

Применение электротомографии при изучении тектонических разломов в Южной Якутии

А.Д.Скобелев* (ООО «НПЦ Геоскан»), М.И.Богданов (ООО «ИГИИС»), И.Н.Модин (Геологический ф-т МГУ им.М.В.Ломоносова/ООО «НПЦ Геоскан»)

Введение

При проектировании подземных (туннели, горизонтальные и наклонные штольни шахт, хранилищ) и наземных линейных сооружений (трубопроводы, ЛЭП, автомобильные и железные дороги) в районах с активной тектоникой неминуемо приходится пересекать разрывные нарушения. Наличие на участке современных тектонических структур нередко оказывается неблагоприятным для строительства. Тектоническое влияние на строительство может быть как активным, так и пассивным. Активное влияние возникает вследствие современных тектонических и сейсмотектонических движений. Пассивное реализуется через степень нарушенности залегания горных пород и присутствие в районе строительства тех или иных тектонических структур [Несмеянов С.А., 2012]

В зависимости от типа нарушения принимаются различные технологические решения, направленные на компенсацию возможных негативных воздействий на объект. Таких как сжимающие, растягивающие или сдвиговые усилия.

Для получения наиболее полной картины строения разломных зон, как правило, применяется комплекс геолого-геоморфологических и геофизических методов, тренчинга. Из геофизических методов могут применяться сейсмические методы (MASW, МПВ), электроразведка (ВЭЗ, георадар, электротомография), а также магниторазведка и гравиразведка [Сясько А.А. и др, 2015; Овсяченко А.Н. и др, 2012; Несмеянов С.А., 2012; Kh.Quargori et al, 2012; A. Kürçer et al, 2008; K. Vanneste et al, 2006].

В докладе рассмотрен опыт применения электрической томографии (ЭТ) для изучения двух тектонических разломов располагающихся в Южной Якутии в районе г.Нерюнгри. Будем называть изучаемые разломы «Северный» и «Южный» по их взаимному расположению. Целью настоящих исследований послужило уточнение представлений о строении этих разломов для их учета при проектировании трубопровода.

Методика исследований

Геофизические работы методом электротомографии (ЭТ) выполнялись при помощи электроразведочной станции «Омега-48» (ООО «Логические системы», г. Раменское). Использовались косы с шагом между электродами 5 м. Измерения выполнялись по трём протоколам, с использованием комбинированной трехэлектродной, диполь-дипольной и инверсной установки Шлюмберже. Максимальный разнос для трехэлектродной установки составил 212.5 м, минимальный – 7.5 м. Для диполь-дипольной: 150 м и 10 м, инверсной Шлюмберже: 87.5 м и 7.5 м соответственно.

Северный разлом хорошо проявляется в рельефе в виде уступа высотой 10-12 м. Электротомография здесь выполнена по сети из 6 профилей в двух направлениях, 3 вкрест простирания разлома и 3 вдоль. Южный разлом, напротив, в рельефе выражен слабо. Также существуют разночтения в определении его расположения. Поэтому ЭТ здесь выполнена на двух участках (1 и 2), расположенных в 2.5 км друг от друга

Обработка данных электротомографии сводилась в основном к отбраковке случайных вылетов данных и вводе рельефа. Инверсия проводилась совмещенным данным (с трёх протоколов) в программе Res2DInv (GeoTomo, Малайзия).

Результаты и обсуждение

Результаты инверсии данных для Северного приведены на рисунке 1.

