

Оригинальная статья / Original article

УДК 551.243+550.837

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-2-91-101>

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МОРФОЛОГИИ МОГОДСКОГО РАЗЛОМА В МОНГОЛИИ ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

© А.Ю. Ескин^а, В.И. Джурик^б, С.П. Серебренников^с, Е.В. Брыжак^д

^{а-д}Институт земной коры СО РАН,
664033, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

РЕЗЮМЕ. Цель. Очаги сильных землетрясений обычно приурочены к зонам разломов. Они генерируют смещения различного порядка, которые могут оказывать опасное воздействие на объекты промышленного и гражданского строительства. Поэтому обнаружение и изучение природных нарушений разного уровня с геолого-геофизической, сейсмологической и сейсмотектонической точек зрения – важная задача при проектировании зданий и сооружений на более ранних стадиях. **Методы.** На примере Могодского разлома в Монголии отмеченная задача была решена путем постановки малоглубинной электроразведки на постоянном токе. **Результаты.** По результатам интерпретации полученных геофизических данных рассмотрены элементы геометрии и кинематики изучаемого крупного разлома в верхних горизонтах земной коры. **Выводы.** Определены критерии выделения тектонических нарушений, изучена анизотропия грунтов по удельному электрическому сопротивлению.

Ключевые слова: разломная зона, метод вертикального электрического зондирования, удельное электрическое сопротивление, анизотропия.

Информация о статье. Дата поступления 28 ноября 2017 г.; дата принятия к печати 21 мая 2018 г.; дата онлайн-размещения 29 июня 2018 г.

Формат цитирования. Ескин А.Ю., Джурик В.И., Серебренников С.П., Брыжак Е.В. Изучение элементов морфологии Могодского разлома в Монголии по данным электроразведки // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 41. № 2. С. 91–101. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-91-101

STUDY OF MOGOD FAULT MORPHOLOGICAL ELEMENTS (MONGOLIA) BY ELECTRICAL EXPLORATION DATA

© A.Yu. Eskin, V.I. Dzhurik, S.P. Serebrennikov, E.V. Bryzhak

Institute of the Earth's Crust SB RAS,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russian Federation

^аЕскин Александр Юрьевич, научный сотрудник лаборатории инженерной сейсмологии и сейсмогеологии,
e-mail: eskin@crust.irk.ru

Alexander Yu. Eskin, Researcher of the Laboratory of Engineering Seismology and Seismogeology,
e-mail: eskin@crust.irk.ru

^бДжурик Василий Иванович, заведующий лабораторией инженерной сейсмологии и сейсмогеологии,
e-mail: dzhurik@crust.irk.ru

Vasily I. Dzhurik, head of the Laboratory of Engineering Seismology and Seismogeology,
e-mail: dzhurik@crust.irk.ru

^сСеребренников Сергей Петрович, старший научный сотрудник лаборатории инженерной сейсмологии и сейсмогеологии, e-mail: serebr@crust.irk.ru

Sergey P. Serebrennikov, Senior Researcher of the Laboratory of Engineering Seismology and Seismogeology,
e-mail: serebr@crust.irk.ru

^дБрыжак Евгений Вадимович, научный сотрудник лаборатории инженерной сейсмологии и сейсмогеологии,
e-mail: bryzhak@crust.irk.ru

Evgeniy V. Bryzhak, Researcher of the Laboratory of Engineering Seismology and Seismogeology,
e-mail: bryzhak@crust.irk.ru

ABSTRACT. Purpose. The focuses of strong earthquakes are usually confined to fault zones. They generate the displacements of various orders having a dangerous effect on the objects of industrial and civil construction. Therefore, the detection and study of the natural disturbances of different levels in terms of geological and geophysical, seismological and seismotectonic viewpoints is important when designing buildings and structures at earlier stages.

Methods. On example of the Mogod fault in Mongolia the problem is solved using a direct current shallow electrical sounding. **Results.** Based on the interpretation results of the obtained geophysical data the elements of geometry and kinematics of the large fault in the upper horizons of the earth crust have been examined. **Conclusion.** The criteria for distinguishing tectonic disturbances have been determined. The anisotropy of soils has been studied by the specific electrical resistance.

Keywords: fault zone, method of vertical electrical sounding, specific electrical resistance, anisotropy

Article info. Received 28 November 2017; accepted for publication 21 May 2018; available online 29 June 2018.

For citation: Eskin A.Yu., Dzhurik V.I., Serebrennikov S.P., Bryzhak E.V. Study of Mogod fault morphological elements (Mongolia) by electrical exploration data. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. *Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits*, 2018, vol. 41, no. 2, pp. 91–101. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-91-101. (In Russian).

