

УДК 550.837.3
DOI: 10.36979/1694-500X-2023-23-4-189-193

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ В ЗОНЕ АКТИВНОЙ РАЗЛОМНОЙ СТРУКТУРЫ

В.Е. Матюков, А.И. Юнусов

Аннотация. Электротомография является одним из эффективных малоглубинных электроразведочных методов, который позволяет достаточно детально изучать геоэлектрическое строение верхней части земной коры (на глубину до нескольких сотен метров), дополнять данные других, более глубинных электромагнитных методов и выявлять различные геологические объекты. Исследования методом электротомографии проводились на профиле «Боом», заложенном в области восточного замыкания Чуйской впадины на Северном Тянь-Шане с применением многоэлектродной аппаратуры «Скала-48». Приводится подробное описание методики выполнения измерений и обработки полевых данных и построения геоэлектрического разреза с помощью программы двумерной инверсии Res2Dinv. Полученный геоэлектрический разрез проанализирован с применением априорной геологической информации, выявлены возможные проявления разломных зон.

Ключевые слова: электротомография; геоэлектрический разрез; многоэлектродные установки; разломная структура; Северный Тянь-Шань.

АКТИВДҮҮ ЖАРАКА ТҮЗҮМҮНҮН АЙМАГЫНДА ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИЯЛЫК МААЛЫМАТТАРДЫ ИШТЕП ЧЫГУУНУН ЖЫЙЫНТЫГЫ

В.Е. Матюков, А.И. Юнусов

Аннотация. Электротомография жер кыртышынын үстүңкү бөлүгүнүн геоэлектрдик түзүлүшүн (бир нече жүз метр тереңдикке чейин) деталдуу изилдөөгө, башка терең электромагниттик методдордун маалыматтарын толуктоого жана ар кандай геологиялык объектилерди аныктоого мүмкүндүк берген эффективдүү аз тереңдиктеги электр чалгындоо ыкмаларынын бири болуп эсептелет. Түндүк Тянь-Шандагы Чүй ойдуңунун чыгыш жабылган аймагындагы «Боом» профилдинде электр томография ыкмасы менен изилдөөлөр көп электроддуу «Скала-48» аппаратурасын колдонуу менен жүргүзүлгөн. Эки өлчөмдүү инверсиялык Res2Dinv программасын колдонуу менен өлчөөлөрдү жүргүзүү жана талаа маалыматтарын иштетүү жана геоэлектрдик секцияны куруу техникасынын толук сүрөттөлүшү берилген. Алынган геоэлектрдик кесим априордук геологиялык маалыматтын жардамы менен талдоого алынып, бузулуу зоналарынын мүмкүн болуучу көрүнүштөрү аныкталган.

Түйүндүү сөздөр: электротомография; геоэлектрдик кесүү; көп электроддук түзүлүштөр; жарака түзүмү; Түндүк Тянь-Шань.

RESULTS OF ELECTROTOMOGRAPHY DATA PROCESSING IN THE ZONE OF ACTIVE FAULT STRUCTURE

V.E. Matukov, A.I. Yunusov

Abstract. Electrotomography is one of the most effective low-depth electrical exploration methods that allows you to study in sufficient detail the geoelectric structure of the upper part of the earth's crust (to depth of several hundred meters), supplement the data of other, deeper electromagnetic methods and identify various geological objects. Studies by electrotomography were carried out on the profile "Boom", laid in the area of the eastern closure of the Chui depression in the Northern Tien Shan with the use of multi-electrode equipment "Skala-48". The paper provides a detailed description of the methodology for performing measurements and processing field data and constructing a geoelectric section using the Res2Dinv two-dimensional inversion program. The resulting geoelectric section of the

studied area was analyzed using a priori geological information, as a result of the studies, possible manifestations of fault zones were identified.

Keywords: electrotomography; geoelectric structure; multielectrode installations; fault structure; Northern Tien Shan.

