

Н. Н. Неведрова¹, А. Е. Шалагинов^{1✉}, И. О. Шапаренко¹, А. М. Санчаа¹, С. М. Бабушкин²

Геоэлектрические модели разломных структур в юго-восточной части Горловской впадины по данным электротомографии

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская федерация

² Сейсмологический филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск, Российская федерация
e-mail: shalaginovae@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Горловская впадина Новосибирской области, расположенная между Колывань-Томской складчатой зоной и Салаиром, отделена от них региональными разломами. Она характеризуется напряженным тектоническим строением и крупнейшими в России запасами антрацита. Начиная с 2019 г. по сейсмологическим данным во впадине наблюдается значительное усиление сейсмической активности, связанной по мнению сейсмологов не только с природными процессами, но и с техногенными воздействиями. Землетрясения концентрируются в зоне крупных действующих угольных карьеров – Колыванского и Восточного вблизи юго-восточного борта впадины. Далее сейсмичность может развиваться как опасный для инфраструктуры и населения процесс, за которым необходимо наблюдать. Для регулярных наблюдений методами геоэлектрики важно выявить и обосновать те разломные структуры, которые можно отнести к сейсмогенерирующим. На геоэлектрических разрезах активные разломы обычно выделяются зоной пониженных удельных электрических сопротивлений. Для этого исследования привлечены полевые данные метода электротомографии по профилям, пересекающим разломные структуры в юго-восточной части впадины. Геоэлектрические модели как результат интерпретации, обоснованные численным моделированием, позволяют выявить разломы, в зоне которых оптимально наблюдать за развивающейся сейсмичностью.

Ключевые слова: Горловская впадина, разломные структуры, электротомография, геоэлектрический разрез

N. N. Nevedrova¹, A. E. Shalaginov^{1✉}, I. O. Shaparenko¹, A. M. Sanchaa¹, S. M. Babushkin²

Goelectric models of fault structures in the south-eastern part of the Gorlovskaya depression based on electrical resistivity tomography data

¹ Trofimuk Institute of petroleum Geology and Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation

² Seismological Branch of the FRC UGS RAS, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: shalaginovae@ipgg.sbras.ru

Abstract. The Gorlovskaya depression of the Novosibirsk Region, located between the Kolyvan-Tomsk folded zone and Salair, is separated from them by regional faults. It is characterized by tense tectonics and the largest anthracite reserves in Russia. Since 2019, according to seismological data, a significant increase in seismic activity has been observed in the depression, associated, according to seismologists, not only with natural processes, but also with man-made impacts. Earthquakes are concentrated in the area of large operating coal quarries – Kolyvansky and Vostochny near the south-eastern side of the depression. Further seismicity can develop as a process dangerous for infrastructure and the population, which must be monitored. For regular observations using goelectric meth-

ods, it is important to identify and substantiate those fault structures that can be classified as seismogenic. On geoelectric sections, active faults are usually distinguished by a zone of low specific electrical resistance. This study involved field data from the electrical tomography method along profiles crossing fault structures in the southeastern part of the basin. Geoelectric models as a result of interpretation, substantiated by numerical modeling, allow us to identify faults in the zone of which it is optimal to observe developing seismicity.

Keywords: Gorlovskaya depression, fault structures, electrical resistivity tomography, geoelectric section

Введение

Горловская впадина (прогиб) расположена между Колывань-Томской складчатой зоной и северо-западным Салаирским антиклинорием. Она вытянута от Камня-на-Оби в правобережье р. Обь в сторону долины р. Томь. Ширина впадины всего 1,5-15 км, а длина около 120 км, она характеризуется чередованием антиклинальных и синклиналиных складок, осложненных складчатостью более мелких порядков с присутствием локальных разломов. Впадина ограничена с двух сторон системой региональных дизъюнктивов и надвинута на структуры Салаира, от которого её отделяют с юго-востока Чемской, Доронинский и Кемеровский разломы [1]. На территории прогиба отложилось большое количество органогенных осадочных пород, таких как известняки, каменный уголь. В верхней части разреза преобладает угленосная моласса карбон-раннепермского возрастов, а средняя и нижняя части представлены континентальными и морскими отложениями соответственно. Метаморфизм пермских углей достигает антрацитовой стадии и этот угольный бассейн вмещает крупнейшие месторождения антрацита, которые начали добывать вначале прошлого столетия в шахтах и далее карьерах [2].