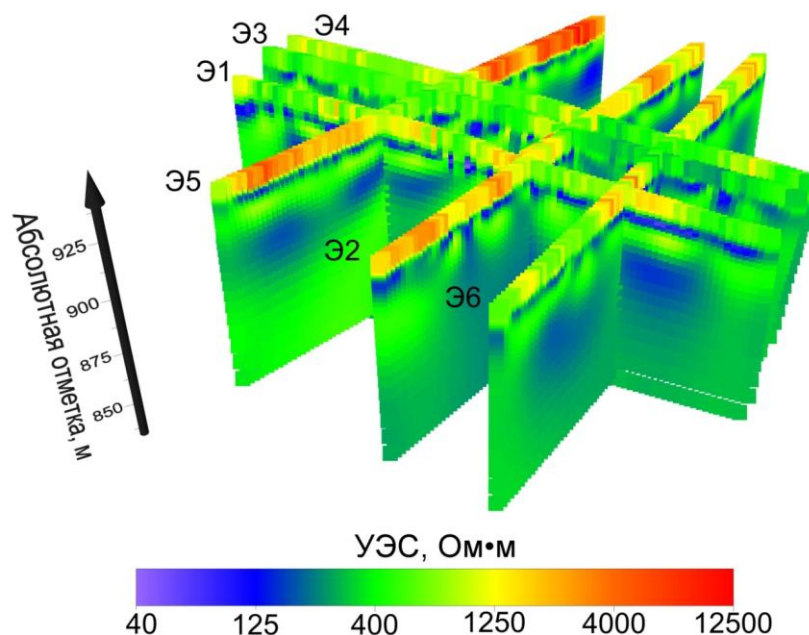


Рисунок 1. 3D представление двумерных результатов инверсии на Северном тектоническом разломе. Профили Э1, Э3 и Э4 расположены вкрест разлома.

Геоэлектрические разрезы от профиля к профилю довольно похожи. Геоэлектрический разрез имеет преимущественно пятислойный тип НКН (Рис.2). Одномерный подбор для средней кривой ВЭЗ приведен на рисунке 2. Модель для одномерной интерпретации приведена в Таблице 1. Точность подбора для такой модели составляет около 3.1%.

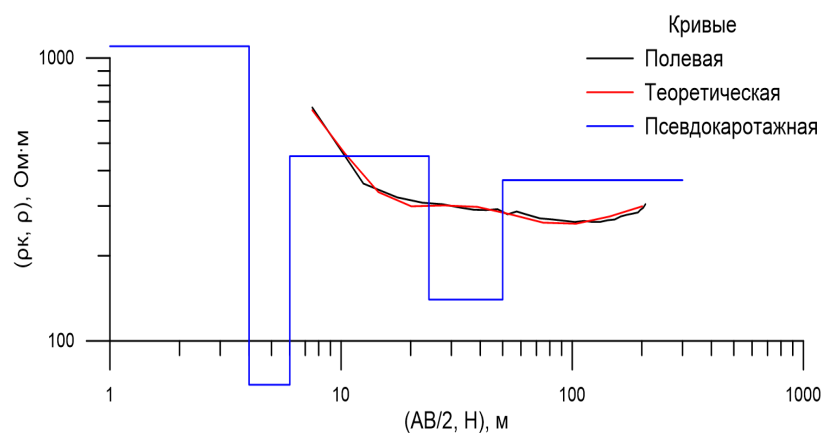


Рисунок 2 Средняя кривая ВЭЗ и результаты одномерного подбора кривой ВЭЗ.

Таблица 1. Параметры одномерного подбора для средней кривой ВЭЗ

№слоя	УЭС, Ом·м	Мощность, м	Глубина, м
1	1100	4	4
2	70	2	6
3	450	16	24
4	140	26	50
5	370		

Литологически, описываемый разрез в верхней части представлен щебенистым грунтом с супесчаным заполнением суммарной мощностью до 6 м. Первый от поверхности слой

обладает сопротивлениями около 1100 Ом·м, характерными для сухого щебня. Второй геоэлектрический слой характеризуется аномально низкими сопротивлениями около 50-70 Ом·м. Такое падение сопротивлений объясняется повышением уровня засоленности грунтов. По лабораторным исследованиям общая засоленность меняется от $D_{sal}=0.02\%$ на поверхности, до $D_{sal}=0.13\%$ на глубинах 3-4 м. Предположительно, повышение засоленности вызывается вымораживанием солей из верхней части разреза во время промерзания деятельного слоя.

