

## Геоэлектрическое строение Селенгинской депрессии по результатам 2D, 3D инверсий архивных данных ВЭЗ

*Е.А. Щекаева<sup>1</sup>, Н. Н. Неведрова<sup>2</sup>, А. М. Санчаа<sup>2\*</sup>*

<sup>1</sup> Новосибирской государственной университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: SanchaaAM@ipgg.sbras.ru

**Аннотация.** В статье представлены результаты повторной интерпретации архивных данных ВЭЗ, полученных на территории Селенгинской депрессии. Построены 2D, 3D геоэлектрические модели с использованием современных средств интерпретации.

**Ключевые слова:** Селенгинская депрессия, Байкальская рифтовая зона, вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ), 2D, 3D инверсия, геоэлектрика

## Geoelectrical structure of the Selenginskaya basin based on 2D, 2D inversions of archival vertical electrical soundings data

*E.A. Schekaeva<sup>1</sup>, N. N. Neverdova<sup>2</sup>, A. M. Sanchaa<sup>2\*</sup>*

<sup>1</sup> Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: SanchaaAM@ipgg.sbras.ru

**Abstract.** In this article we present the results of the archival VES data interpretation carried out on the territory of the Selenga depression, based on 2D, 3D inversions.

**Keywords:** Selenginskaya depression, Baikal rift zone, vertical electrical soundings (VES), 2D, 3D inversions, geoelectric

### *Введение*

Впадины Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) расположены в областях повышенной сейсмической активности, где возможны катастрофические, разрушительные землетрясения. Селенгинская депрессия находится на юго-восточном побережье Байкала в области дельты реки Селенга. Ее площадь составляет примерно 5000 км<sup>2</sup>, длина с юго-запада на северо-восток - 100-120 км, ширина ~ 40-45 км. Дельта Селенги относится к одному из наиболее сейсмоактивных районов БРЗ с возможностью сильных разрушительных землетрясений.

В статье представлены результаты повторной интерпретации уникальных архивных данных вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ), полученных в Селенгинской депрессии Байкальской рифтовой зоны в 50-х годах прошлого века партией Байкальской геофизической экспедиции ПГО «Иркутскгеофизика» (Н. Ф. Пятчин, А. П. Булмасов, В. И. Косов, В. Т. Вебер). В ходе полевых работ применялись четырехэлектродные установки с максимальными расстояниями, достигающими 16 км.

Исследования с использованием этих данных проводились в ИНГГ в 90-х годах прошлого столетия и связаны с образованием Байкальского прогностического полигона, результаты были представлены в ряде статей [1-3]. Для изучения строения Селенгинской депрессии, помимо ВЭЗ, привлекались другие геоэлектрические методы: глубинные зондирования становлением электромагнитного поля (ЗСБ), магнитотеллурические зондирования (МТЗ), верхняя часть разреза изучалась с помощью детальных ЗСБ с передвижным источником. В рамках этих исследований были определены геоэлектрические характеристики среды, выделены такие структуры как Дельтовый разлом, залив Провал, Фофановский разлом, Творогово-Истокское поднятие. Интерпретация данных ВЭЗ в те годы была выполнена с применением программы СОНЕТ (НГУ), в рамках горизонтально-слоистой модели среды. Так же большой вклад в исследования депрессии внесли специалисты Института Земной коры, представившие в своих работах исследования как геологического, геодинамического строения, так и анализ сейсмической активности структур [4, 5].

Селенгинская депрессия сейсмоактивна, глубинные процессы продолжают и в настоящее время. На её территории возникают многочисленные землетрясения, влияющие на геологическое строение и угрожающие населению, в связи с чем исследование таких сейсмоактивных районов актуально, а с появлением новым программных средств, изучение сложно-построенных районов становится более детальным и точным. На данный момент доступны новые современные программные средства: ZondIP1D, ZondRes2D, ZondRes3D, с помощью которых была выполнена переинтерпретация данных ВЭЗ (<http://zond-geo.com/>).