Введение

Интерес к изучению территории Монголии заключается в том, что она, находясь в нескольких тысячах километров от плитных границ, где известны многочисленные, в том числе и сильные землетрясения, все же характеризуется сильнейшей сейсмической активностью. Только в XX в. произошло четыре мощнейших землетрясения с магнитудой свыше 8 баллов в пределах западной Монголии и в непосредственной близости от ее границ. Во время этих катастрофических событий образовались весьма протяженные поверхностные разрывы, измеряемые сотнями километров. Такая сейсмическая активность территории объясняется особенностью расположения района. Он находится в переходной зоне сил трансжатия, исходящих от коллизионного фронта между Индостанской и Евразийской плитами, и сил растяжения, исходящих от Байкальской рифтовой зоны. Граница между этими противоположными силами сжатия и растяжения проводится весьма условно.

По геологическим данным тектонические нарушения разного ранга отчетливо выражены в рельефе. Зоны наиболее крупных тектонических нарушений прослеживаются в виде долин современных рек территории Монголии. Разломы

более низкого порядка также используются речной сетью и, как правило, хорошо документируются в виде спрямленных фрагментов долин ручьев, линейно вытянутых участков временных водотоков [1–3].

Развитие процессов эрозии является основным элементом проявления на поверхности тектонических разрывов. Линейное чередование распадков и седловин в пределах горных образований, протяженные линии рвов, уступов на склонах, у подошвы склонов – это основные признаки дешифрирования разломных зон.

Тектоническую ситуацию региона дополняют также более древние погребенные под осадочными породами тектонические нарушения, представляющие не меньшую опасность для существующих и вновь возводимых строительных объектов.

В последнее время изучению разломов и ослабленных зон в горных массивах уделяется огромное значение, так как данная проблема является весьма актуальной, особенно в современных условиях.

Цель исследований

В зонах разломов чаще всего предполагаются очаги сильных землетрясений. В них происходят подвижки грунта на

поверхности с большими градиентами вертикальных и горизонтальных движений. Даже в более спокойных в тектоническом плане областях они генерируют медленные смещения, которые также могут оказывать опасное воздействие на объекты промышленного и гражданского строительства. Поэтому при проектировании зданий и сооружений необходимо на более ранних стадиях обнаружение и изучение с геолого-геофизической, сейсмологической и сейсмотектонической точек зрения тектонических нарушений любого порядка.

Материалы и методы исследований

Задача выявления разломов с успехом решается комплексированием геофизических методов, поскольку зоны тектонических нарушений хорошо выделяются при интерпретации различных геофизических полей, как естественных, так и искусственных. Особенно плодотворно применяются различные методы электроразведки (электропрофилирование, вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) и др.) при определении зон разломов и зон повышенной трещиноватости [4]. Метод ВЭЗ следует отметить особо: он наиболее эффективен при прослеживании как вышедших на поверхность, так и погребенных тектонических нарушений и зон повышенной трещиноватости [5].

Предпосылки использования геофизических (мало- и среднеглубинных) методов для решения поставленных задач заключаются в том, что зоны тектонических нарушений в пределах кристаллического фундамента (30–50 м) характеризуются аномально низкими значениями скоростей сейсмических волн и удельного электрического сопротивления (УЭС) по сравнению с вмещающими грунтами [6]. Дифференцируемость грунтов по УЭС значительно выше, чем по скоростям, особенно для грунтов фундамента из-за наличия конкретно выраженных по физико-механическим свойствам зон

тектонических нарушений (разломов). Зоны, выполненные продуктами разрушения с размерами от блоков и глыб до тектонической глинки, служат естественными водотоками и относительно лучшими проводниками электрического тока. Их УЭС, выраженное в Ом·м, на 1–2 порядка ниже УЭС вмещающих скальных пород. В то же время результативность геофизических измерений определяется различными внешними факторами, такими как рельеф местности, климатические условия, характер заземления для электроразведочных методов, и другими приповерхностными условиями.

При постановке работ методом ВЭЗ в полевых условиях для выделения зон разломов и зон повышенной трещиноватости обычно используют два вида съемки: площадную и профильную – вкрест простирания предполагаемой осевой зоны.

С целью районирования территории в Монголии проводились различные виды работ геолого-геофизического изучения зон тектонических нарушений комплексом геофизических методов от регионального уровня (Орхонский район, Монголия) до конкретных населенных пунктов (г. Эрдэнэт, Монголия) [7–10].

Типичным и хорошо выделенным на местности примером является Могодский разлом, образовавшийся в результате одноименного землетрясения, произошедшего в 1967 г.

Могодский разлом является составной частью Тулэтской тектонической системы. При Могодском землетрясении возникла непрерывная система сейсмогенных разрывов протяженностью до 45 км, отчетливо выраженная в рельефе. Сам разлом расположен в 360 км от г. Улан-Батора и 80 км от г. Булгана (рис. 1). Высотные отметки составляют 1500–1800 м. Климат в районе исследований резко континентальный. Среднегодовая температура – 1,9 °С, количество осадков – в среднем 265 мм в год.

