

А. Е. Шалагинов^{1}, Н. Н. Неведрова¹, С. М. Бабушкин²*

Геоэлектрическое строение разломного ограничения Горловского прогиба Новосибирской области по данным нестационарных электромагнитных зондирований

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

² Сейсмологический филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба» РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация
*e-mail: shalaginovae@ipgg.sbras.ru

Аннотация. В статье представлены результаты интерпретации данных зондирования становлением электромагнитного поля, полученные по профилю на участке с разломными зонами в районе сочленения Горловской впадины с северо-западным Салаиром. По геологическим данным разломные структуры были выделены в юго-восточном борту Горловского прогиба и выражены в рельефе дневной поверхности. Актуальность исследования определяется значимым повышением сейсмичности в последние годы на территории Горловской впадины, за развитием которой следует наблюдать. По данным электромагнитных зондирований определено геоэлектрическое строение участка исследования до глубины в 200 м. На полученном разрезе разломные зоны проявляются в интервале пикетов 46-49 юго-восточной части профиля понижением значений удельного электрического сопротивления относительно вмещающих блоков. Для оптимизации размещения пунктов регулярных наблюдений методами геоэлектрики важны сведения о строении территории исследования, включая области с разломными нарушениями.

Ключевые слова: геоэлектрическое строение, нестационарное электромагнитное зондирование, разломные нарушения

A. E. Shalaginov^{1}, N. N. Nevedrova¹, S. M. Babushkin²*

Geoelectric structure of fault zone of the Gorlovka depression of Novosibirsk region according to the TEM data

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

² Seismological Branch of Federal Research Center Geophysical Survey of RAS, Novosibirsk,
Russian Federation
*e-mail: shalaginovae@ipgg.sbras.ru

Abstract. The article presents the results of TEM data interpretation, obtained along the profile in the fault zones area of the Gorlovskaya depression joints with the northwestern Salair. According to geological data, fault structures were identified in the southeastern side of the Gorlovsky trough and expressed in the surface topography. The relevance of the study is determined by a significant increase in seismicity in recent years in the Gorlovskaya depression, which development should be monitored. According to electromagnetic sounding data, the geoelectric structure of the study area was determined to a depth of 200 m. On the resulting section, fault zones appear in the pickets 46-49 interval of the southeastern profile part with a decrease in electrical resistivity values relative to host blocks. To optimize the placement of regular observation points by geoelectrical methods, information about the study area structure, including areas with faults, is important.

Keywords: geoelectric structure, transient electromagnetic sounding, fault disturbances

Введение

В 2022 году Лабораторией электромагнитных полей ИНГГ СО РАН совместно с Сейсмологическим филиалом Единой геофизической службы РАН было продолжено изучение геоэлектрического строения Горловского прогиба, которое было начато в 2020 году [1, 2]. Участок исследования 2022 года располагался в районе п. Девкино Искитимского района Новосибирской области. Вблизи этого участка сосредоточены эпицентры современных землетрясений с магнитудами 3-4 и более, о природе которых продолжается дискуссия. По геологическим данным на выбранном для измерений участке выявлена серия разрывных нарушений вдоль юго-восточного борта Горловского прогиба, образовавшихся на разных этапах развития этой структуры. Измерения двумя методами наземной геоэлектрики (электротомография и зондирование становлением электромагнитного поля) выполнены по профилю длиной 1 км, в крест простирания разломных нарушений (рис. 1). В данной статье представлены результаты интерпретации данных зондирования становлением электромагнитного поля (ЗСБ).

Геолого-геофизические данные

Наиболее древняя система крупных глубинных разрывных нарушений, развитых на площади работ, имеющая северо-восточное простирание, заложилась в конце раннего кембрия в инверсионную стадию каледонского цикла на фоне общего растяжения земной коры и интенсивно активизировалась в заключительную стадию герцинского цикла тектогенеза. Она представляет собой долгоживущие разрывные нарушения сбросового характера, отделяющие северо-западный Салаир от Горловской грабен-синклинали, к которым относится Чемской разлом. Амплитуда разрывных нарушений по сместителю изменяется в широких пределах: от нескольких сотен метров до 3–5 км.