### ***Геологические, геофизические данные, программные средства***

Селенгинская депрессия образовалась в начале постгеосинклинального периода на месте мезозойских структур. В миоцене на высокоомном кристаллическом фундаменте началось активное образование осадочной толщи до 5-7 км, которое проходило в несколько этапов. Вместе с тем формировались сложные разломные структуры, включающие такие крупные элементы как Дельтовый и перпендикулярный к нему Фофановский разломы.

Разломы в области дельты реки Селенги имеют небольшие вертикальные амплитуды и преимущественно имеют сбросово-сдвиговый характер. Некоторая их часть перекрыта мощными кайнозойскими отложениями, поэтому для их изучения привлекались различные геофизические методы. Например, Дельтовый разлом выделяется узкой зоной больших горизонтальных градиентов силы тяжести, отражающая резкое изменение мощности рыхлых отложений (на 500-800 м). К нему же приурочена цепочка линейно-вытянутых магнитных аномалий, которые связаны с интрузиями, внедрившиеся в сравнительно широкую полосу зоны дробления фундамента. Фофановский разлом выделяется главным образом по данным магниторазведки, а в гравитационном поле он проявляется слабо, так как его вертикальная амплитуда невелика.

В строении Селенгинской депрессии участвуют древние кристаллические (архей-нижний палеозой) и мезокайнозойские осадочные образования. В архейский комплекс входят высокометаморфизованные породы (гнейсы, доломиты, амфиболиты и мигматиты). К протерозойскому комплексу относятся интрузивные и осадочно-метаморфические образования. Это разнообразные граниты, либо небольшие поля гнейсо-сланцевых пород и метаморфизованных эффузивов кислого состава. Докайнозойский фундамент вскрыт рядом глубоких скважин. Осадочные отложения представлены глинами, аргиллитами, алевролитами, песчаниками, галечниками, конгломератами неогенового и четвертичного возраста, причем литология пород существенно меняется как по вертикали, так и по простиранию [4-6].

Геоэлектрические исследования 50-х гг. прошлого века были выполнены на территории Селенгинской депрессии методом вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) с установкой Шлюмберже. Минимальный разнос генераторной линии составлял 6 м, а максимальные её размеры достигали 10-16 км. Получены данные хорошего качества с погрешностями в пределах 5-6 %. Пункты ВЭЗ были размещены по профилям. Расстояние между пунктами ВЭЗ в среднем 2,5 км (в отдельных местах 7 км), между профилями от 3 до 5 км. Карта фактического материала ВЭЗ показана на рис. 1.