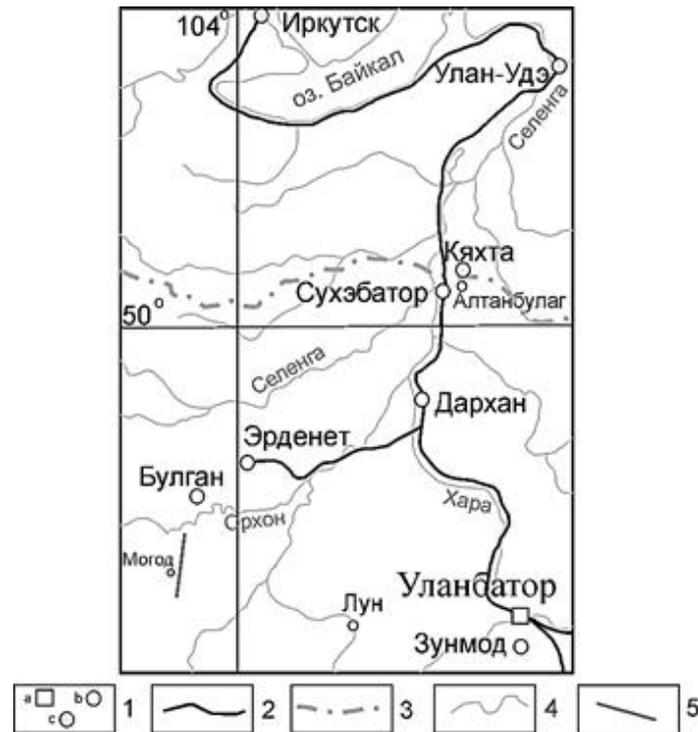


Рис. 1. Обзорная карта с выделением Могодского разлома:

1 – столица Монголии Улан-Батор (а), города Монголии (b) и России (с); 2 – железная дорога;
3 – государственная граница между Россией и Монголией; 4 – реки; 5 – Могодский разлом

Fig. 1. Location map with the identification of the Mogod fault:

1 – Ulaanbaatar – the capital of Mongolia (a), cities of Mongolia (b) and Russia (c); 2 – railway;
3 – state border between Russia and Mongolia; 4 – rivers; 5 – Mogod fault

Электроразведочные измерения по изучению Могодского разлома выполнялись методом ВЭЗ при помощи цифровой электроразведочной аппаратуры «Электротест-С» (Россия).

Эта аппаратура со встроенным питанием для линии АВ может работать в режимах постоянного и переменного тока. Она имеет три режима накопления, что позволяет выполнять исследования в условиях электрических помех и запоминать данные измерений в энергозависимой памяти. Для выполнения работ была использована симметричная установка АМВN, разносы которой выбирались в зависимости от условий заземления и рельефа местности и достигали АВ/2 – 225 м, что при благоприятных геоэлектрических условиях дает возможность изучать распределение электрических сопротивлений на глубину 50 м и более. Шаг измерений между точками зондирования по

профилю составил 25, 40 и 65 м в зависимости от удаленности от оси тектонического нарушения.

Для заземления линии АВ применялись стальные электроды длиной 1,2 м и толщиной 12 мм, для устройства линии MN использовались латунные электроды длиной 0,4 м и толщиной 22 мм. При измерениях использовались разносы линии АВ/2 – 1,5; 3; 4,5; 6; 9; 15; 25; 40; 65; 100; 150; 225 м, линии MN/2 – 0,5; 5 м. На разносах питающей линии АВ/2 – 15 и 25 м выполнены двойные измерения (так называемые «ворота») для перехода с линии MN/2 – 0,5 м на линию MN/2 – 5 м. Данный переход предназначен для получения более уверенного измеряемого сигнала. Результаты измерений заносились в полевой журнал, а для дальнейшей обработки фиксировались в таблицах Excel. Схема работ приведена на рис. 2.