Вторая система более мелких разрывных нарушений заложилась в орогенный этап развития Колывань-Томской структурной зоны. В обстановке сжатия формировались надвиговые структуры, в результате чего отложения Горловского прогиба были надвинуты на структуры Северо-Западного Салаира. Поверхности сместителей имеют северо-западное падение, а амплитуды по сместителю составляют от нескольких сотен метров до 2–3 км [3].

Чемской разлом хорошо фиксируется по геологическим данным, отделяя комплексы среднего-позднего палеозоя Горловского прогиба от раннепалеозойских комплексов Салаира. Разлом хорошо выражен в гравитационном поле, ему соответствует градиентная зона, разделяющая область отрицательной аномалии над Горловским прогибом от региональной положительной аномалии над Салаиром. Еще более контрастно он отражается в магнитном поле, отделяя область повышенного знакопеременного поля на юго-востоке от более спокойного пониженного поля над Горловским прогибом [4].

Профиль ЗСБ, выполненный на участке с разломными структурами на северо-западе пересекает отложения китеринской свиты, представленные известня-

ками с прослоями мергелей, алевролитов, а далее на юго-востоке проходит над породами девона соболевской свиты (глинистые сланцы, песчаники, аргиллиты) [3].

Геофизические данные, программные средства

Методом ЗСБ было выполнено 11 зондирований по профилю по направлению с северо-запада на юго-восток. Расстояние между пикетами зондирований составляло 100 м. Размещение профиля и пунктов зондирования показано на рисунке 1.

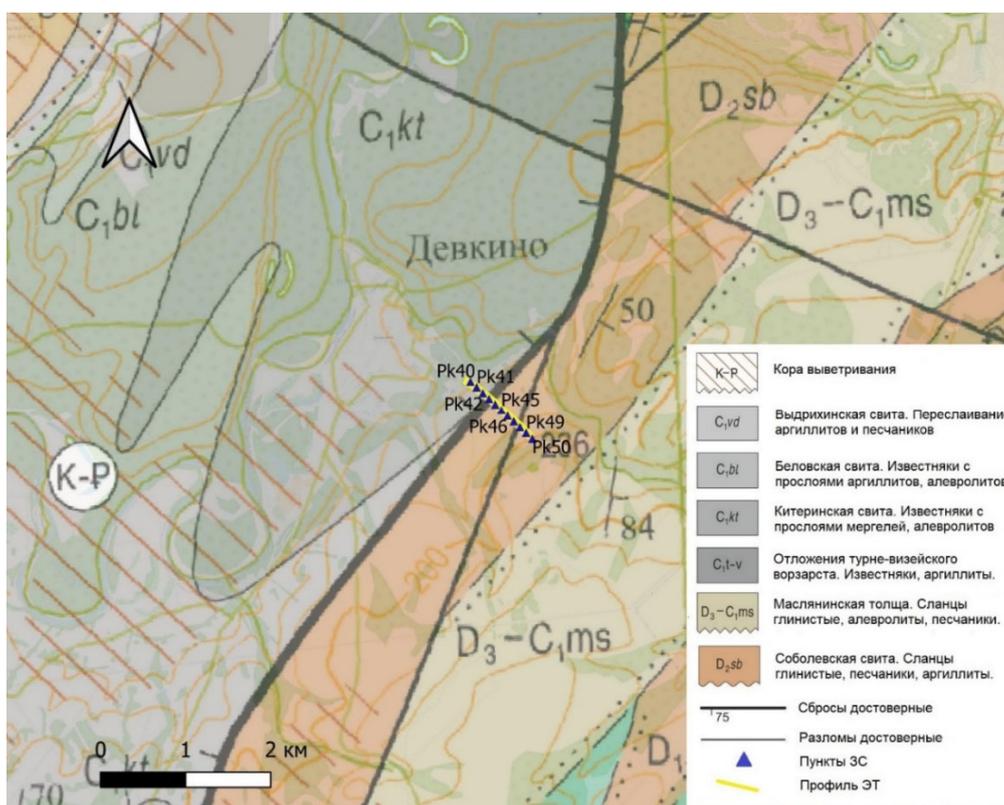


Рис. 6. Схема положения профиля ЗСБ на фрагменте геологической карты [5]

Измерения методом ЗСБ выполнены с использованием цифровой аппаратуры «Байкал-МЭРСТ» соосными установками [6, 7, 8]. В качестве генераторной конструкции использовалась незаземленная петля квадратной формы со стороной равной 100 м. Измерения выполнялись с помощью незаземленной квадратной петли со стороной в 50 м. При проведении измерений ток в генераторной петле был выбран на уровнях 6.0-7.0 А для начальной стадии переходного процесса и на уровнях 23.0-24.0 А для его поздней стадии. Процесс измерения включал запись трех дублей переходного процесса. Количество накоплений в каждом дубле составляло не менее 300. Погрешность регистрации переходного процесса в информативной области времен получена менее 5 %.