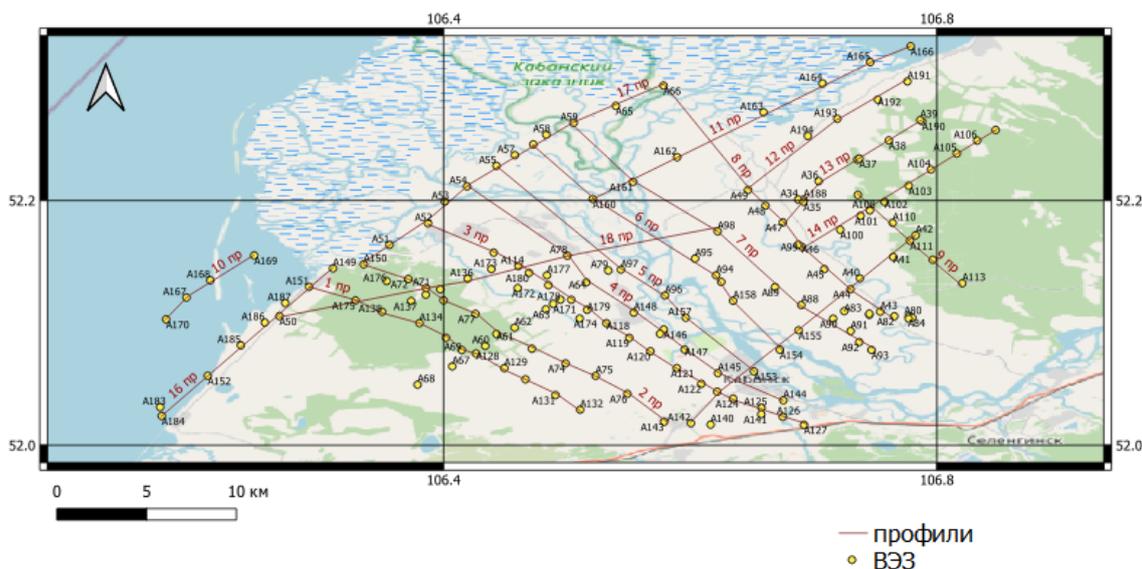


Рис. 1. Схема расположения пунктов ВЭЗ и профилей

На первом этапе интерпретации были взяты геоэлектрические модели, полученные ранее в рамках горизонтально-слоистой модели среды [1, 3], и переведены в формат современного программного комплекса ZondIP1D, выполнены корректировки моделей и построены разрезы. Для составления стартовой модели использовались как подобранные ранее модели, так и данные скважин, геологические материалы. На рисунке 2 представлена скважинная колонка и подобранные

ная геоэлектрическая модель для пункта ВЭЗ 78, наиболее близко расположенного к скважине в районе п. Творогово. Скважина вскрыла породы фундамента протерозойского возраста, представленные гнейсами, на глубине 1809 м. На втором этапе привлечена программа двумерной инверсии ZondRes2D, а на третьем - программа трехмерной инверсии ZondRes3D.

