

УДК 550.348

ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ ПО ТРАССЕ ГАЗОПРОВОДА МЕТОДОМ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ

Джурик В.И., Серебренников С.П., Ескин А.Ю., Брыжак Е.В.

ФГБУН «Институт земной коры» СО РАН, Иркутск, e-mail: eskin@crust.irk.ru

В статье показаны возможности метода вертикальных электрических зондирований при изучении различных типов тектонических нарушений. Обследование проводилось вдоль трассы магистрального газопровода Южная Ковыкта – Ангарск – Иркутск до н. п. Качуг. При исследованиях была охвачена Жигаловская структура, представляющая собой систему разломов, образующую зону шириной 5–12 км и длиной до 200 км и другие тектонические нарушения, расположенные между населенными пунктами Жигалово и Качуг. По результатам работ были выделены зоны разломов как выходящие на поверхность или выраженные в рельефе, так и перекрытые осадочными породами. По данным ВЭЗ в полученных разрезах с глубиной выделяются слои с различным сопротивлением. Их мощности варьируют в широких пределах. Сами слои также разделяются на «блоки» с различным сопротивлением. Причиной такого разделения могут служить несколько факторов: различная степень водонасыщения, минерализация грунтовых вод и зоны повышенной трещиноватости относительно активных тектонических нарушений, расположенных в пределах кристаллического фундамента.

Ключевые слова: трасса газопровода, зоны тектонических нарушений, разломы, вертикальные электрические зондирования, удельное электрическое сопротивление, геофизический профиль, геоэлектрический разрез

INSPECTION OF TECTONIC INFRINGEMENTS ON A LINE OF A GAS PIPELINE A METHOD VERTICAL ELECTRIC SOUNDING

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

*Institute of the Earth's Crust Siberian Branch of the Russian Academy of Science,
Irkutsk, e-mail: eskin@crust.irk.ru*

In article possibilities of a method vertical electric sounding are shown at studying of various types of tectonic infringements. Inspection was spent along a line of the main gas pipeline Southern Kovykta-Angarsk-Irkutsk to n. The item of Kachug. At researches the Zhigalovsky structure representing system of breaks, forming zone in width of 5–12 km and to 200 km and other tectonic infringements located between settlements Zhigalovo and Kachug has been captured length. By results of works zones of breaks as leaving on a surface or expressed in a relief, and blocked by sedimentary breeds have been allocated. According to ВЭЗ in the received cuts with depth layers with various resistance are allocated. Their capacities vary largely. Layers as are divided into «blocks» with various resistance. As the reason of such division some factors can serve: Various degree of water saturation, mineralization of ground waters and a zone raised fracturing concerning the active tectonic infringements located within the crystal basement.

Keywords: a line of a gas pipeline, a zone of tectonic infringements, breaks, vertical electric sounding, specific electric resistance, a geophysical profile, a geoelectric cut

Активные тектонические движения плиоцен-четвертичного времени затронули и стабильную Сибирскую платформу, особенно выступ Иркутского амфитеатра, вызвав общее поднятие, на фоне которого появились блоковые движения, сформировавшие как положительные, так и отрицательные морфоструктуры. Активизировались и некоторые разломы, что нашло отражение на картах неотектоники и разрывных нарушений, изданных в 1978, 1981, 1982 и 1988 гг.

Платформы, как и подвижные пояса, находятся в напряженном состоянии [4]. Однако из-за более монолитной среды накопление напряжений в них до предельных величин происходит за более длительный период, чем в подвижных по-

ясах. Разрядка напряжений в платформенных областях все же происходит в самых ослабленных зонах, с наличием которых связана геологическая и сейсмическая опасность. Поэтому при проектировании и возведении объектов промышленного и гражданского строительства крайне важно обнаружение и изучение этих зон, тем более когда ослабленная зона перекрыта осадочными породами.

Магистральный газопровод (рис. 1) Южная Ковыкта – Ангарск – Иркутск до пос. Качуг (первая очередь) является таким объектом и полностью проходит по территории с исходной сейсмической опасностью в 8 баллов, пересекая только одну из таких зон, проявлявших активность в кайнозойе. Это Жигаловская грабенообразная

структура, представляющая собой систему разломов шириной 5–12 км и длиной до 200 км [7]. В ней выделяются Чиканская и Тыптинская области максимального понижения, разделенные Рудовской перемычкой. Эта структура как бы отчленяет юг Иркутского амфитеатра по линии, соединяющей рифтовые впадины северо-восточного и юго-западного флангов Байкальской рифтовой зоны.