Основанием разреза служат угленосные алевролиты и песчаники юрского возраста. Их мощность здесь может достигать 400 м, согласно данным геологической съёмки. Среднее сопротивление составляет около 370-450 Ом·м. Внутри толщи выделяется слой с сопротивлением 140-200 Ом·м и мощностью до 25 м., Уменьшение сопротивления в 2 раза вероятно вызвано изменением мерзлого состояния массива. Многолетнемерзлые породы на данной территории имеют массивно-островное распространение, а талики могут быть приурочены к водоразделам [Железняк М.Н., 2007]. Географически, место проведения работ располагается на склоне сопки с южной экспозицией.

На профилях крест простирания разлома (Э1, Э3 и Э4) выделяются три зоны повышенной дифференциации удельных сопротивлений и нарушения горизонтальной стратификации грунтов. Зоны имеют южное падение под углом около 60° . Две крайние зоны характеризуются пониженными значениями сопротивлений, а внутренняя, напротив, повышенными. Эти зоны хорошо согласуются с сейсморазведочными данными. На рисунке 3 показан геоэлектрический разрез по профилю Э3. Кроме электротомографии, на этом же разломе были проведены сейсморазведочные работы методом МПВ. Данные двух методов хорошо согласуются между собой (рис.3).

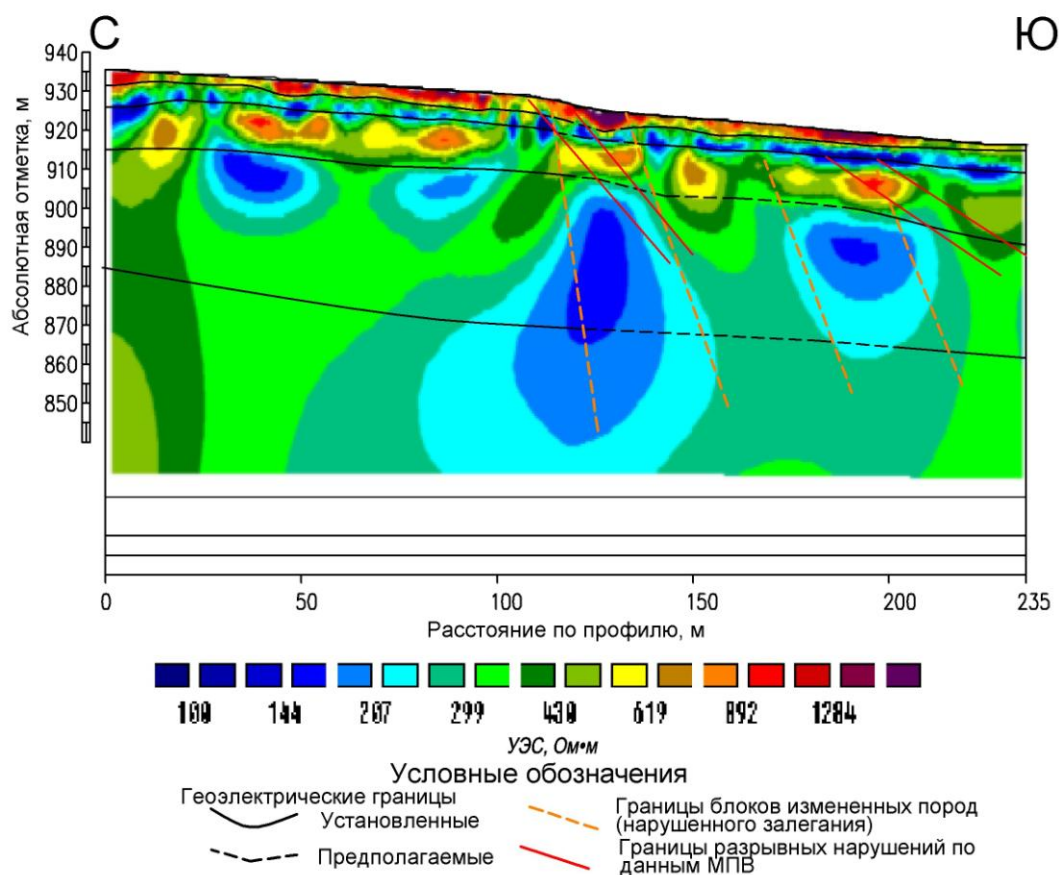


Рисунок 3 Геоэлектрический разрез по профилю Э3. Показаны границы блоков по данным ЭТ и разломные зоны по данным МПВ.