В настоящее время продолжают интенсивно разрабатываться целый ряд карьеров, включая Колыванский и Восточный. Именно в этих карьерах за последние 3 года концентрируются землетрясения, достигающие магнитуд в 4,7. Усиление сейсмической активности в Горловской впадине происходит, начиная с 2019 г., после Колыванского землетрясения с магнитудой $M_L = 4,3$. Далее сейсмичность только усиливается. Специалисты сейсмологи полагают, что усиление сейсмической активности, связано не только с природными процессами, но и с техногенными воздействиями – промышленными взрывам и перемещениями больших объемов извлекаемой горной породы в угольных карьерах [3]. Даже относительно небольшие магнитуды приповерхностных землетрясений компенсируются близостью очагов к поверхности. Они могут быть опасны для населения и сооружений и вызвать локальные катастрофы.

Длительное интенсивное воздействие техногенных источников неминуемо приводит к изменениям природных геодинамических и гидрогеологических режимов, влияющих на геофизические и, в том числе, на электромагнитные поля. Строение Горловской впадины как глубинное, так и приповерхностное ранее было изучено недостаточно. Работы геофизическими методами проводились в 70-80-е гг. прошлого столетия только на отдельных участках с угольными месторождениями.

Цель работы заключается в определении геоэлектрических характеристик отложений осадочного выполнения, выявлении разломных структур методами электроразведки в Горловской впадине. Это позволит далее обоснованно привлечь электроразведку для регулярных наблюдений за развивающейся сейсмичностью совместно с сейсмологическими методами.

Методы электроразведки и характеристики полевых измерений

Начиная с 2020 г., в зоне сейсмической активизации юго-восточной части Горловской впадины были начаты полевые работы комплексом методов электроразведки, в который входили зондирования становлением электромагнитного поля (ЗСБ), вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ), электротомография (ЭТ). В качестве основного метода для восстановления глубинного строения выбраны зондирования становлением поля, выполненные по профилю, пересекающему впадину с запада на восток. В целях построения модели верхней части разреза до глубин 40-100 м использована электротомография. В результате были получены первые представления о геоэлектрических характеристиках впадины. По данным ЗСБ, на глубинах 50-100 м выделена кровля слоя мощностью в 300 м с УЭС в интервале 0.1-10.0 Ом·м, по геологическим данным слой соответствует залежам антрацита [4]. В 2022 г. пройден профиль ЗСБ через разломные структуры, отделяющую Горловскую впадину от Салаира. На полученном разрезе разломная зона проявляется в виде надвига в восточной части профиля с понижением значений удельного электрического сопротивления относительно вмещающих блоков. [5]. Работы методом ЭТ были продолжены в последующие годы для построения моделей разломных структур. На рис. 1 показана схема измерений методом ЭТ через разломы юго-восточного борта Горловской впадины.

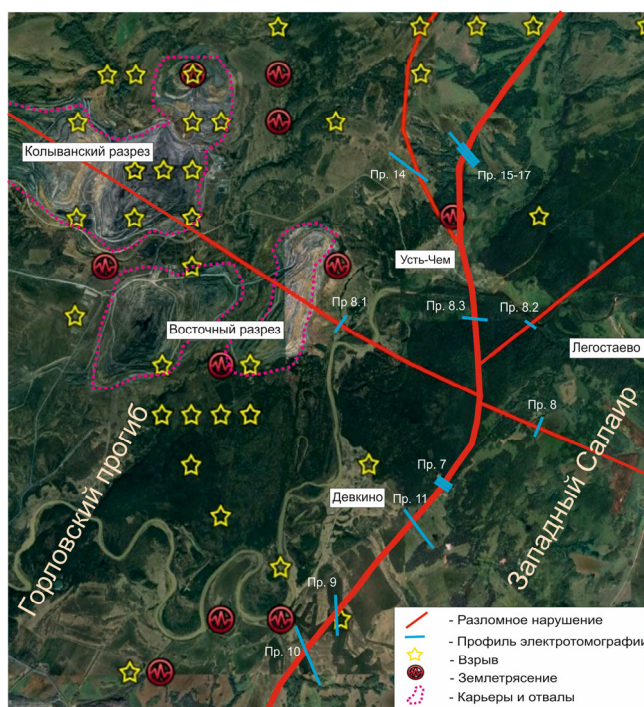


Рис. 1. Схема измерений методом ЭТ через разломные зоны юго-восточного борта Горловской впадины

Результаты интерпретации

Интерпретация всех полученных полевых данных электротомографии осуществлялась с помощью двух программных комплексов моделирования и инверсии Direct-Inverse-Solver (DiInSo) [8] и Res2DInv [9]. Вначале рассмотрим разрезы по профилям, выполненные через Чемской разлом (рис. 2). На рис. 2 показаны разрезы по трем параллельным профилям в северной части участка исследования. Разломная зона, выделенная на всех разрезах в интервале профиля от 0 до 250-300 м, характеризуется понижением УЭС более чем на порядок относительно высокоомных отложений Салаира с УЭС до 2000 Ом·м.

