрезы с разломной зоной по данным электротомографии в районе п. Мухор-Тархата Чуйской впадины Горного Алтая, профиль 8; а – разрез распределения кажущегося УЭС, б – геоэлектрический разрез в результате инверсии (программа Res2DInv), в – геоэлектрический разрез в результате инверсии (программа DiInSo).

На рисунке 1 разломная зона выделяется понижением УЭС в центральной части разреза в интервале профиля 90 -150 м относительно вмещающей среды. Ширина низкоомной зоны составляет 60 м. Пример отражает размеры и характерные УЭС зоны разлома, а также её геометрию - существование вертикальных (субвертикальных) границ. С учетом результатов, полученных в Горном Алтае, создавались физические модели.

При отсутствии дополнительных геологических данных можно повысить достоверность интерпретации для участков с присутствием разломных структур по данным ЭТ, привлекая численное и физическое моделирование с последующей инверсией синтетических данных.

Методы и материалы

Для физического моделирования использовался бассейн размером 3х5 м и высотой в 1 м. Для создания моделей были изготовлены два блока из пескобетона. Они помещались в бассейн, заполненный водой с УЭС около 25 Ом·м. Расстояние между блоками можно изменять, тем самым фактически меняя ширину проводящей разломной зоны. Расположение мини-косы с шагом между электродами 1.5 см показано на рисунке 2.



Рисунок 2. Модель вертикальной разломной зоны в бассейне с водой.

Уровень воды находился на 2 см выше верхней кромки бетонных блоков. В ходе экспериментов проводились измерения установками Шлюмберже, дипольной, прямой и обратной трехэлектродной. Кроме того, варьировалось расстояние между вертикальными границами двух блоков (ширина зоны).

Все измерения выполнялись с использованием современной аппаратуры «Скала 64К15Е». Инверсия данных проведена с помощью программы Res2DInv.

Результаты моделирования

Физическое моделирование вертикальной разломной зоны проводилось с расстоянием между блоками 10 и 20 см. Что в переводе на нашу стандартную косу с шагом 5 м означает ширину разлома порядка 34 и 68 метров соответственно.

При расстоянии между блоками 10 см (то есть примерно 7 шагов между электродами, рис. 3а) разломная зона хорошо видна на разрезах, её ширина восстанавливается достаточно точно. Для установок Шлюмберже и дипольной заметен небольшой наклон разломной зоны, что скорее всего, связано с недостаточной глубиной этих установок. Для трехэлектродной такой эффект проявляется в меньшей степени, у неё глубинность существенно больше.

При увеличении расстояния (ширины проводящей зоны) до 20 см (рис. 3б) разломная зона явно выделяется с использованием всех трёх установок, причем ширину можно определить адекватно.