Основные черты геологического строения

Детальная структура зоны активного Жигаловского разлома в районе пересечения ее трубопроводом рассмотрена в специальном отчете 1995 года А.В. Чипизубова и С.Г. Аржанникова и представлена на рис. 2. На схему активных разрывов вынесены разрывы, точно активные в кайнозое, предположительно активные в кайнозое

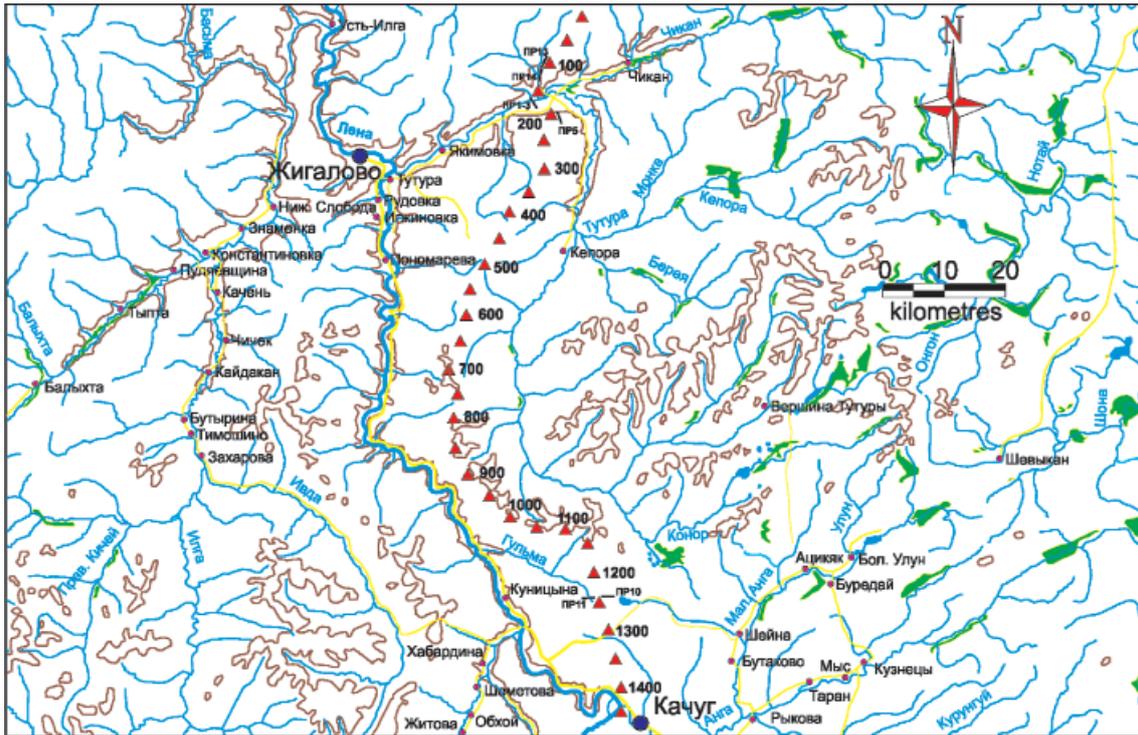


Рис. 1. Схема расположения электроразведочных профилей по трассе газопровода

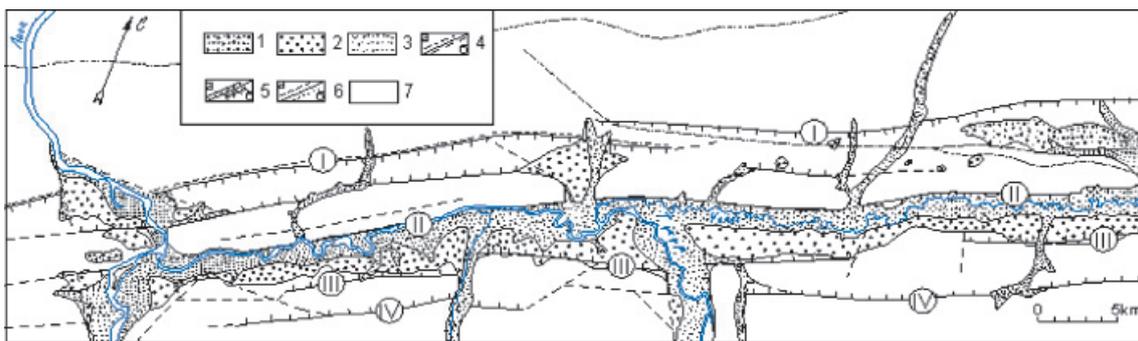


Рис. 2. Схема активных разломов Чиканского отрезка Жигаловской грабенообразной структуры [по 7]:
 1–3 – четвертичные отложения: 1 – нижнечетвертичные (Q_1 и Q_2); 2 – среднечетвертичные (Q_{2-3}); 3 – верхнечетвертичные (Q_3 и Q_4); 4–6 – разрывные нарушения (римскими цифрами обозначены разломы: I – Северо-Жигаловский; II – Северо-Чиканский; III – Южно-Чиканский; IV – Южно-Жигаловский); 4 – древние разломы, установленные по геологическим (а) и предполагаемые по геоморфологическим (б) данным; 5 – активные новообразованные, не установленные при геологической съемке (а) и активизированные (б); 6 – предположительно активные (а) и активные, скрытые четвертичными отложениями (б); 7 – палеозойские образования осадочного чехла платформы

и зоны разломов не испытывавшие активации. Среди последних имеются как установленные, так и не установленные по геологическим данным. К активным разломам отнесены разрывы, выраженные в рельефе макроуступами высотой 100 м и более. Все они хорошо дешифруются на аэрофотоснимках и отчетливо проявляются на картах объемного рельефа (3D). Однако следует отметить, что не все они установлены при геологической съемке. В одних случаях это, по-видимому, новообразованные разрывы, не имеющие зон метаморфизма и вещественной переработки. В других – зоны разломов скрыты под четвертичными отложениями, главным образом голоценового возраста.