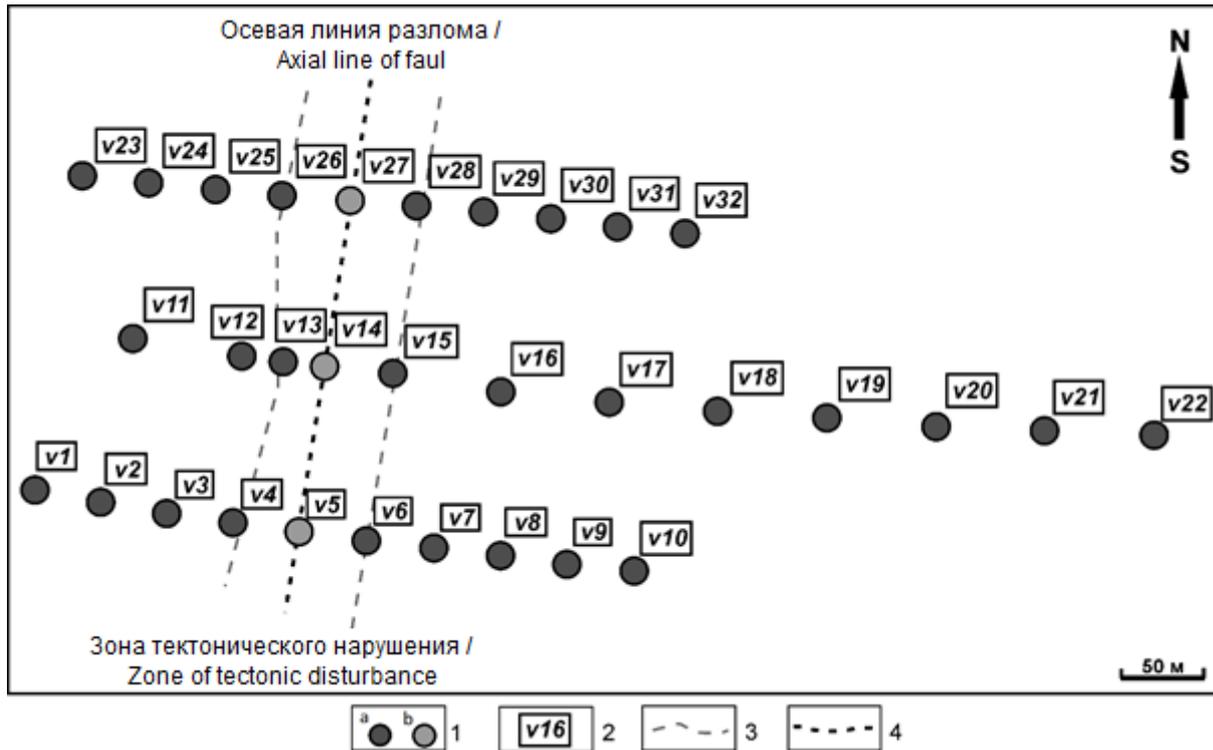


Рис. 2. Схема расположения профилей проведения электроразведочных работ на участке Могодского разлома:
1 – точки измерений методом вертикального электрического зондирования:
a – вне зоны разлома, b – по оси разлома; 2 – номера точек вертикального электрического зондирования; 3 – граница зоны тектонического нарушения на поверхности; 4 – ось разлома

Fig. 2. Location diagram of electrical exploration profiles on the Mogod fault site:

1 – trial points by the vertical electrical sounding method:
a – outside the fault zone, b – along the fault axis; 2 – numbers of vertical electrical sounding points; 3 – boundary of the tectonic disturbance zone on the surface; 4 – fault axis

Результаты исследований и их обсуждение

Интерпретация полученных результатов производилась с помощью программного обеспечения IPI2.Win, разработанного в Московском государственном университете. Пример полученных геоэлектрических разрезов представлен на рис. 3 по трем профилям. Кроме того, на одном из профилей были выполнены три круговых ВЭЗ для фиксации направления линии разлома и изучения анизотропии. Ошибка измерений не более 5% обеспечивалась путем повторных замеров, а также независимым контролем сравнения данных измерений разных операторов. Привязка точек наблюдений осуществлялась с помощью GPS-гео-

дезии и мерной ленты на местности.

Геофизические измерения проводились по профилям, ориентированным вкост основных тектонических структур [11].

На полученных геоэлектрических разрезах отчетливо выделяется зона с пониженным УЭС, имеющая 30 Ом·м в верхней части и 800 Ом·м в нижней. Кроме того, по профилям в верхней части разреза до глубины 60–80 м выделено три горизонта, которые сложены супесями и суглинками слегка обводненными, с УЭС, изменяющимися незначительно (от 30 до 130 Ом·м). Ниже находятся коренные породы, имеющие УЭС порядка 10000 Ом·м. Зона тектонического нарушения по УЭС в коренных