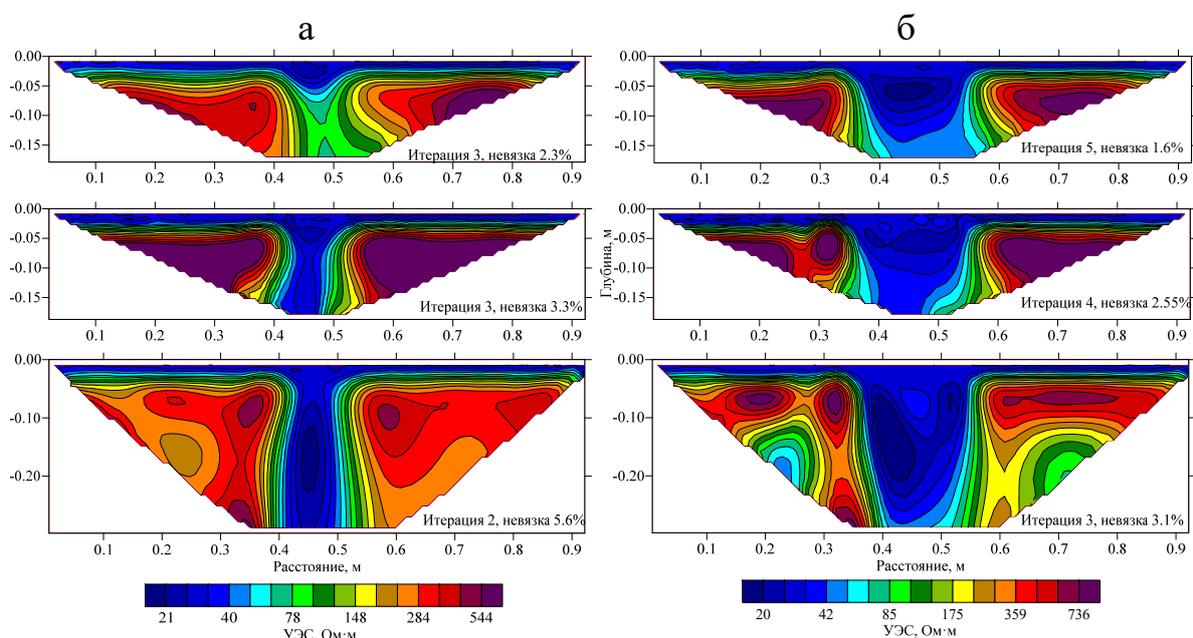


Рисунок 3. Геоэлектрические разрезы по результатам инверсии данных ЭТ установок Шлюмберже, дипольной и совместной прямой и обратной трехэлектродной сверху вниз соответственно; а - расстояние между блоками - 10 см; б – 20 см

Геоэлектрические параметры вертикальной разломной зоны можно определить с приемлемой точностью по данным физического моделирования, когда её ширина больше семи шагов между электродами. В случае меньшей ширины зоны разлома возникают сложности, появляются наклоны границ, увеличивается ширина зоны в нижней части разреза. Отчасти это может быть связано с алгоритмами, заложенными в использованный для инверсии программный комплекс, так как похожие артефакты были выявлены в ходе численного моделирования

вертикальных зон с комплексом Res2DInv. Продолжение работ по физическому моделированию, квазитрехмерные измерения, позволят ответить на возникшие вопросы более детально.

Заключение

Физическое моделирование по данным электротомографии позволяет определить оптимальную установку для измерений, выбрать шаг между электродами. В отличие от численного моделирования, при проведении физических экспериментов возникает больше трудностей, связанных с созданием подходящих моделей, адаптацией соответствующей аппаратуры и установок для измерений. Однако при этом мы получаем дополнительную информацию, связанную с выбором оптимальной установки, шагом между электродами для измерений на участках с крайне неоднородным строением с присутствием разломных структур. Можно также судить о влиянии перекрывающего слоя, разобраться в природе полученных при полевых измерениях аномалий.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Программы фундаментальных научных исследований № FWZZ-2022-0025.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шапаренко И. О., Неведрова Н. Н. Мониторинг разломных зон методом электротомографии (на примере Горного Алтая) // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов: Тезисы докл. VII Междунар. симп. – Бишкек, 2018. – С. 439–443.
2. Nie L., Shen J., Zhou P., Liu Z., Pang Y., Zhou W., Chen A. Cross-hole ERT Configuration Assessment for Boulder Detection: A Full-scale Physical Model Test // Journal of Environmental and Engineering Geophysics. – 2020. – Т. 25. – №. 4. – С. 569-579.
3. Newmark R. L., Ramirez A., Daily W. Geophysical Imaging Using Electrical Resistance Tomography (ERT): Controlled Laboratory Sensitivity Studies // AGU Fall Meeting Abstracts. – 2001. – Т. 2001. – С. GP22A-0264.
4. Зольников И. Д. Роль оледенений и гляциальных суперпаводков в геологическом строении осадочных комплексов верхней половины неоплейстоцена Горного Алтая и Приалтайской равнины: автореф. дис. ... д. г.-м. н. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2010. – 32 с.
5. Large earthquakes in the Katun Fault zone (Gorny Altai): Paleoseismological and archaeoseismological evidence / E. Deev, I. Throve, A. Borodovskiy, et al. // Quaternary Science Reviews. – 2019. – Vol. 203. – P. 68–89.

© И. О. Шапаренко, Н. Н. Неведрова, Ю. Г. Карин, 2023