Количественная интерпретация данных выполнялась с помощью программного комплекса моделирования и инверсии ZondTem1D с использованием горизонтально-слоистой модели [9].

Результаты интерпретации

В результате анализа полевых данных ЗСБ было выделено 2 типа кривых ЭДС, характеризующих геоэлектрические характеристики отложений участка исследования. Пункты измерений находятся в разных геологических структурах. Пикеты ЗСБ 40-45 расположены на борту Горловского прогиба, а пикеты ЗСБ 47-50 - на территории северо-западного Салаира. Полученные кривые ЭДС в интервале времен регистрации от 0.01 мс до 0.8 мс отличаются по уровню значений и образуют две группы: с более высоким уровнем сигнала для пикетов 40-46 и с более низким уровнем (пикеты 47-49) (рис. 2).

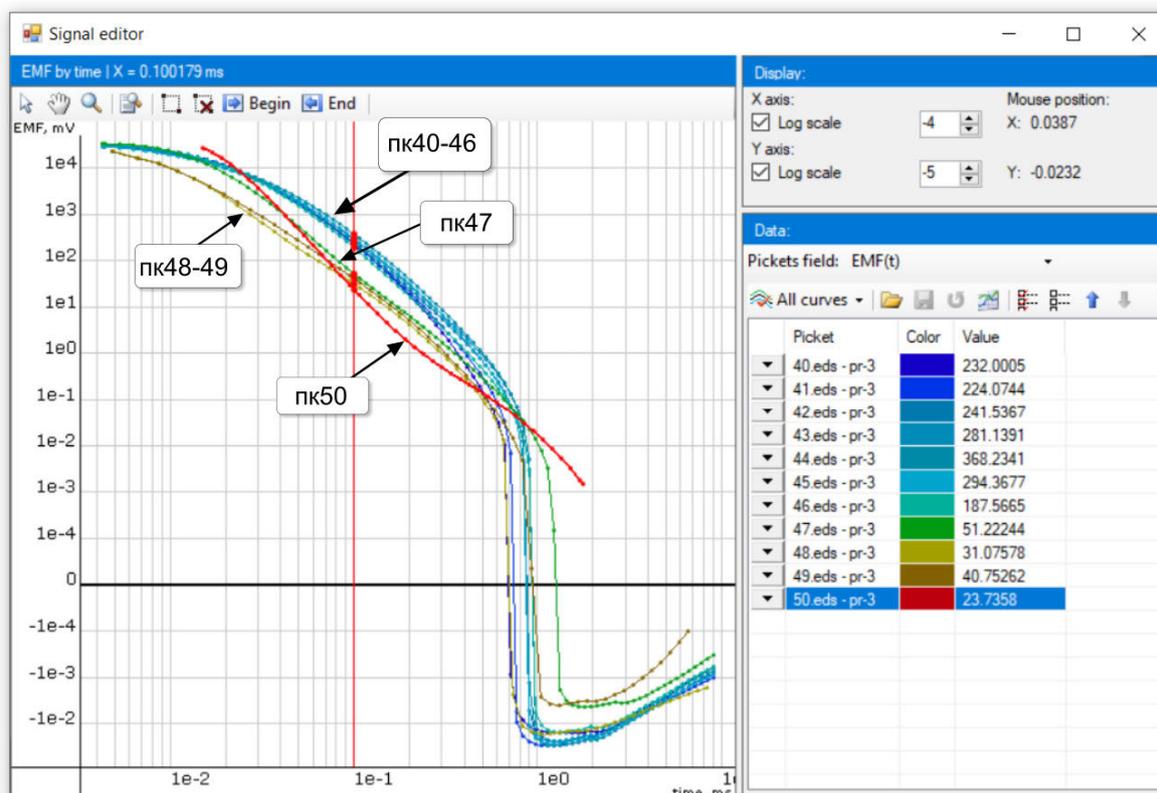


Рис. 2. Кривые ЭДС по профилю измерений

Все кривые ЭДС характеризуются переходом через 0, кроме кривой для пикета 50. Переход кривых через ноль обусловлен, скорее всего, влиянием индукционно-вызванной поляризации.