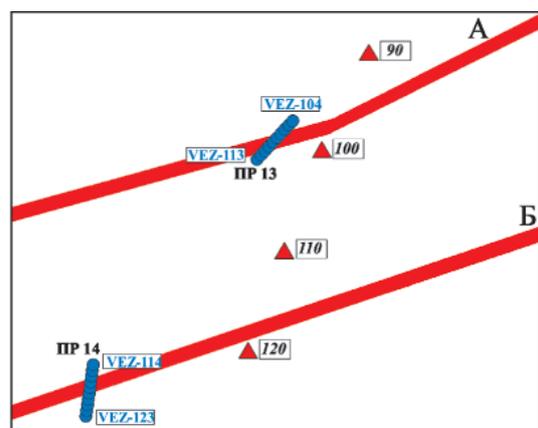
В формировании Чиканского сегмента рассматриваемой грабенообразной структуры можно выделить два этапа. На первом, начавшемся, по-видимому, в позднем плиоцене и завершившемся в начале плейстоцена, грабен оформился в виде близком к современному, но с меньшей амплитудой опускания дна. На втором, в середине четвертичного периода, структура грабена осложнилась. По мере дальнейшего опускания дна, в его центральной части по Северо-Чиканскому и Южно-Чиканскому разломам заложился более узкий (4 км) грабен. Одновременно шло формирование приразломного грабена у Северо-Жигаловского разлома. В результате этого между Чиканским и приразломным грабенами образовался горстообразный блок шириной до 3 км, который прорезается рекой Леной.

Таким образом, основными структурообразующими разрывами рассматриваемого грабена все же остаются Северо-Жигаловский и Северо-Чиканский сбросы, а Южно-Чиканский и Южно-Жигаловский сбросы поперечными разрывами делятся на отдельные фрагменты и играют подчиненную роль в структурообразовании. Первые два сброса интерпретируются как места возможных остаточных сейсмоструктурных деформаций в зоне Жигаловского разлома, причем вероятность возникновения последних и их масштаб в зоне Северо-Чиканского сброса выше и больше. Поскольку тектонические нарушения на поверхности не выражены, детальная (точная) трассировка разрывных нарушений в местах пересечения их трассой газопровода возможна только геофизическими методами.