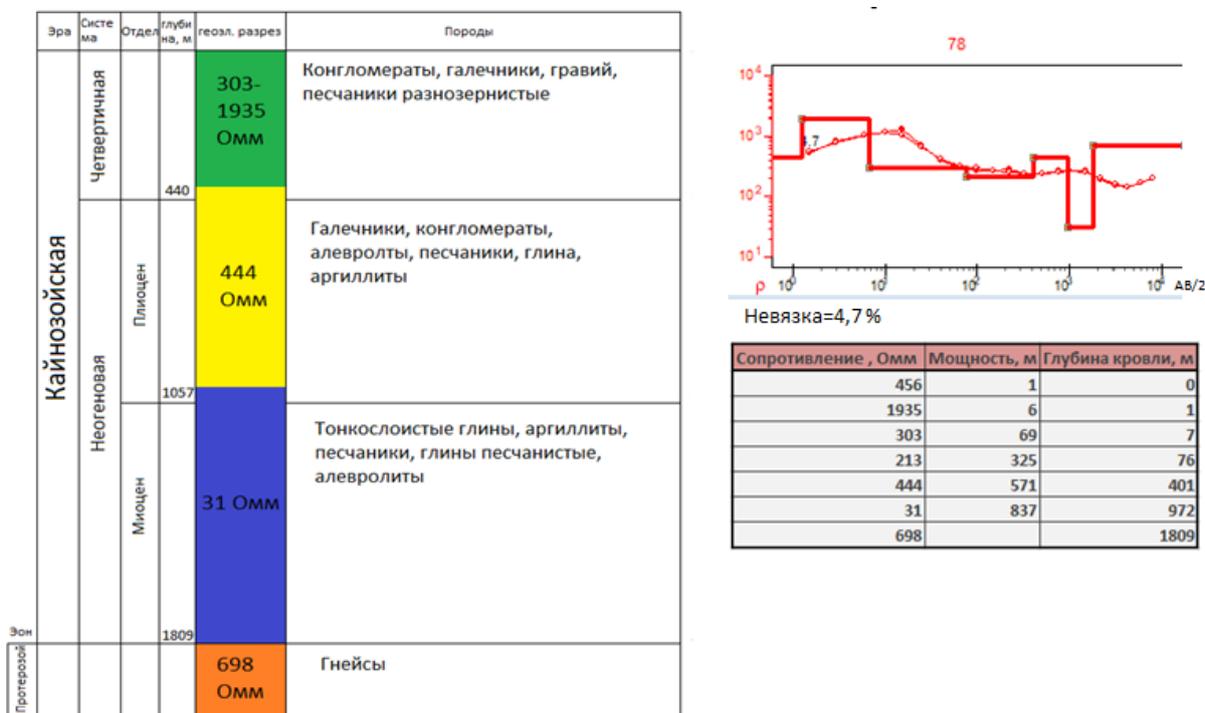


Рис. 2. Привязка кривой ВЭЗ к скважинным данным вблизи п. Творогово (1D интерпретация)

### Результаты

На основе инверсии и по скважинным данным выделяются 4 основных геоэлектрических горизонта  $\rho_1 \geq (\leq) \rho_2 \geq \rho_3 < \rho_4$ . Опорный горизонт  $\rho_4$  - высокоомный, соответствует породам фундамента, пониженные его значения могут быть связаны с трещиноватыми зонами, разломами. Например, в области Творогово-Истокского внутривпадинного поднятия данный горизонт имеет пониженные сопротивления, что, вероятнее всего, связано с образованием трещин в породах, так как в непосредственной близости проходят крупнейшие разломы Селенгинской депрессии - Фофановский и Дельтовый. В остальных районах данный горизонт имеет высокие сопротивления. Самый низкоомный горизонт  $\rho_3$  соответствует тонкослоистым отложениям миоцена. Горизонт  $\rho_2$  выделяется средними сопротивлениями в несколько сотен Ом\*м, его можно отнести к породам плиоцена, причем повышение УЭС соответствует присутствию конгломератов (рис. 1). Горизонт  $\rho_1$  объединяет первых четыре слоя и имеет большой разброс по сопротивлениям на разных участках депрессии, он приурочен к четвертичным отложениям, где состав пород разнообразен (модель для пункта ВЭЗ 78 характеризует этот слой).

Приведем для примера геоэлектрический разрез по профилю 2 (рис.3). Профиль протягивается с северо-запада на юго-восток и проходит в крест простирающую Дельтовую разлома. На разрезе наблюдается достаточно выдержанные по УЭС проводящие осадочные отложения (31-135 Ом\*м). В верхней части до глубин 1000 м выделяются слои с повышенными значениями УЭС (135-1000 Ом\*м), которые можно отнести к породам четвертичного и плиоценового возраста. УЭС фундамента составляет до 860 Ом\*м. Наибольшее поднятие фундамента – до глубины 1000 м, наблюдается на юго-востоке, в сторону фофановской кристаллической перемычки. Пункты ВЭЗ 72, 71 расположены в области Дельтового разлома, поскольку кривые зондирования не вышли на асимптоту, определить глубину до фундамента невозможно. Кроме того, вероятно, пункты ВЭЗ 70, 77 также размещены в области влияния Дельтового разлома. Следует также отметить, что в целом УЭС пород фундамента на этом профиле достаточно низкие, что может свидетельствовать о его трещиноватости.