Геоэлектрические модели в результате инверсии были получены с использованием программного комплекса ZondTem1D. Для юго-восточной части профиля характерна трехслойная геоэлектрическая модель $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$, соответствующая отложениям Горловского прогиба. Два верхних слоя модели представлены более проводящими отложениями по сравнению с УЭС в 3000 Ом·м для подстилающего основания (рис. 3а). Разрез в интервале пикетов 40-45 практически горизонтально-слоистый, выдержанный по мощности и УЭС.

Далее на юго-восток по данным ЗСБ 46 выделен интервал с пониженными значениями УЭС 2-го горизонта с мощностью в 180 м, предположительно соответствующий Чемскому разлому. Для этой кривой присутствуют небольшие искажения на ранних временах, но она подобрана в рамках 5 % погрешности (рис. 3б). По данным ЗСБ 47 получена четырехслойная геоэлектрическая модель $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$, которая характеризует отложения северо-западного Салаира (рис. 3в). Для группы кривых ЗСБ 47-49 искажения более существенны в интервале 0.01-0.07 мс, тем не менее, на более поздних временах интерпретация выполнена с заданной погрешностью в 5 %. Характерные кривые ЗСБ и полученные модели для каждого интервала профиля показаны на рисунках 3а, б, в.

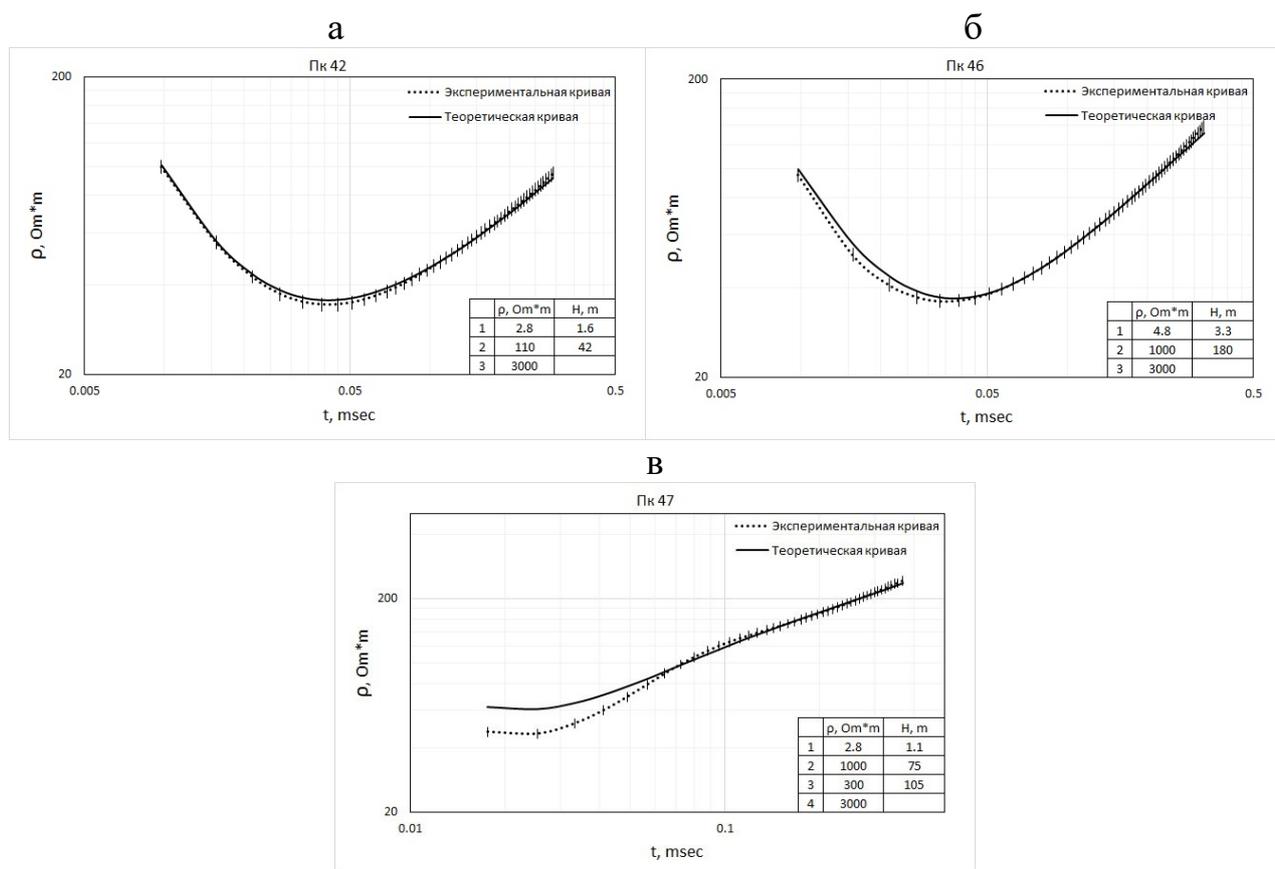


Рис. 3. Пример интерпретации данных ЗСБ: а) пикет 42; б) пикет 46; в) пикет 47

На рисунке 4 приведен разрез по профилю по результатам интерпретации данных ЗСБ с горизонтально-слоистой моделью. С учетом имеющихся априорных геологических данных была рассмотрена геологическая интерпретация полученного разреза (рис. 5). В интервале пикетов ЗСБ 40-45 самый верхний слой мощностью 1-2 м соответствует почвенному покрову, далее вниз по разрезу выделены отложения мел-палеогеновой (К-Р) коры выветривания с УЭС 70-100 Ом·м, представленные глинами. Опорный высокоомный горизонт слагают отложения известняков с прослоями алевролитов и аргиллитов раннекарбонового возраста (C_{1kt}).

В юго-восточной части профиля в интервале пикетов ЗСБ 46-49 изменение параметров геоэлектрической модели связано с влиянием разломной зоны и появлением отложений северо-западного Салаира среднедевонского возраста (D_{2sb}), представленных алевролитами, конгломератами, сланцами. Область пикета ЗСБ 46 можно интерпретировать как зону Чемского разлома, выраженную понижением значений УЭС второго горизонта модели.