Результаты геофизических исследований и их обсуждение

Для решения сформировавшейся проблемы использовались в основном данные

электроразведки, полученные при производстве вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) [1]. Метод выбран не случайно. Глубина исследования данного метода при благоприятных геоэлектрических условиях при длине питающей линии АВ равной 450 метров достигает 100 м и более. Также была выполнена сейсморазведка методом преломленных волн, глубина исследования которого ограничена 20–30 м. Поэтому её применение использовалось для качественной оценки состояния приповерхностной зоны разреза по пройденным электроразведочным профилям.



- VEZ-104 - пункты электрозондирования
- ▲ - пикетаж трассы
- - зона разлома

Рис. 3. Расположение пунктов геофизических измерений на участке предполагаемого пересечения зоны Северо-Жигаловского разлома:
А – северная кулиса; Б – южная кулиса

Стоит отметить, что поставленная задача решается только в первом приближении, так как в зоне активных разломов (по ширине) до нескольких километров практически выделяются блоки пород с различными физическими свойствами. Но всё же в сочетании с данными оценок сейсмической опасности основания газопровода они дают достаточно объективную информацию для проектирования последнего. Такие исследования необходимы по всей трассе, потому что самая верхняя часть разреза несет наиболее доступную информацию о предшествующих событиях последних лет, а следовательно, и о прогнозе возможных смещений на участках пересечения газопровода зон разломов [1–3, 8].

При производстве электроразведочных измерений применялась специальная

цифровая аппаратура «Электротест-С» [Россия, 2006]. Эта аппаратура имеет встроенное питание для линии АВ и может работать в режиме как постоянного, так и переменного тока. Кроме того, в ней имеется три режима

накопления при измерениях, что позволяет использовать «Электротест-С» в условиях электрических помех, то есть в городах и населенных пунктах, а также на территориях промышленных предприятий [5, 6, 9].