Введение. С развитием аппаратного парка и программного обеспечения методы малоглубинной геофизики становятся все более востребованными. Например, во многих регионах по всему миру все чаще возникает проблема нехватки воды, что имеет очень серьезные последствия для населения. Метод электротомографии (ЭТ) применяется при всех детальном малоглубинных геофизических исследованиях, имеет наибольшую детальность и низкую погрешность измерений. Научной станцией РАН в г. Бишкеке проводятся исследования по изучению строения разломных структур, в том числе и скрытых под осадочными породами. Осуществляются мониторинговые наблюдения за ними, как за объектами, которые наиболее чувствительны к геодинамическим процессам, происходящих в сейсмоактивных регионах [1–3]. Трудности, связанные с выявлением и изучением разломных структур, перекрытых мощными кайнозойскими отложениями, зачастую можно преодолеть с помощью метода электротомографии [4, 5]. Поэтому, применение электроразведочной станции «Скала-48» для решения поставленных задач весьма логично.

Аппаратура. Аппаратура «Скала-48» (ООО «Конструкторское Бюро Электротметрии», г. Новосибирск) – 48-ми электродная электроразведочная аппаратура – предназначена для выполнения электроразведочных работ методами сопротивлений и вызванной поляризации в режимах электрического профилирования (ЭП), вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и электротомографии (ЭТ) [6].

В комплект аппаратуры «Скала-48» входят: две электроразведочные косы по 24 контакта каждая, соединители (с косы на электрод), электроды, аккумулятор, кабели для внешнего аккумулятора, USB кабель, флэш накопитель, программы визуализации и обработки полевых данных SIBER TOOLS и RiPPP. Электроразведочная аппаратура позволяет работать в трех режимах: Instant – предназначен для работы в режиме электрического профилирования (ЭП); Manual – для работы в режиме вертикального электрического зондирования (ВЭЗ); Automatic – для работы методом электротомографии (ЭТ).

Методика выполнения измерений. Для проведения полевых работ методом электротомографии на профиле раскладываются косы (120 м) в противоположные стороны от центрального пункта наблюдений. После раскладки косы и заземления электродов, производится тестирование аппаратуры и тестовый замер измерений каждого электрода для оценки качества заземления.

На профиле «Боом» электроразведочные работы выполняли в режиме Automatic, при работе были задействованы многоэлектродные кабели, подключаемые к разъёмам «Коса 1 – 24» и «Коса 25 – 48», расстояние между электродами в каждой установке 5 метров (рисунок 1). Регистрацию полевых наблюдений осуществлялась с использованием запланированных типов установок. Результаты измерений сохранялись в формате *.d2d. Затем эти данные считывались и переносились на компьютер оператора для последующей обработки [6].

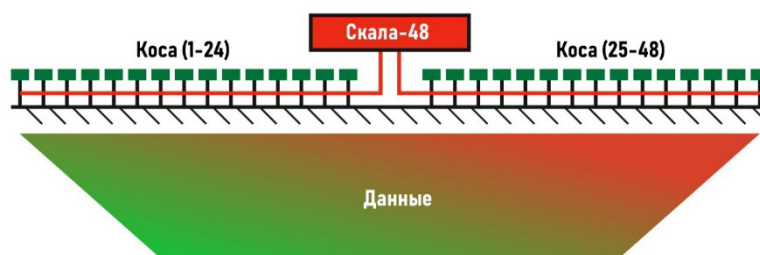


Рисунок 1 – Схема расстановки кос с электродами на электротомографическом профиле. Нумерация электродов начинается с дальнего электрода Коса 1 – 24, а заканчивается дальним электродом Коса 25 – 48 с шагом между электродами 5 м

Основы метода. Для проведения измерения методом сопротивлений на поверхности земли размещаются и заземляются 4 электрода, которые в совокупности называются установкой: два питающих (А и В) и два приёмных (М и N). Каждой установке в наборе соответствует уникальное сочетание А, В, М, N. Основой метода сопротивлений является то, что регистрируется разность потенциалов, наблюдаемая на поверхности земли (ΔU_{MN}) при пропускании электрического тока (I_{AB}) через заземленные питающие электроды (рисунок 2) [6, 7]. Зная коэффициент установки (К), можно вычислить очень важный физический параметр геологической среды – кажущееся электрическое сопротивление ρ_k :

$$\rho_k = K \frac{\Delta U_{MN}}{I_{AB}}, \quad (1)$$

где ΔU_{MN} – измерительная разность потенциалов между приемными электродами М и N; I_{AB} – ток в питающей линии; К – геометрический коэффициент установки.