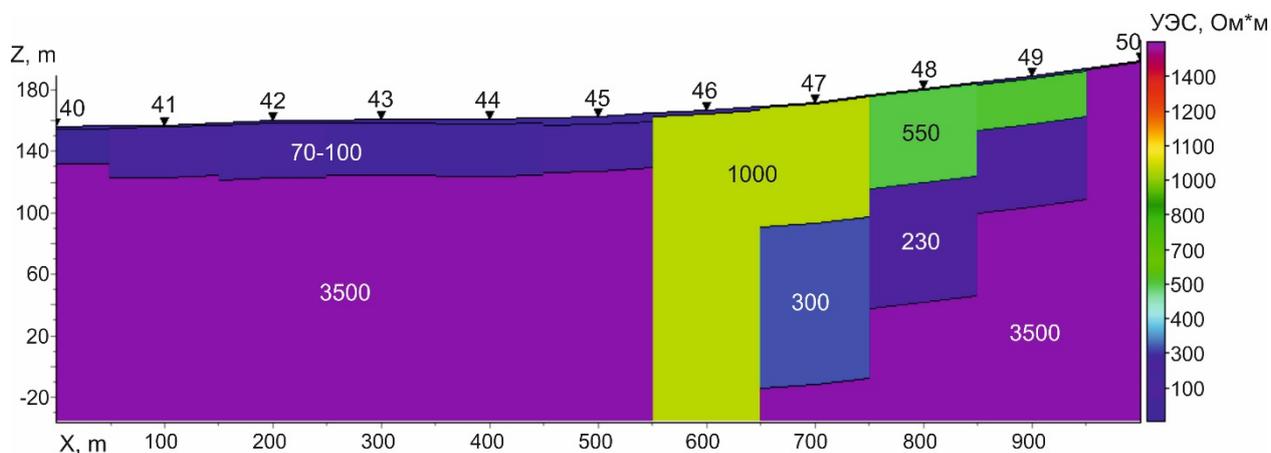


Рис. 4. Геоэлектрические модели по профилю ЗС

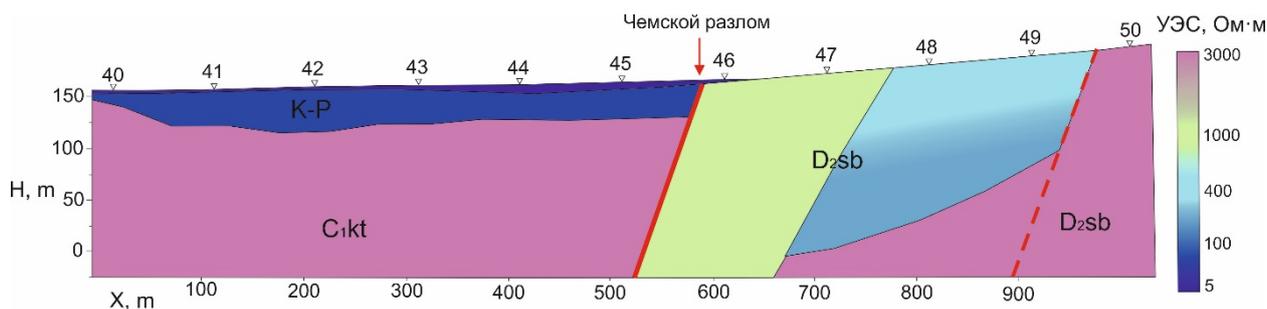


Рис. 5. Геологическая интерпретация результатов исследования

Выводы

На основе инверсии полевых данных ЗСБ в рамках горизонтально-слоистой модели среды построен геоэлектрический разрез по профилю, пересекающему зону разломных нарушений и выполнена геологическая интерпретация результатов. Выделены геоэлектрические параметры отложений, соответствующих Горловскому прогибу и северо-западному Салаиру, которые разделены разломами, выраженными на дневной поверхности по сведениям специалистов-геологов [4]. По результатам интерпретации данных ЗСБ присутствие разломных структур проявляется понижением значений УЭС в интервале пикетов 46-49. В перспективе планируется выполнить измерения с разнесенными установками для учета влияния вызванной поляризации и провести анализ искажений с помощью численного моделирования.

Благодарности

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Санчаа А.М., Неведрова Н.Н., Бабушкин С.М., Шапаренко И.О., Шалагинов А.Е. Первые результаты исследований Горловской впадины наземными методами электроразведки с контролируруемыми 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.) – ИНГГ СО РАН – Новосибирск – том Т. 2 – № 2 – с.272-279 – 2021
2. Носков В.А., Шалагинов А.Е. Геоэлектрическое строение Горловской впадины по данным нестационарных электромагнитных зондирований на участках концентрации сейсмических событий. Интерэкспо ГЕО-Сибирь - "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология": Материалы XVIII международной научной конференции (г. Новосибирск, 18-20 мая 2022 г.) – ИНГГ СО РАН – Новосибирск – том Т. 2 – № 1 – С. 316-320 – 2022
3. 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. – 2015.
4. Иванов О.П. Геодинамика, магматизм и металлогения Колывань-Томской складчатой зоны. Н.: СО РАН НИЦ ОИГМ, 1999. – 233 с.
5. Каталог растров [Электронный ресурс] - <http://webmapget.vsegei.ru/>
6. Ваньян Л.Л. Электромагнитные зондирования. М.: Недра, 1965. – 109 с.
7. Кауфман А.А., Морозова Г.М. Теоретические основы метода зондирований становлением поля в ближней зоне. – Новосибирск: Наука, 1970. – 125 с.
8. Бабушкин С.М., Рыбушкин А.Ю., Терешкин Д.О., Неведрова Н.Н. Измерительный модуль для электромагнитных исследований. Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Тезисы XV Международной сейсмологической школы (г. Новосибирск, 06-10 сентября 2021 г.) – ФИЦ ЕГС РАН – Обнинск – С. 8-8 – 2021
9. zond-geo.com; сайт. – 2001. URL: <http://zond-geo.com/>

© А. Е. Шалагинов, Н. Н. Неведрова, С. М. Бабушкин, 2023