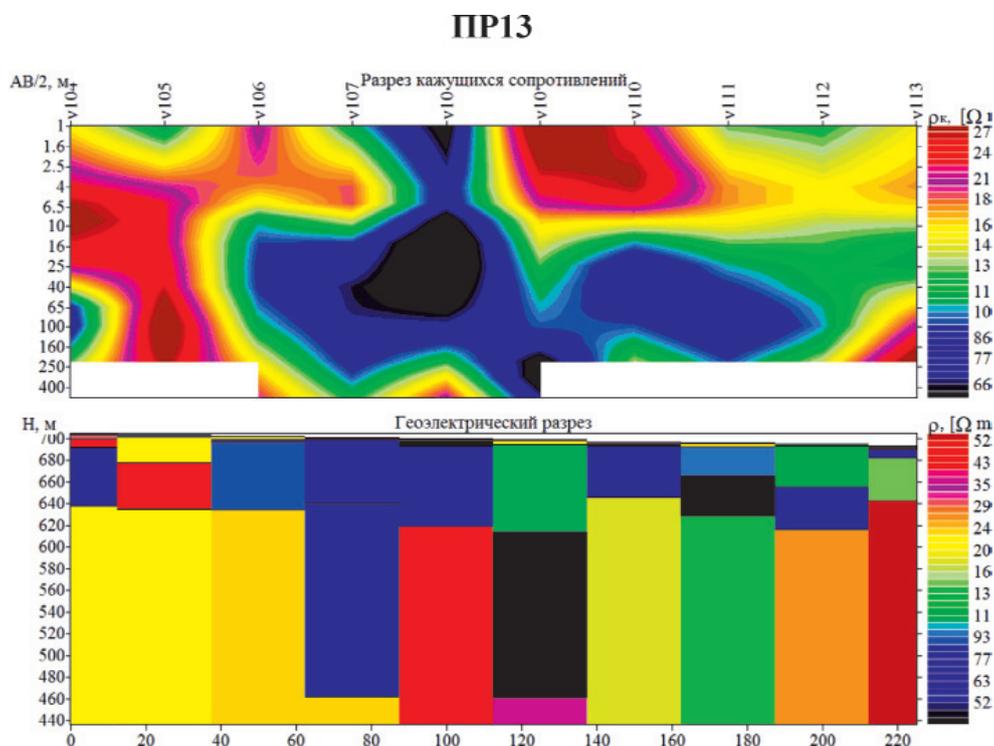


Рис. 4. Разрез кажущихся сопротивлений и геоэлектрический разрез по профилю ПР13

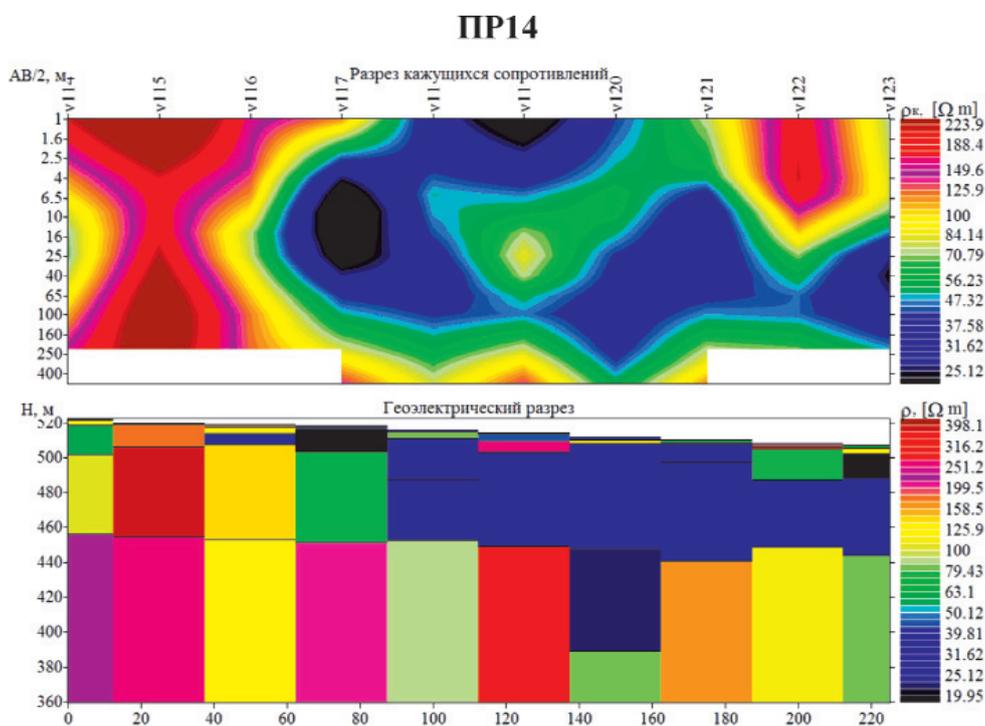


Рис. 5. Разрез кажущихся сопротивлений и геоэлектрический разрез по профилю ПР14

Результаты измерений заносятся в энергезависимую память прибора. Для решения поставленной задачи выбрана симметричная установка AMNB, разности питающей линии АВ которой достигают 440 м. Это позволяет при благоприятных геоэлектрических условиях изучить распределение электрических сопротивлений до глубины 70 м и более. Ошибка измерений не более 5% обеспечивается путем повторных замеров, а также независимым контролем сравнения данных измерений на соседних точках. Привязка осуществлялась по пикетам газопровода и с помощью GPS-геодезии. По изложенной методике исследовано шесть участков пересечения газопровода с вероятными зонами разломов при движении по трассе с севера на юг.

Зону Северо-Жигаловского разлома, состоящую в месте пересечения трубопроводом из двух кулис (рис. 3), трасса газопровода пересекает в районе пикетов 96–98 (северная кулиса) и 117–118 (южная кулиса), которые выражены в рельефе резкими перегибами (уступами) высотой до 100–125 м. Перегибы совпадают с зонами древних разломов, выявленных при геологической съемке. Пересечение этих явно выраженных кулис двумя электроразведочными профилями 13 и 14 выполнено восточнее самой трассы. Это связано с условиями постановки ВЭЗ. Протяженность профилей 250 м, кривые ВЭЗ выполнены с шагом 25 м. Всего поставлено 20 ВЭЗ. Разрезы по профилям представлены на рисунках 4 и 5. По результатам интерпретации кривых ВЭЗ выделено от 4 до 6 слоев до глубины 150 м. Холодными тонами на разрезах показаны слои с пониженными значениями кажущегося сопротивления, а теплыми – слои с высокими значениями. Первые соотносятся с породами повышенной пористости и имеющими большее содержание влаги. Вторые – к коренным породам. Горизонт с пониженными значениями кажущегося сопротивления достаточно уверенно прослеживается в средних частях разрезов, что свидетельствует о наличии аномальных участков по пройденным профилям.