В зависимости от соотношения расстояний между электродами А, В, М и N, выделяют разные типы установок:

- Установка Веннера α, β, γ (Wenner Alpha, Beta, Gamma).
- Установка Шлюмберже (Schlumberger).
- Экваториальная дипольная установка (Equatorial Dipole-Dipole).
- Осевая дипольная установка (Inline Dipole-Dipole).
- Трёхэлектродная установка (Pole-Dipole).
- Двухэлектродная установка (Pole-Pole).

Обработка данных. Просмотр и визуализацию данных, полученных аппаратурой «Скала-48», проводили в программе SIBER TOOLS, которая предназначена для создания, редактирования файлов с описанием установок, а также первичной обработки данных – фильтрации, компоновки и экспорта в распространённые форматы [7, 8]. Данная программа позволяет создавать файлы шаблонов измерений S1D (содержащий информацию о типе используемой для ВЭЗ измерительной установки и о геометрии измерительных установок, входящих в комплекс измерений) и S2D (в режиме используется коммутатор); при работе задействованы многоэлектродные кабели, подключаемые к разъёмам.

Предварительную обработку данных выполняли с помощью программы RiPPP. Программа визуализирует и позволяет редактировать данные, полученные аппаратурой «Скала-48» в формате *.d2d (файл измеренных данных) и *.top (файл высоты рельефа для каждого электрода). В ней можно фильтровать данные и экспортировать результаты предварительной обработки в формате *.dat. При наличии ошибочных или сильно искажающих картину результатов, в программе есть возможность удаления измерений – отбраковки, на конкретных точках.

Отбраковка полевых измерений должна исключить искажённые данные из решения обратной задачи. Причиной искажений может стать как человеческий фактор, например, плохо заземлённый электрод, так и независимые от бригады, проводящей исследование, а также причины антропогенного характера. Для выявления искажений, вызванных причинами такого рода, очень важна предварительная информация о местности [6].