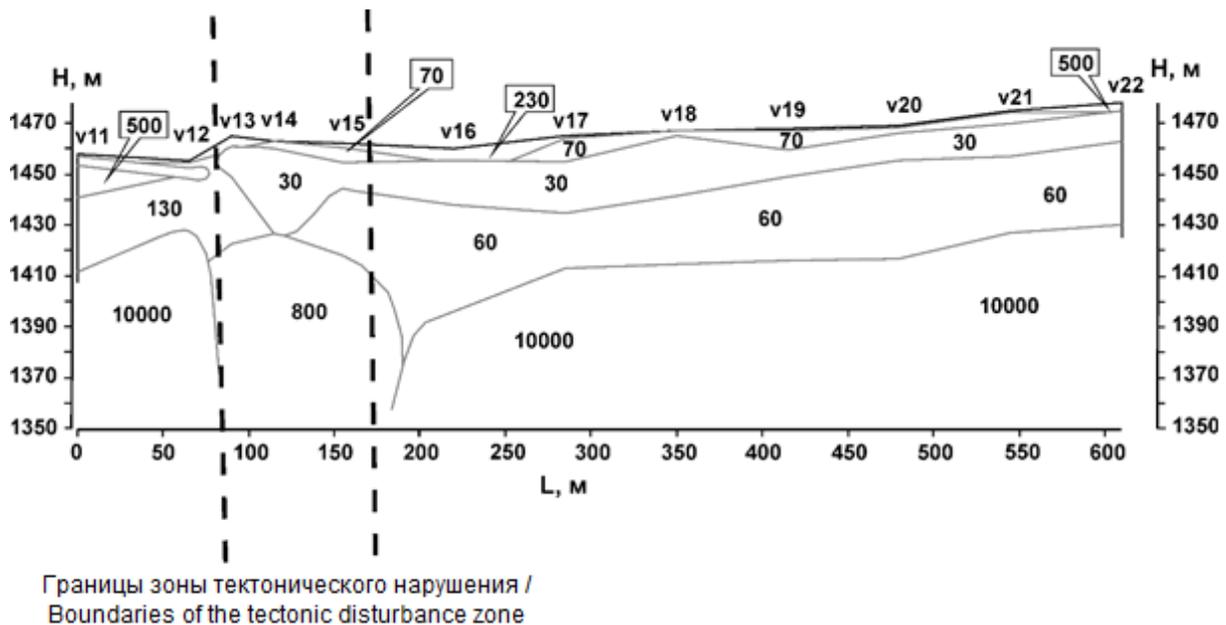


Рис. 3. Разрез по профилю № 2, полученный по данным интерпретации электроразведочных измерений (Могод, Монголия)

Цифры на разрезе – удельное электрическое сопротивление, Ом·м

Fig. 3. Section of the profile 2 obtained by the interpretation of electrical exploration data (Mogod, Mongolia)

Figures on the section represent specific electrical resistivity, Ohm·m

породах проявляется более явно, чем в верхней части разреза. Скорее всего, это связано с литологическим составом пород и климатическими условиями в районе расположения тектонического нарушения, то есть породы, слагающие верхнюю часть зоны разлома, имеют такой же состав, как и их окружающие разновидности. Они отличаются только большей трещиноватостью и раздробленностью и, как следствие, имеют практически такое же УЭС, как и вмещающие породы. Однако, как выяснилось впоследствии при изучении анизотропии, зоны имеют относительно высокие сопротивления только в одном направлении – перпендикулярном оси разлома. По другим азимутам УЭС зоны разлома оказалось ниже, что дало возможность ее выделения в верхней части геоэлектрического разреза. С глубиной обводненность зоны разлома увеличивается, соответственно, УЭС понижается по отношению к породам, в которых данная зона находится. Во вмещающих породах наблюдается обратный

процесс ввиду более слабой фильтрации в них воды на глубину.

В ходе дальнейшей интерпретации для визуализации разлома посчитаны и представлены на рис. 4 срезы по УЭС на различных глубинах (1 и 100 м). На рисунке видно уверенное выделение зоны разлома как по площади, так и в глубину. Поэтому можно говорить о положительном результате применения метода ВЭС для изучения зон разломов и зон повышенной трещиноватости, имеющих выход на поверхность и погребенных под осадочными породами.

В большинстве горных пород проявляется такое явление, как анизотропия. В нашем случае представляет интерес электрическая анизотропия по УЭС горных пород – это различие сопротивлений таких пород в зависимости от направления прохождения тока [12]. В качестве электрической характеристики анизотропной породы используют продольное ρ_t , поперечное ρ_n , среднеквадратичное ρ_m сопротивления и коэффициент