Далее продвигаясь по территории участка с севера на юг, рассмотрим разрезы по профилям 8 и 8.1, выполненные через второстепенный разлом простирающимся на северо-запад южнее пос. Усть-Чем (рис. 3).

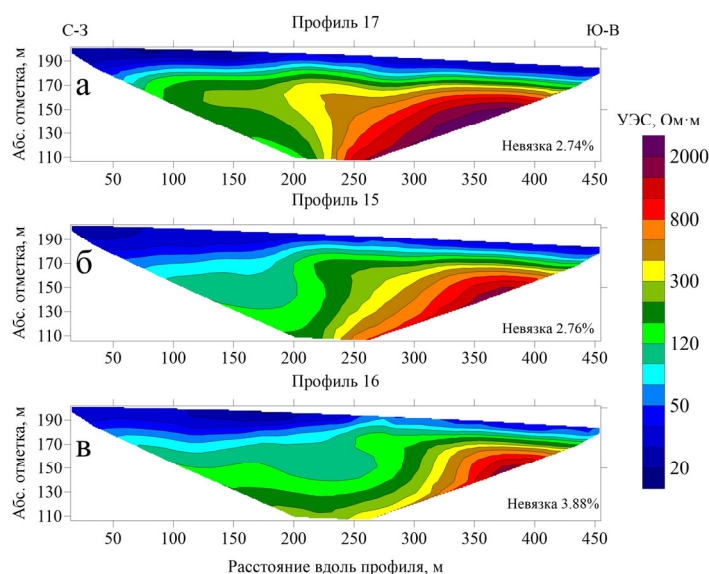


Рис. 2. Разрезы по профилям 16, 17, 18 через Чемской разлом на севере участка исследования

На разрезах 8 и 8.1 разлом не выделяется. Получены практически горизонтально-слоистые модели среды с маломощным верхним проводящим слоем с УЭС от 3 до 100 Ом·м, залегающим на высокоомных породах, достигающих 700 Ом·м. И наконец приведем разрезы по профилям в южной части планшета (рис. 4). Здесь ситуация более сложная. По профилям 11 и 7 в их северо-западной части на разрезах видны низкоомные зоны, скорее всего, соответствующие разломным структурам. Причем для разреза по профилю 7 разлом обоснован трехмерным моделированием. Но на этом интервале Чемского разлома невозможно проверить реальную ширину зоны разлома, т.к. для этого следует продлить профили на северо-запад, где находится заболоченный глубокий овраг. На профиле 10 разлом предположительно выделяется в интервале профиля от 550 до 700 м, характеризуется понижением УЭС.

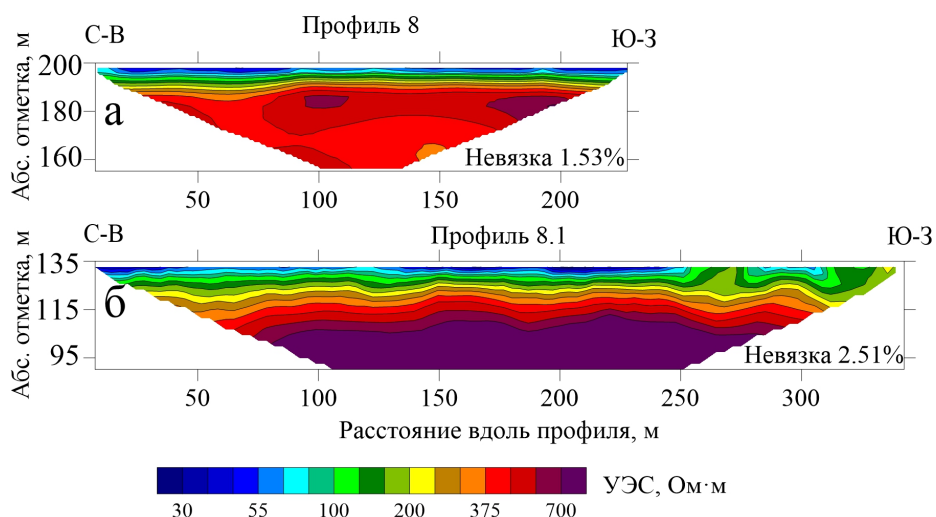


Рис. 3. Разрезы вкрест второстепенного разлома простираением на северо-запад между поселками Усть-Чем и Девкино