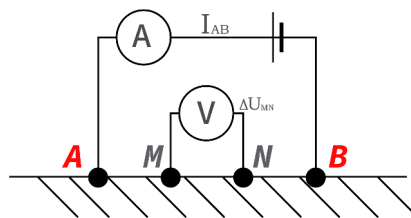


Рисунок 2 – Схема метода сопротивлений

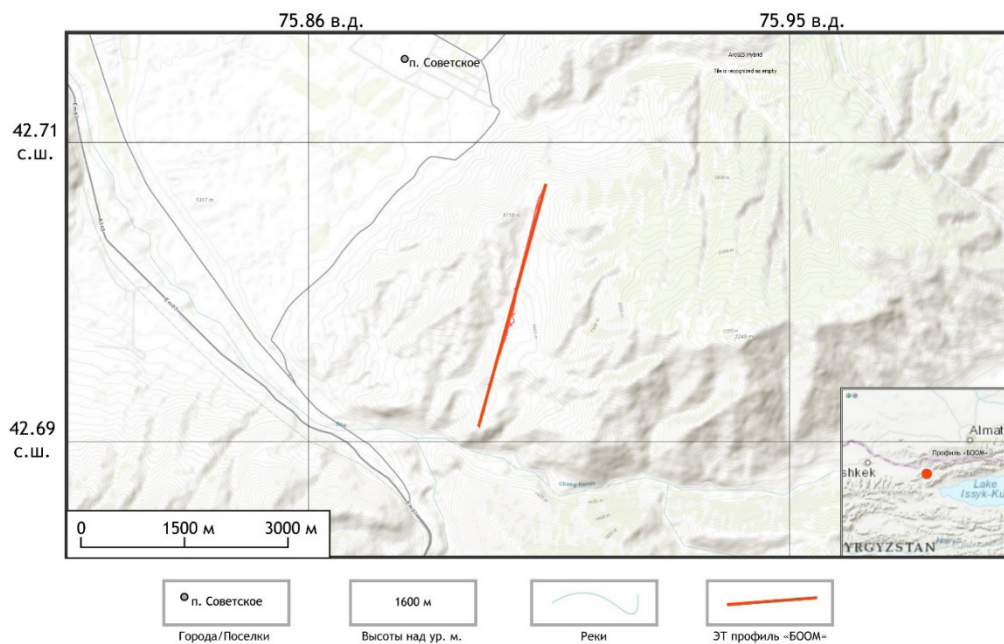


Рисунок 3 – Участок наблюдений методом электротомографии на профиле «Боом»

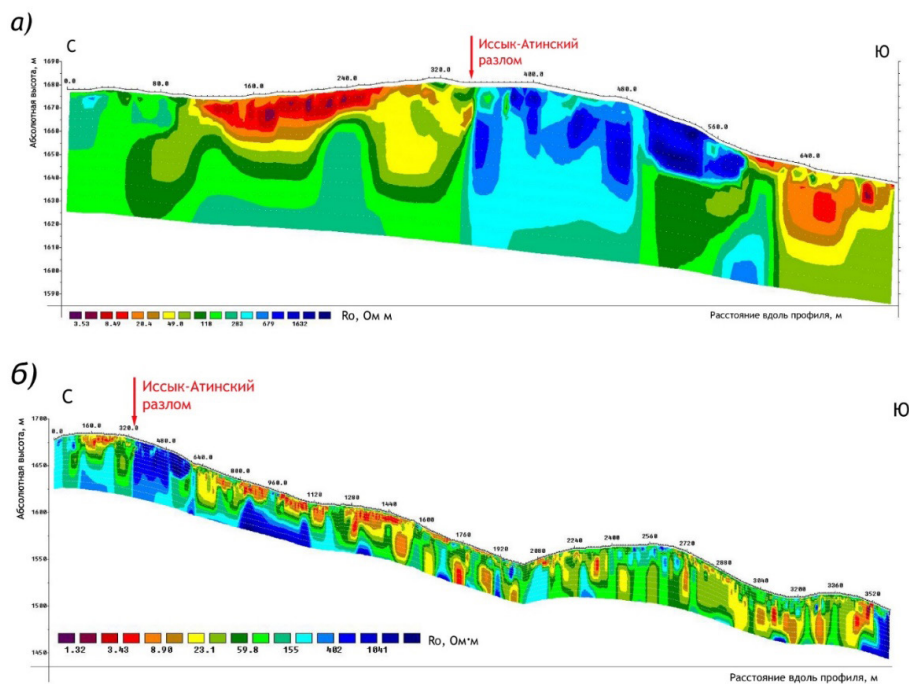


Рисунок 4 – Геоэлектрический разрез после обработки полевых данных электротомографии и процедуры инверсии для профиля «Боом». Верхний разрез (а) – участок профиля с протяженностью 720 м; нижний разрез (б) – полный профиль протяженностью 3600 м

Применение электротомографии целесообразно при всех детальными малоглубинных геофизических исследованиях – при инженерно-геологических и гидрогеологических изысканиях, изучении геологического разреза на малых глубинах. На исследуемой территории были получены данные электротомографии, выполненной на профиле «Боом», расположенного в районе поселка Советское, Кеминского района (рисунок 3) с целью выявления скрытой разломной структуры (предполагаемым продолжением Иссык-Атинского разлома). Рельеф исследуемого участка имеет сложную форму, наибольшая высота – 1685 м над уровнем моря.