Перейдём к рассмотрению результатов электротомографии на Южном тектоническом разломе. Геологическая ситуация здесь совершенно другая. По данным геологической съемки основание разреза представлено кристаллическими сланцами, гнейсами и кварцитами архейского возраста. На рисунках 4 и 5 показано 3D представление данных двумерной инверсии на участках 1 и 2 Южного разлома.

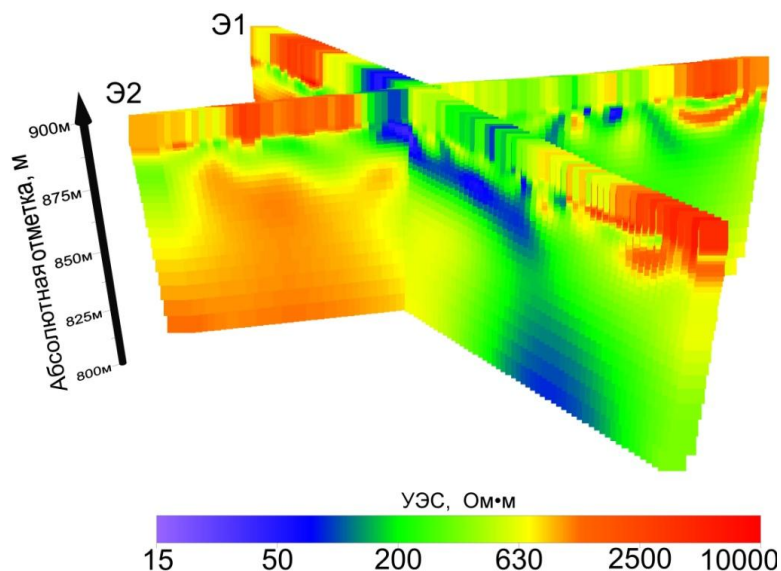


Рисунок 4 3D представление двумерных данных ЭТ на участке 1 Южного тектонического разлома.

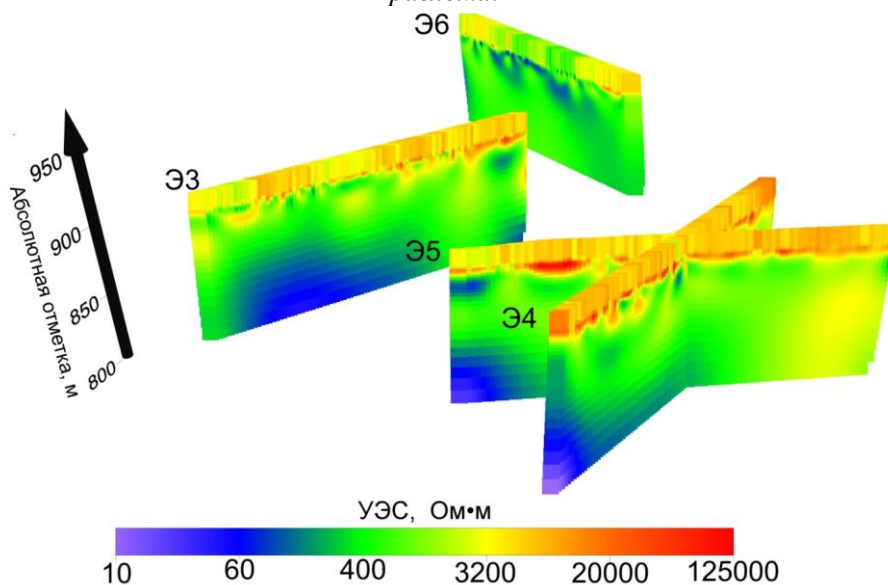


Рисунок 5 3D представление двумерных данных ЭТ на участке 2 Южного тектонического разлома.