Количественная интерпретация кривых ВЭЗ по этим профилям представлена в виде геоэлектрических разрезов (нижние рисунки на разрезах). Нижний опорный горизонт имеет относительно низкие сопротивления по сравнению с плотными коренными породами и может быть отнесен к сильнотрещиноватым и, как следствие, увлажненным коренным породам. Сами электрические со-

противления на участке исследования имеют незначительный диапазон изменения от 10 до 600 Ом·м.

Верхние слои со значениями электрических сопротивлений более 150 Ом·м отнесены к верхнему слою рыхлых отложений и к слою, представленному наиболее плотными известняками. Слоям со значениями сопротивлений до 100 Ом·м соответствуют разрушенные сильно трещиноватые коренные породы с различной степенью водонасыщения. Нижние слои, имеющие сопротивление более 200 Ом·м, скорее всего, соответствуют относительно сохранным коренным породам.

Аномальные участки с пониженными значениями сопротивлений относятся к ослабленным участкам с повышенной трещиноватостью и, как следствие, повышенной минерализацией грунтовых вод. Что в данном случае свидетельствует о наличии тектонических нарушений на пройденных профилях.

Интерпретация данных ВЭЗ проводилась в таком ключе и для других участков трассы газопровода, осложненных зонами разломов или зонами повышенной трещиноватости.

Следующий участок для постановки ВЭЗ был выбран в зоне пересечения трассой газопровода Северо-Чиканского разлома в районе пикетов 163–165 (рис. 6, А). По зоне разлома пройдено три электроразведочных профиля. Верхняя часть разреза на данном участке представлена мерзлыми грунтами мощностью не менее 10 м. Ослабленные зоны на геоэлектрических разрезах выделены по пониженным значениям сопротивлений с глубины 30 и более метров: на профиле № 1 это ВЭЗ № 8–10 и ВЭЗ № 1–3; на втором – ВЭЗ № 17–20 и ВЭЗ № 11–14; на третьем – ВЭЗ 25–21. Зону Южно-Чиканского разлома трубопровод пересекает в районе пикетов 206–209 (рис. 6, Б), где отмечается резкий переход борта впадины к её днищу. Зона этого разлома перекрыта рыхлыми отложениями голоцена и даже, возможно, среднечетвертичного возраста.

Геоэлектрический разрез до глубины 60–90 м характеризуется умеренным распределением электрических сопротивлений с глубиной, градиент изменений по профилю так же незначителен. Сам разлом относится к древнему, который не проявлял активности в последнее время. Об этом свидетельствуют и полученные данные электроразведки. Кроме того, в подтверждение отмеченных результатов, выполнены

круговые ВЭЗ в предполагаемой зоне древнего разлома и в смежных бортах (рис. 7 и 8). На рисунках видно, что вплоть до разностей $AB/2$ равных 225 м, явных аномалий, не только по глубине, но и по направлению измерений, не наблюдается.

На участке в верховьях р. Гульма (п. Верхоленск) зона древнего разлома не пересекает трассу и с целью установления её метаположения пройдено два профиля: № 10 – длиной

180 м расположен между пикетами 1247 и 1248 и № 11 такой же протяженности, который предполагает зону разлома захватывает примерно с середины. При сравнении их геоэлектрических разрезов очевидно следующее. Согласно описанным выше критериям – ослабленная зона на профиле № 11 с аномально низкими значениями электрического сопротивления на глубинах от 10 до 30 м ограничена пунктом регистрации ВЭЗ № 79.