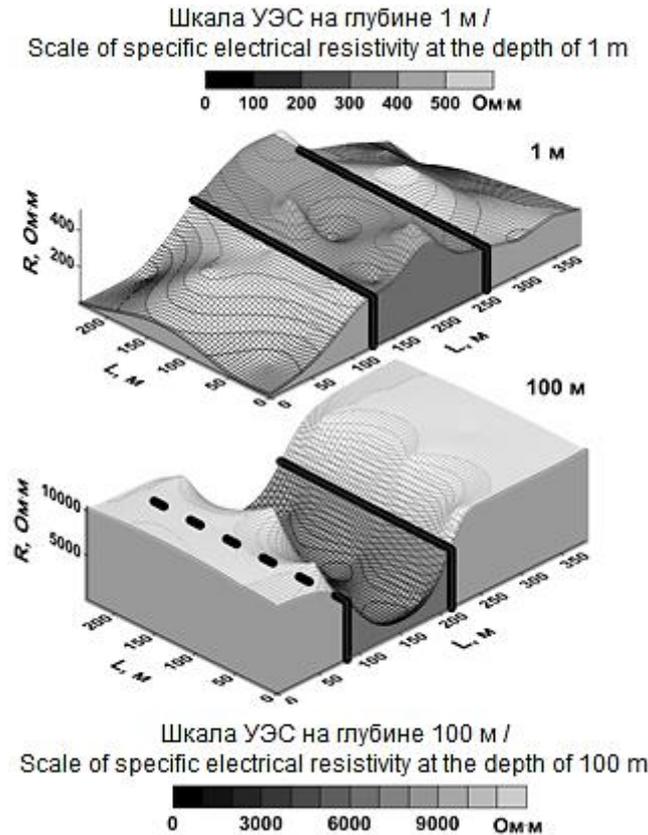


Рис. 4. Удельное электрическое сопротивление Могодского разлома на глубинах 1 м и 100 м
Черными линиями выделена зона тектонического нарушения
Fig. 4. Specific electrical resistivity of the Mogod fault at the depths of 1 m and 100 m
Black lines indicate the zone of tectonic disturbance

анизотропии λ , связанные между собой следующими соотношениями:

$$\rho_m = \sqrt{\rho_t \rho_n},$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_t}} = \frac{\rho_n}{\rho_m} = \frac{\rho_m}{\rho_t}.$$

Для определения анизотропии пород были поставлены круговые ВЭЗ в трех опорных точках: в зоне тектонического нарушения и за ее пределами во вмещающих породах (рис. 5). По результатам измерений построены диаграммы распределения кажущихся сопротивлений в различных направлениях по отношению к оси разлома.

На диаграммы вынесены зависимости кажущегося сопротивления только по четырем разносам питающей линии по

двум причинам. Во-первых, на других разносах результат аналогичен представленному, во-вторых, рисунок будет сильно перегружен и плохо читаем. По данным круговых ВЭЗ для каждого разноса и направления измерения рассчитан коэффициент анизотропии, который равен 1 на левой диаграмме; варьирует в пределах от 1,41 до 1,76 на центральной и изменяется от 0,97 до 1,03 на правой. Соответственно, можно сказать, что в зоне разлома имеет место быть такое явление, как электрическая анизотропия пород, слагающих данный массив.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что кажущееся сопротивление пород вдоль оси разлома меньше, чем кажущееся сопротивление, измеренное вкрест простирания, что говорит о

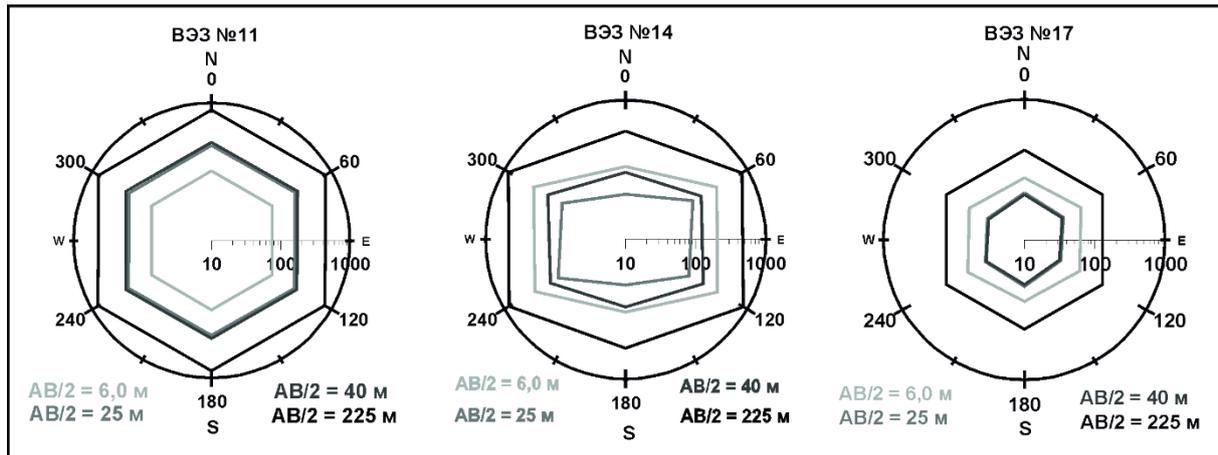


Рис. 5. Примеры диаграмм распределения кажущегося сопротивления в зависимости от полуразноса питающей линии в зоне разлома (центр) и за ее пределами (слева и справа), см. схему работ рис. 2

Диаграммы ориентированы по сторонам света. По оси абсцисс в логарифмическом масштабе – кажущееся сопротивление в Ом·м. По окружности диаграммы расположены азимуты, в направлении которых проводились измерения, в градусах

Fig. 5. Examples of the distribution diagrams of apparent resistivity as a function of the supply circuit half-separation in the fault zone (center) and beyond it (on the left and right), see the operation scheme on Fig. 2

Diagrams are oriented according to the cardinal points. The apparent resistivity in Ohm·m is located on the abscissa axis in the logarithmic scale. The azimuths in degrees, in the direction of which the measurements were made are located along the circle of the diagram

приоритетном азимуте распространения трещиноватости вдоль зоны разлома.