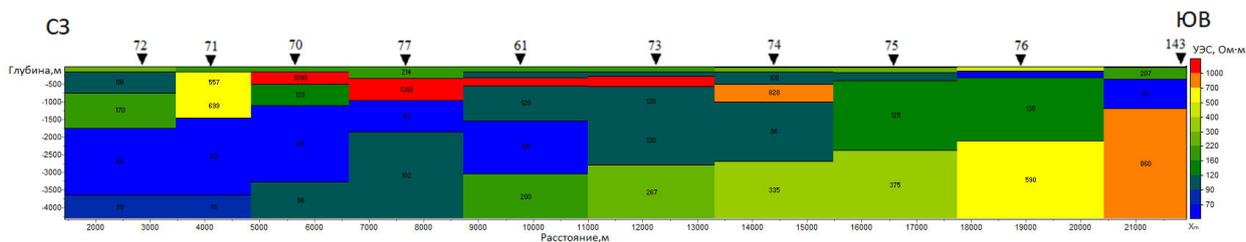


Рис. 3. Геоэлектрический разрез по профилю 2 (1D интерпретация)

На рисунке 4 представлен разрез 2D инверсии по профилю 2. В целом наблюдается качественное согласование разрезов 1D интерпретации и 2D инверсии. На разрезе можно выделить зону Дельтового разлома в пунктах 72-77, это согласуется с геологическими данными [5]. В верхней части разреза наблюдаются высокоомные отложения порядка 1000 Ом\*м. В целом, УЭС осадочных пород меняются по профилю, что по геологическим данным связано с изменением литологического состава.

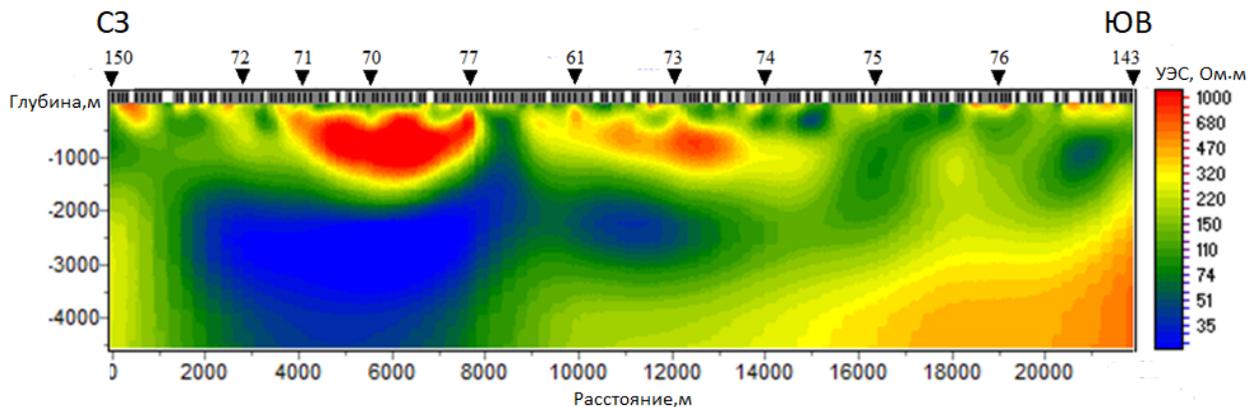


Рис. 4. 2D инверсия (профиль 2)

3D визуализация построена по результатам 2D инверсии (рис. 5). На модели хорошо прослеживаются области поднятия фундамента в восточном направлении, где находится фофановская кристаллическая перемычка, также выделяется Творогово-Истокское поднятие (пр. 17). Погружение фундамента наблюдается в области Дельтового разлома и на профиле 16, уходящем в сторону Усть-Селенгинской депрессии. УЭС осадочных отложений различно по площади. Наиболее низкоомные зоны проявляются на северо-востоке и юго-западе депрессии, где, по всей видимости, происходит изменение литологического состава пород как миоценового, так и плиоценового возраста, что согласуется с данными скважин. Например, по данным в скважине в районе п. Творогово миоценовые отложения представлены в большей степени алевритами, глинистыми и песчаными породами, в то время как по данным скважины в районе п. Колесово эти породы представлены песками, песчаниками, гравелитами. Аналогичные закономерности наблюдаются и для пород плиоценового возраста.