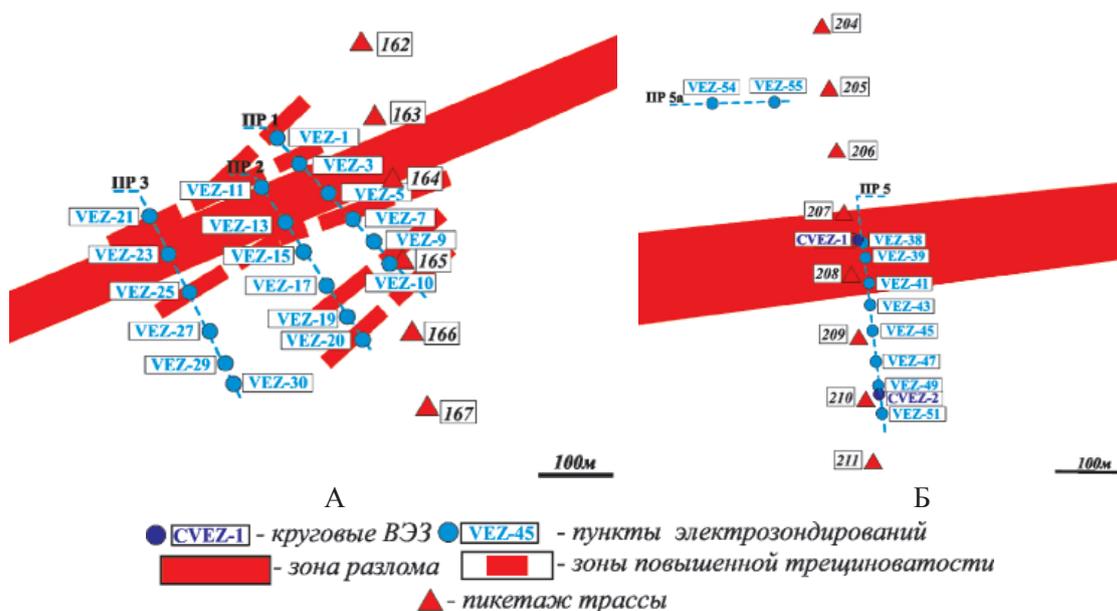


Рис. 6. Расположение пунктов геофизических измерений на участке предполагаемого пересечения зоны разлома: А – Северо-Чиканский разлом (п. Чикан); Б – Южно-Чиканский разлом (п. Чикан)

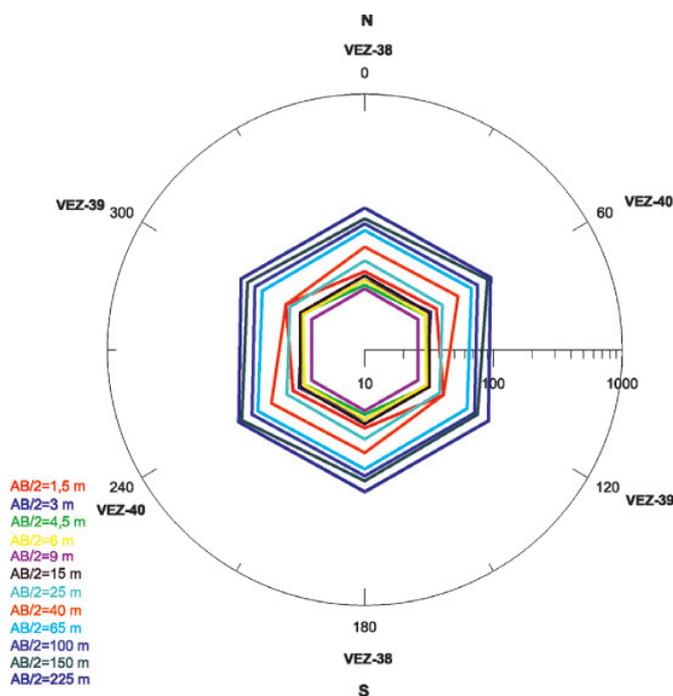


Рис. 7. Диаграмма KBЭЗ-1 (участок Южно-Чиканский разлом, ВЭЗ № 38, ВЭЗ № 39, ВЭЗ № 40)