Как хорошо видно на рисунке 4 предполагаемая разломная зона выделяется в виде яркой низкоомной аномалии, располагающейся сначала субгоризонтально и затем уходящей вглубь под углом падения около 60° . Рассмотрим один из профилей более подробно, например, профиль Э1 (Рис.6).

По результатам электрической томографии видно, что геоэлектрический разрез имеет двухслойное строение и разделен в районе пикета 100 м зоной с аномально низкими (50-80 Ом·м) сопротивлениями. Ширина этой зоны составляет около 25-30 м. Сверху залегают

сухие грубообломочные породы мощностью от 10 до 20 м и сопротивлением 2000-3000 Ом·м. В районе аномальной зоны, вероятно, этот слой также сохраняется, однако его сопротивление уменьшается до 500-600 Ом·м, что может быть вызвано большей увлажненностью этих пород. Стоит отметить, что согласно полевым данным резистивиметрии сопротивление воды на этом участке работ составляет около 500-600 Ом·м. В основании разреза лежат нерасчлененные породы кристаллического фундамента (гнейсы, сланцы, кварциты) с сопротивлением около 1000-2000 Ом·м.

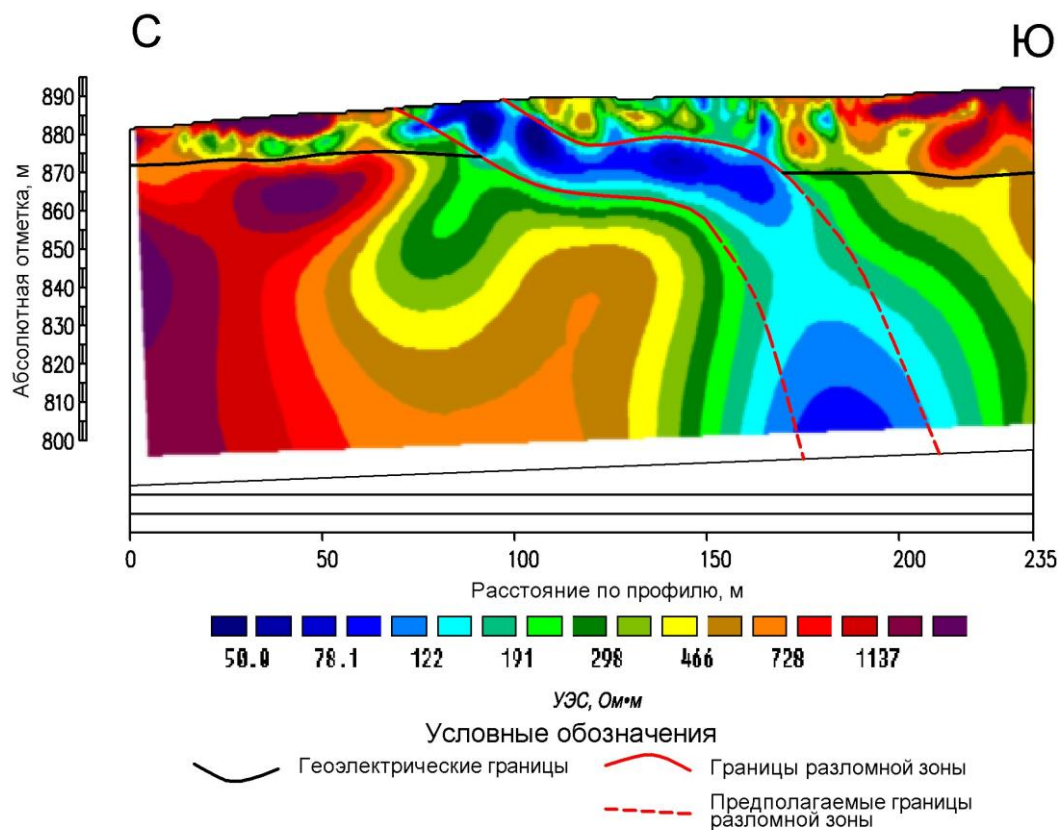


Рисунок 6 Геоэлектрический разрез по профилю Э1 на Южном тектоническом разломе.