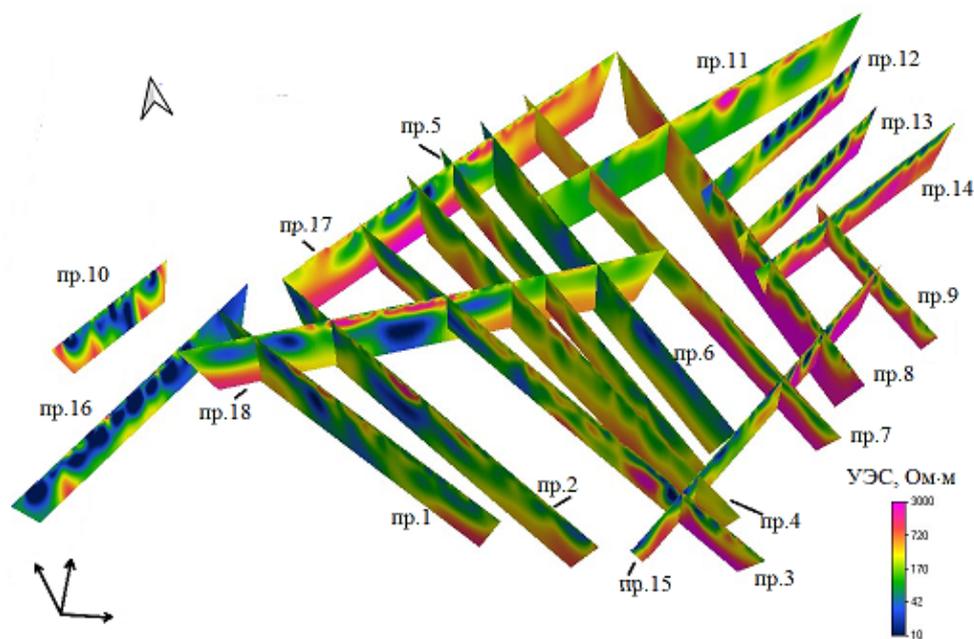


Рис. 5. 3D визуализация результатов 2D инверсии по профилям Селенгинской депрессии

Результаты трехмерной инверсии (профили 1-5) представлены на рисунке 6. В области профилей 3-5 в нижней части модели хорошо проявляется относительно высокоомная зона, которая приурочена к зоне Фофановского разлома. В верхней части модели выделяются зоны повышенных сопротивлений, вероятно, это обусловлено наличием конгломератов четвертичного или плиоценового возраста, которые находятся на глубинах до 500 м, а также присутствием многолетнемерзлых пород. Области низких сопротивлений (до 100 Ом\*м) соответствуют миоценовым отложениям, а интервалы пониженных значений УЭС в породах фундамента относятся к разломным зонам.