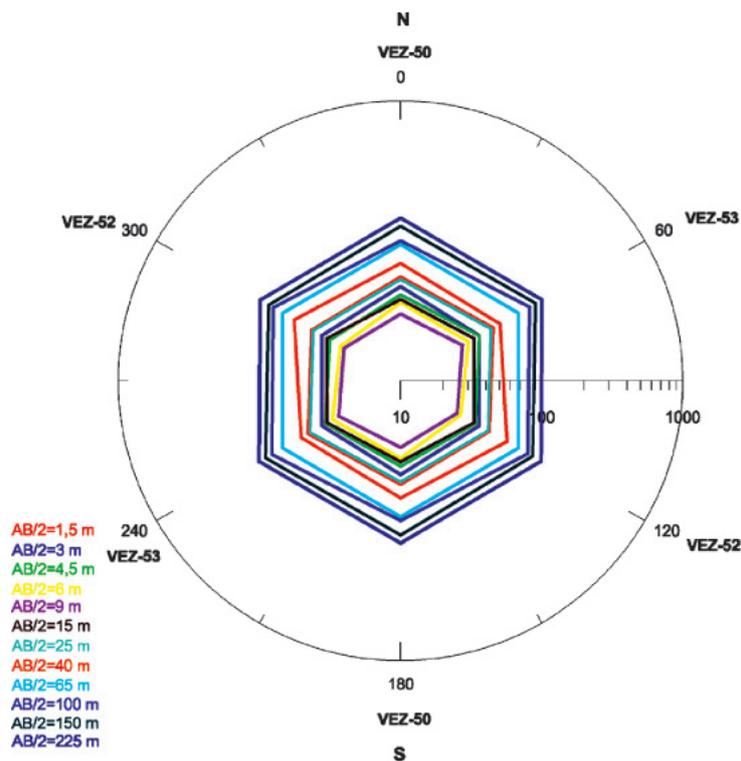


Рис. 8. Диаграмма КВЭЗ-2 (участок Южно-Чиканский разлом, ВЭЗ № 50, ВЭЗ № 52, ВЭЗ № 53)

Ниже этой зоны удельное электрическое сопротивление (УЭС) возрастает и соответствует характеру его распределения по профилю № 10. То есть на последнем зон разломов не выявлено.

Последний из участков обследованных разломов расположен в долине р. Лена (район п. Качуг) на траверзе ручья Заячий. Разлом выражен в рельефе перегибом с изменением высот на разделяемых блоках до 150 м. Кривые ВЭЗ на этом участке представлены следующими типами: КН, АК, ААК. Ослабленная зона, выделенная пройденным профилем № 12, расположена между точками ВЭЗ № 84–87 на глубине более 100 м. Выше выделяется слой мощностью 80–100 м, который имеет УЭС от 200 до 700 Ом·м. В приповерхностной зоне до 10 м неоднородность по сопротивлению увеличивается.

Выводы

Таким образом, по данным ВЭЗ в полученных разрезах с глубиной выделяются слои с различным сопротивлением. Их мощности меняются в широких пределах. Кроме того, сами слои так же разделяются на «блоки» с различным сопротивлением. Причиной такого разделения могут служить несколько факторов: различная степень во-

донасыщения, минерализация грунтовых вод и зоны повышенной трещиноватости относительно современных тектонических нарушений, расположенных в пределах кристаллического фундамента [4].

Список литературы

1. Джурик В.И., Серебренников С.П. и др. Методика комплексных исследований сейсмогрунтовых условий строительства нефтепровода на севере оз. Байкал. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – Сочи: ВНИИТПИ, Российская Академия архитектуры и строительных наук, 2005. – С. 16–20.
2. Инженерная геология и инженерная сейсмология // Геология и сейсмичность зоны БАМ. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1985. – 190 с.
3. Инженерно-сейсмологические и геофизические исследования при инженерных изысканиях для строительства: сб. ст. / Госстрой СССР. Произв. и НИИ институт по инженерным изысканиям в строительстве / отв. ред. Ю.Д. Зыков, С.А. Федоров; АН СССР. – М.: Наука, 1987. – 127 с.
4. Кропоткин П.Н., Ефремов В.Н. Тектонические напряжения на платформах и глобальные вариации сейсмичности // Геотектоника. – 1993. – № 5. – С. 34–36.
5. Ляховицкий Ф.М., Хмелевской В.К., Ященко З.Г. Инженерная геофизика. – М.: Недра, 1989. – 252 с.
6. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. – М.: Недра, 1990. – 501 с.
7. Чипизубов А.В., Аржанников С.Г. Заключение о возможных масштабах сейсмогенных подвижек и их местоположении в зоне Жигаловского разлома. – Иркутск, 1995. – 29 с.
8. Электроразведка. Справочник геофизика. – М.: Недра. – 516 с.
9. IP12Win. Руководство пользователя. – М.: МГУ, Геолог. Ф-т, каф. Геофизики, 2001. – 37 с.