Схожее геоэлектрическое строение можно наблюдать и на профиле Э6 (Рис.5), положение которого выбрано исходя из данных лазерного сканирования рельефа. Этот профиль расположен в 2.5 км к востоку от профилей Э1, Э2. Субгоризонтальная низкоомная зона, уходящая на глубине под сопку, также видна и здесь

Выводы

На основании проведенных электроразведочных работ можно заключить, что геологическое строение в пределах изученного участка на Северном тектоническом разломе двухслойное. Сверху залегает щебенистый грунт с супесчаным заполнением, суммарной мощностью 5-6 м. К низу засоленность грунта увеличивается. Основание разреза представлено переслаиванием песчаников и алевролитов юрского возраста, вероятно, содержащего талый слой на глубинах около 25 м. Разломная зона по данным электротомографии выделяется как зона повышенной дифференциации удельных сопротивлений и нарушения горизонтальной стратификации грунтов в виде трех уходящих вглубь зон повышенного (внутренняя) и пониженных (крайние) сопротивлений.

На Южном тектоническом разломе на двух участках работ удалось выделить зону шириной до 30 м с аномально низкими значениями сопротивлений. Зона в верхней части до глубин около 25-30 м располагается под углом 30° относительно поверхности земли и уходит

вглубь под сопку с углом падения около 60° . Зона выделяется на трех независимых профилях в пределах полосы, прослеживаемой на данных лазерного сканирования рельефа.

Полученные результаты показывают, что электрическая томография является весьма полезным инструментом в составе инженерно-геологических методов при изучении зон тектонических нарушений.

Библиография

1. Железняк М.Н., Митин Ф.В., Геокриологические опасности по трассе нефтепровода ВСТО в пределах Чульманской впадины. Вестник ЯГУ, 2007г, том4 №2.
2. Несмеянов С.А. Инженерная геотектоника. М.: Наука. 2004, 780 с. Компьютерный вариант 2012г, 560 с.
3. Овсяченко А.Н., Калинина А.М., Аммосов С.М., Вакарчук Р.Н., Новиков С.С., Ларьков А.С., Мараханов А.В. Использование сейсморазведки методом MASW в сеймотектонических исследованиях (На примере Дальнего Востока России). Инженерные изыскания №2/2013г стр. 40-50.
4. Сясько А.А., Кузнецова К.С. Выделение разрывных нарушений по комплексным геолого-геофизическим данным. Электронный журнал «Современные проблемы науки и образования» №2 (часть 1) за 2015г.
5. Akın Kürçer, Alexandros Chatzipetros, Salih Zeki Tutkun, Spyros Pavlides, Özkan Ateş, Sotiris Valkaniotis. The Yenice–Gönen active fault (NW Turkey): Active tectonics and palaeoseismology. Tectonophysics 453 (2008) 263–275.
6. Kh. Qarqori, M. Rouai, F. Moreau, G. Saracco, O. Dauteuil, D. Hermitte, M. Boualoul, and C. Le Carlier de Veslud. Geoelectrical tomography investigating and modeling of fractures network around Bittit Spring (Middle Atlas, Morocco). International Journal of Geophysics. Volume 2012 (2012), Article ID 489634, 13 pages.
7. K. Vanneste, A. Radulov, P. De Martini, G. Nikolov, T. Petermans, K. Verbeeck, T. Camelbeeck, D. Pantosti, D. Dimitrov and S. Shanov. Paleoseismologic investigation of the fault rupture of the 14 April 1928 Chirpan earthquake (M 6.8), southern Bulgaria. Journal of geophysical research, vol. 111, 2006.

Контактная информация

Скобелев Алексей Денисович – askobelev.msu@gmail.com, ООО «НПЦ Геоскан», 119192, Москва. Ломоносовский проспект 95