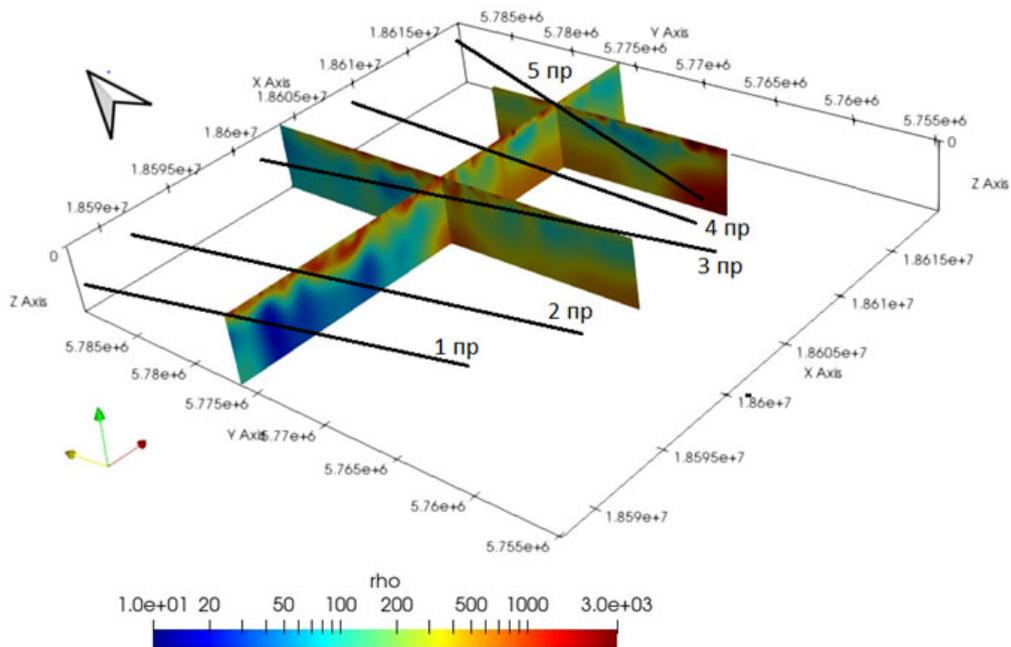


Рис. 6. Результат 3D инверсии. Геоэлектрическая модель

### *Обсуждение*

На основе 1D интерпретации, 2D, 3D инверсий данных ВЭЗ построены разрезы по профилям и 3D геоэлектрическая модель участка Селенгинской депрессии. Опорный горизонт выделяется по значениям УЭС - 700-3500 Ом·м, зоны с пониженными значениями УЭС соответствуют разломным структурам. По геологическим данным этот горизонт представлен породами фундамента протерозойского и архейского возраста. Залегающей выше толща миоценовых отложений соответствует УЭС в интервале 20-70 Ом·м. В верхней части разреза присутствуют горизонты с различными значениями УЭС.

В структурном плане хорошо выделяется Творогово-Истокское поднятие, зоны как крупных (Дельтовый, Фофановский), так и более мелких разломов. Выделенные разломы хорошо согласуются с геологическими данными, результатами прошлых исследований и результатами исследований другими методами.

### *Заключение*

С использованием новых программных средств удалось подтвердить ранее полученные результаты, выделить новые предполагаемые зоны разломов, уточнить геоэлектрические модели, сопоставить полученные результаты с результатами других исследований и наглядно представить трехмерное геоэлектрическое строение Селенгинской депрессии.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Морозова Г. М., Дашевский Ю. А., Неведрова Н. Н., Грехов И. О. Глубинное распределение электропроводности и поле напряжений в земной коре Байкальского прогностического полигона // Геология и геофизика. – 1999. – Т.40. – №3. – С. 332-345.

2. Дашевский Ю. А., Неведрова Н. Н., Морозова Г. М., Грехов И. О., Поторочина Н.Г. Тензорочувствительные объекты в геоэлектрическом разрезе Байкальского прогностического полигона как индикатор подготовки сейсмических событий // Геология и геофизика. – 1999. – Т.40. – №3. – С. 409-421.

3. Неведрова Н.Н. Геоэлектрическое строение и вариации электропроводности по данным электромагнитных зондирований с контролируруемыми источниками: на примере регионов Сибири / Дис. ... докт. геол.-мин. наук: 25.00.10. - Новосибирск, 2013 - 360 с.

4. Солоненко В.П. Сейсмогеология и детальное сейсмическое районирование Прибайкалья. Новосибирск, Наука, 1981. – 169 с.

5. Лунина О.В. Разломы плиоцен-четвертичной активизации юга восточной Сибири и их роль в развитии сейсмически индуцированных геологических процессов. Иркутск, Институт Земной коры, 2015. – 359 с.

6. Саркисян С.Г. Мезозойские и третичные отложения Прибайкалья, Забайкалья и Дальнего Востока. М., Изд-во АН СССР, 1958, – 337 с.

© Е. А. Щекаева, Н. Н. Неведрова, А. М. Санчаа, 2022