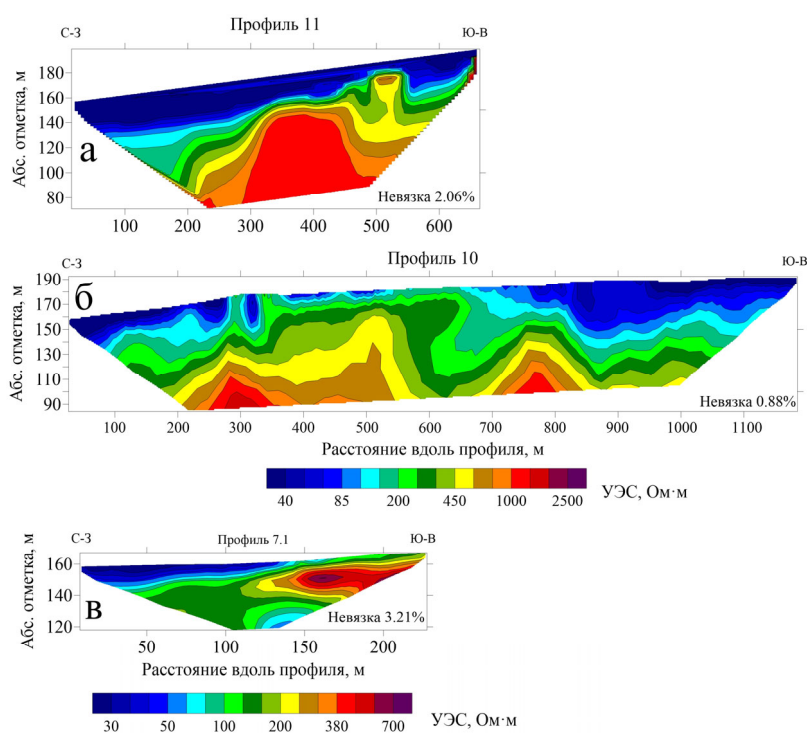


Рис. 4. Разрезы по профилям 11, 10, 7 через Чемской разлом на юге участка

Заключение

В статье приведены характерные разрезы через юго-восточные разломные структуры Горловской впадины. По данным электротомографии подтверждено, что региональный Чемской разлом, протянувшийся с юго-востока через весь участок исследования, является надвигом, т.е. отложения впадины надвинуты на Салаирский антиклинорий. Получены геоэлектрические параметры разломных зон, выделяющихся пониженными значениями УЭС. Это дает возможность в дальнейшем выбрать оптимальное место для регулярных наблюдений методом ЭТ.

Планируется продлить некоторые профили на северо-восток там, где позволяет рельеф для определения ширины зоны разлома.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Программы фундаментальных научных исследований № FWZZ-2022-0025.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геологическая карта: N-44-XVIII (Черепаново). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Издание второе. Кузбасская серия, масштаб: 1:200000, серия: Кузбасская / под ред. Ратанов Л.С. – ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2014. – 200 с.
2. Иванов О.П., Сотников В.И., Федосеев Г.С., Кунгурцев Л.В., Борисенко А.С., Оболенский А.А., Васильев И.П., Гимон В.О. Геодинамика, магматизм, и металлогения Колывань-Томской складчатой зоны. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1999. – 227 с.
3. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Гладышев Е.А. Техногенная сейсмическая активизация в районе Горловского угольного бассейна // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2021. – Т. 8. – № 1. – С. 207-210.
4. Котельников А.Д., Максиков С.В., Котельникова И.В., Макаренко Н.А., Субботин К.С. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 200 000. Издание второе. Серия Кузбасская. Лист N-44-XVIII – Черепаново. Объяснительная записка. – М.: МФ ВСЕГЕИ, 2008. – 78 с.
5. Санчаа А.М., Неведрова Н.Н., Бабушкин С.М., Шапаренко И.О., Шалагинов А.Е. Первые результаты исследований Горловской впадины наземными методами электроразведки с контролируемыми источниками. Интерэкспо ГЕО-Сибирь – "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология": Материалы XVII международной научной конференции (г. Новосибирск, 19-21 мая 2021 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – Т. 2. – № 2. – С. 272-279.
6. Шалагинов А.Е., Неведрова Н.Н., Бабушкин С.М. Геоэлектрическое строение разломного ограничения Горловского прогиба Новосибирской области по данным нестационарных электромагнитных зондирований. Интерэкспо ГЕО-Сибирь – XIX Международный научный конгресс. Международная научная конференция "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология": Сборник материалов в 8 т. (г. Новосибирск, 17-19 мая 2023 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. – Т. 2. – № 4. – С. 61-67.
7. <https://nemfis.ru/siber-64k15>
8. <http://diinso.sourceforge.net/>
9. <http://www.geotomosoft.com>

© Н. Н. Неведрова, А. Е. Шалагинов, И. О. Шапаренко, А. М. Санчаа, С. М. Бабушкин, 2025