Результаты обработки. Инверсия данных электротомографии выполнена в программе Res2Dinv (Geotomo Software) [9] – программа автоматической 2D-инверсии данных ЭТ. Программа может работать с установками: Шлюмберже, Веннера, двухэлектродными установками, несимметричными установками, линейными дипольными установками, экваториальными дипольными установками и др.

В результате обработки данных и процедуры инверсии были построены геоэлектрические разрезы для профиля «Боом» с установкой Шлюмберже и шагом между электродами 5 м. При инверсии были задействованы 30 кос, т. е. общая протяженность исследуемого участка составила 3600 м. Предполагаемая разломная зона (Иссык-Атинский разлом) показана на разрезе красной стрелкой (рисунок 4) на расстоянии 345 м от начала профиля.

Выводы. Таким образом, в результате исследований отработана методика измерений с выбором установки и построением геоэлектрических разрезов. На основе интерпретации данных электротомографии получен геоэлектрический разрез участка «Боом». В целом модель характеризуется контрастным распределением объектов с различным сопротивлением. Наблюдаются в основном субвертикальные зоны пониженных сопротивлений, реже выделяются зоны высокого сопротивления. В левой части геоэлектрического разреза можно выделить резкую контрастную зону, границу которой можно интерпретировать как предполагаемую зону продолжения Иссык-Атинского разлома [10].

Поступила: 20.01.23; рецензирована: 03.02.23; принята: 06.02.23.

Литература

1. Рыбин А.К. Вариации электросопротивления земной коры по результатам магнитотеллурического мониторинга сейсмоактивных зон Тянь-Шаня / А.К. Рыбин, Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев, В.Е. Матюков // Вестник КРСУ. 2011. Т. 11. № 4. С. 29–40.
2. Баталева Е.А. К вопросу о взаимосвязи вариаций электропроводности земной коры и геодинамических процессов / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев, А.К. Рыбин // Физика Земли. 2013. № 3. – С. 105–113.
3. Рыбин А.К. Глубинное строение литосферы Центрального Тянь-Шаня по профилю магнитотеллурического зондирования “Сон-Куль” / А.К. Рыбин, Е.А. Баталева, В.Е. Матюков и др. // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 496. № 2. С. 115–121. DOI: 10.31857/S268673972102016X.
4. Баталева Е.А. Комплексный электромагнитный мониторинг геодинамических процессов Северного Тянь-Шаня (Бишкекский геодинамический полигон) Е.А. Баталева, В.А. Мухамадеева // Геодинамика и тектонофизика. 2018. № 2. С. 461–487.
5. Баталева Е.А. Глубинное строение восточной части Иссык-Атинского разлома (Северный Тянь-Шань) / Е.А. Баталева, В.Е. Матюков // Матер. 53-го тектонического совещания. Тектоника и геодинамика земной коры и мантии: фундаментальные проблемы. 2022. С. 44–49.
6. Мартыанов А.С. Разработка программных средств анализа данных аппаратного комплекса СКАЛА: дис. ... магистра информац. технологий / А.С. Мартыанов. Новосибирск, 2013. С. 3–8.
7. Спичак В.В. Электромагнитная томография земных недр / Центр геоэлектромагнитных исследований Института физики Земли РАН / В.В. Спичак. М.: Научный мир, 2019. 374 с.
8. Панин Г.Л. Многоэлектродная аппаратура методов сопротивлений «Скала-48» / Г.Л. Панин // Матер. конф. «Инженерная и рудная геофизика». Геленджик, 2008. С. 2.
9. Loke M.H. Tutorial. RES2DINV ver. 3.59, Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method / M.H. Loke. Malaysia, Geotomo Software, 2010. 148 p.
10. Баталева Е.А. Глубинное строение восточной части Иссык-Атинского разлома (Северный Тянь-Шань) / Е.А. Баталева, В.Е. Матюков // Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2022. М.: Изд. «ГЕОС», 2022. С. 44–49.