Подобные исследования проводились и на других тектонических нарушениях Монголии (район Эмээлт, Гуджин, Хустай и др.), в том числе и погребенных [4, 6]. По ним также получены положительные результаты, которые позволяют сделать вывод о перспективах электро-разведки при проведении исследований, направленных на выявление нарушений в осадочных и в неглубоко залегающих коренных породах с целью их использования при оценке сейсмической опасности грунтов в пределах активных разломов.

Заклучение

Электроразведка в модификации ВЭЗ была выполнена на одном из участков Могодского разлома по трем профилям. Интерпретация полученных результатов и их анализ дали возможность прийти к решению поставленной задачи.

1. Зона Могодского разлома на

обследованном участке выполнена продуктами разрушения размерами от блоков и глыб до тектонической глинки, которые служат естественными водотоками и относительно лучшими проводниками электрического тока. Их УЭС, выраженное в Ом·м, на 1–2 порядка ниже УЭС вмещающих скальных пород.

2. Могодский разлом достаточно уверенно выделяется по УЭС как по площади, так и на глубину. В верхней зоне геоэлектрического разреза УЭС пород, слагающих зону тектонического нарушения, не сильно отличается от УЭС вмещающих пород. Это десятки Ом·м. В нижней части различие по УЭС достигает уже тысяч и даже десятков тысяч Ом·м, что свидетельствует о более эффективном определении тектонических нарушений и сильно трещиноватых зон в кристаллическом фундаменте.

3. В зоне разлома присутствует такое явления, как анизотропия пород. Кажущееся сопротивление вдоль зоны

тектонического нарушения значительно меньше, чем вкрест простирания. По этому свойству пород можно определять как азимуты распространения трещин в зоне разлома, так и направление самого разлома.

В целом данная методика геофизических исследований отработана на

объектах гражданского и промышленного строительства Монголо-Сибирского региона. Модернизация программного обеспечения и улучшение качественных характеристик электроразведочной аппаратуры позволили увеличить возможности интерпретации полученных данных в процессе полевых исследований.

Библиографический список

1. Пейве А.В. Избранные труды: Глубинные разломы и их роль в строении и развитии земной коры / отв. ред. А.Л. Книппер, А.В. Лукьянов. М.: Наука, 1990. 352 с.

2. Макаров В.И., Щукин Ю.К. Оценка активности скрытых разломов // Геотектоника. 1979. № 1. С. 96–109.

3. Хренов П.М. Скрытые зоны глубинных разломов складчатых областей и платформ (на примере юга Восточной Сибири) // Глубинные разломы юга Восточной Сибири и их металлогеническое значение. М.: Наука, 1971. С. 5–38.

4. Ескин А.Ю., Серебренников С.П., Брыжак Е.В. Результаты современных геофизических измерений в зоне Могодского разлома // Материалы III Всероссийского совещания и II Всероссийской молодежной школы по современной геодинамике. Иркутск, 2016. С. 85.

5. Ляховицкий Ф.М., Хмелевской В.К., Яценко З.Г. Инженерная геофизика. М.: Недра, 1989. 252 с.

6. Джурик В.И., Серебренников С.П., Батсайхан Ц. [и др.]. Отражение приповерхностных зон крупных разломов Сибири и Монголии в геофизических полях // XXXVII тектоническое совещание: сб. науч. тр. Т. 2. М.: ГЕОС, 2005. С. 202–205.

7. Джурик В.И., Ескин А.Ю., Серебренников С.П., Брыжак Е.В., Усынин Л.А., Батсайхан Ц. Выявление зон разломов и ослабленных участков горных пород в районах Монголии с помощью малоглубинной геофизики // Тезисы докладов IX Российско-Монгольской конференции по астрономии и геофизике. Иркутск, 2011. С. 19.

8. Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А., Адамович А.Н., Лобацкая Р.М., Лысак С.В., Леви К.Г. Разломообразование в литосфере. Новосибирск: Наука, 1992. 240 с.

9. Griffiths D.H., Barker R.D. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology // Journal of Applied Geophysics. 1993. Vol. 29. P. 211–226.

10. Kuria Z.N., Woldai T., van der Meer F.D., Barongo J.O. Active fault segments as potential earthquake sources: Inferences from integrated geophysical mapping of the Magadi fault system, southern Kenya Rift // Journal of African Earth Sciences. 2010. Vol. 57. P. 345–359.

11. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. М.: Недра, 1990. 501 с.

12. Пылаев А.М. Руководство по интерпретации вертикальных электрических зондирований. М.: Недра, 1968. 148 с.

Reference

1. Peive A.V. *Izbrannyye trudy: Glubinye razlomyy i ikh rol' v stroenii i razviti zemnoi kory* [Deep faults and their role in the

structure and development of the Earth crust]. Moscow: Nauka Publ., 1990, 352 p. (In Russian).

2. Makarov V.I., Shchukin Yu.K. Evaluation of hidden fault activity. *Geotektonika* [Geotectonics], 1979, no. 1, pp. 96–109. (In Russian).

3. Khrenov P.M. *Skrytye zony glubinnykh razlomov skladchatykh oblastei i platform (na primere yuga Vostochnoi Sibiri)* [Hidden zones of deep faults in folded areas and platforms (on example of the south of Eastern Siberia)]. *Glubinnye razlomy yuga Vostochnoi Sibiri i ikh metallogenicheskoe znachenie* [Deep faults of the south of Eastern Siberia and their metallogenic significance]. Moscow: Nauka Publ., 1971, pp. 5–38. (In Russian).

4. Eskin A.Yu., Serebrennikov S.P., Bryzhak E.V. *Rezultaty sovremennykh geofizicheskikh izmerenii v zone mogodskogo razloma* [Results of modern geophysical measurements in the zone of the Mogod fault]. *Materialy III Vserossiiskogo soveshchaniya i II Vserossiiskoi molodezhnoi shkoly po sovremennoi geodinamike* [Proceedings of III All-Russian Meeting and II All-Russian Youth School on Contemporary Geodynamics]. Irkutsk, 2016, p. 85. (In Russian).

5. Lyakhovitskii F.M., Khmelevskoi V.K., Yashchenko Z.G. *Inzhenernaya geofizika* [Engineering geophysics]. Moscow: Nedra Publ., 1989, 252 p. (In Russian).

6. Dzhurik V.I., Serebrennikov S.P., Batsajhan C. *Otazhenie pripoverhnostnykh zon krupnykh razlomov Sibiri i Mongolii v geofizicheskikh poljah* [Reflection of near-surface large fault zones of Siberia and Mongolia in geophysical fields]. *XXXVII tektonicheskoe soveshchanie: sbornik nauchnykh trudov* [XXXVII Tectonic Meeting: Collection of scientific articles]. Vol. 2. Moscow: GEOS Publ., 2005, pp. 202–205.

(In Russian).

7. Dzhurik V.I., Eskin A.Yu., Serebrennikov S.P., Bryzhak E.V., Usynin L.A., Batsaikhan Ts. *Vyyavlenie zon razlomov i oslablennykh uchastkov gornyykh porod v raionakh Mongolii s pomoshch'yu maloglubinnoi geofiziki* [Using shallow geophysics to identify fault zones and weakened sections of rocks in the regions of Mongolia]. *Tezisy dokladov IX Rossiisko-Mongol'skoi konferentsii po astronomii i geofizike* [Abstracts of the reports of IX Russian-Mongolian Conference on Astronomy and Geophysics.]. Irkutsk, 2011, p. 19. (In Russian).

8. Sherman S.I., Seminskii K.Zh., Bornyakov S.A., Adamovich A.N., Lobatskaya R.M., Lysak S.V., Levi K.G. *Razlo-moobrazovanie v litosfere* [Faulting in lithosphere]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1992, 240 p. (In Russian).

9. Griffiths D.H., Barker R.D. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics*, 1993, vol. 29, pp. 211–226.

10. Kuria Z.N., Woldai T., van der Meer F.D., Barongo J.O. Active fault segments as potential earthquake sources: Inferences from integrated geophysical mapping of the Magadi fault system, southern Kenya Rift. *Journal of African Earth Sciences*, 2010, vol. 57, pp. 345–359.

11. Ogil'vi A.A. *Osnovy inzhenernoi geofiziki* [Fundamentals of engineering geophysics]. Moscow: Nedra Publ., 1990, 501 p. (In Russian).

12. Pylaev A.M. *Rukovodstvo po interpretatsii vertikal'nykh elektricheskikh zondirovaniy* [Guide to the interpretation of vertical electrical sounding]. Moscow: Nedra Publ., 1968, 148 p. (In Russian).

Критерии авторства

Ескин А.Ю., Джурик В.И., Серебренников С.П., Брыжак Е.В. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Authorship criteria

Eskin A.Yu., Dzhurik V.I., Serebrennikov S.P., Bryzhak E.V. have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.