УДК 550.8.028:550.837 DOI: 10.21440/0536-1028-2021-2-64-69

Геофизические исследования на Ревдинском пересечении Серовско-Маукского регионального разлома

Давыдов В. А.[1]
[1] Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
e-mail: davyde@yandex.ru

Реферат

Цель работы *– изучение характерных особенностей геофизических полей над основными геологическими структурами в зоне влияния Серовско-Маукского регионального разлома на Среднем Урале.*

Методология. *Электромагнитные исследования включали экспресс-вариант аудиомагнитотеллурических зондирований с широкополосным приемником ОМАР-2м (ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург). Камеральная обработка базируется на получении частотных спектров импеданса с помощью быстрого преобразования Фурье и их трансформации в глубинные разрезы электрофизических параметров среды. Магниторазведочные работы выполнены с помощью протонного магнитометра GEM GSM-19T (GEM Systems, Канада), съемка гамма-поля проведена пешеходным радиометром СРП-68-01 (завод «Электрон», г. Желтые Воды).*

Результаты. *По результатам обработки наблюдений на параметрическом профиле построены качественные разрезы удельных электрических сопротивлений и эффективной продольной проводимости, а также графики магнитного и радиационного полей. Проведенные исследования выявили особенности изменения электрофизических параметров и потенциальных полей над различными геологическими структурами приконтактовой зоны разлома.*

Выводы. *Определены признаки границ раздела основных геологических объектов по изменениям физических свойств. Выделены литологические и тектонические границы сложного комплекса пород, примыкающих к региональному разлому, по характерным аномалиям геофизических параметров. Результаты геофизических исследований согласуются с реальной геологической обстановкой района исследований.*

Ключевые слова: *комплексные геофизические исследования; зона разлома; тектоника; аудиомагнитотеллурические зондирования; геоэлектрический разрез.*

Введение. Серовско-Маукский разлом представляет собой долгоживущую субмеридиональную структуру, неоднократно осложненную более поздними дислокациями. Как и все региональные структуры, Серовско-Маукский разлом прослеживается по тектоническим фрагментам серпентинитов, сопровождаясь зонами меланжа. Изучаемый профиль располагается в Дегтярско-Полевском рудном районе и захватывает сложный комплекс пород приконтактовой зоны регионального разлома, разделяющего Тагильский прогиб и Восточно-Уральское поднятие. К зоне меланжа тяготеет никель-кобальтовое оруденение, связанное с серпентинитами, контактирующими с мраморизованными известняками терригенно-карбонатной толщи. В вулканогенных породах, прилегающих к разлому, залегает ряд месторождений и рудопроявлений медно-колчеданного типа.

Целью исследований является изучение характерных особенностей геофизических полей над основными геологическими структурами в зоне влияния Серовско-Маукского регионального разлома. К основным задачам относятся: проведение комплекса геофизических исследований, обработка и интерпретация результатов с построением графиков и разрезов физических параметров, анализ и сопоставление полученных данных с имеющейся геологической информацией.

Методика работ. Для изучения геоэлектрического строения разреза были использованы аудиомагнитотеллурические зондирования (АМТЗ), подходящие для исследований средних глубин [1–5]. Полевые работы экспресс-вариантом АМТЗ проводились двухканальной измерительной аппаратурой ОМАР-2м, разработанной в Институте геофизики УрО РАН [6], с использованием широкополосных датчиков электромагнитных сигналов. Измерения велись в течение 3–5 минут в частотном диапазоне 100–16 000 Гц, с шагом наблюдений 50 м. Используемые частоты позволяют получать сведения о разрезе на глубину от десятка до нескольких сотен метров. Для регистрации горизонтальной компоненты магнитного поля H_x использовался датчик индукционного типа с линеаризованной характеристикой. Электрическая составляющая E_y измерялась с помощью стелющейся линии с предварительным усилителем. Отношение электрической компоненты сигнала к ортогональной магнитной составляющей определяет волновое сопротивление среды $Z = E_y / H_x$, или импеданс, пропорциональный удельному электрическому сопротивлению (УЭС) горных пород. Результаты измерений представляются в виде параметра, вычисленного через модуль входного импеданса и эквивалентного кажущемуся сопротивлению [7]:

$$\rho_т = \left(1 / 2\pi f \mu\right)\left|Z\right|^2,$$

где f – частота электромагнитного поля, Гц; $\mu \approx \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнитная проницаемость среды, Гн/м.

Методика камеральной обработки аудиомагнитотеллурических данных уже неоднократно описана в литературе. Она базируется на получении частотных спектров импеданса с помощью быстрого преобразования Фурье и их трансформации в глубинные разрезы УЭС и эффективной продольной проводимости [8, 9]. Результаты позволяют определять характер распределения электрофизических свойств по глубине, выделять локальные аномальные объекты и связывать природу геофизических полей с геологическим строением.

Магниторазведочные работы выполнены с помощью протонного магнитометра GEM GSM-19T (Канада). Проводились измерения полного вектора магнитной индукции T с замыканием профиля на контрольном пункте (КП) без использования магнитовариационной станции [10]. Одновременно с магнитными измерениями выполнялась геодезическая привязка с помощью встроенного модуля дифференциального GPS. Радиометрическая съемка проведена пешеходным гамма-радиометром СРП-68-01 (завод «Электрон», г. Желтые Воды). Шаг съемки потенциальных геофизических полей составлял 10 м.

Результаты исследований. Исследовательский профиль протяженностью 2600 м располагается на северной оконечности Дегтярского рудного поля, недалеко от г. Ревда Свердловской области. Разметка профиля проведена в субширотном направлении, вкрест простирания основных геологических структур. В своей средней части Ревдинский профиль пересекает зону Серовско-Маукского разлома с полимиктовым меланжем. Результаты электромагнитных зондирований свидетельствуют, что характерной чертой горных пород района является широтная зональность изменения электрического сопротивления с крутым восточным падением границ [11].

Начало профиля слагают сланцы Мариинской свиты, которые сменяются вулканитами Зюзельской свиты, представленными базальтами. Обе свиты относятся к комплексу пород Тагильского прогиба. Тектонический контакт между ними (ПК10) четко выделяется вертикальной аномалией на разрезах электрофизических параметров и отмечается минимальными значениями мощности экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения (рис. 1).

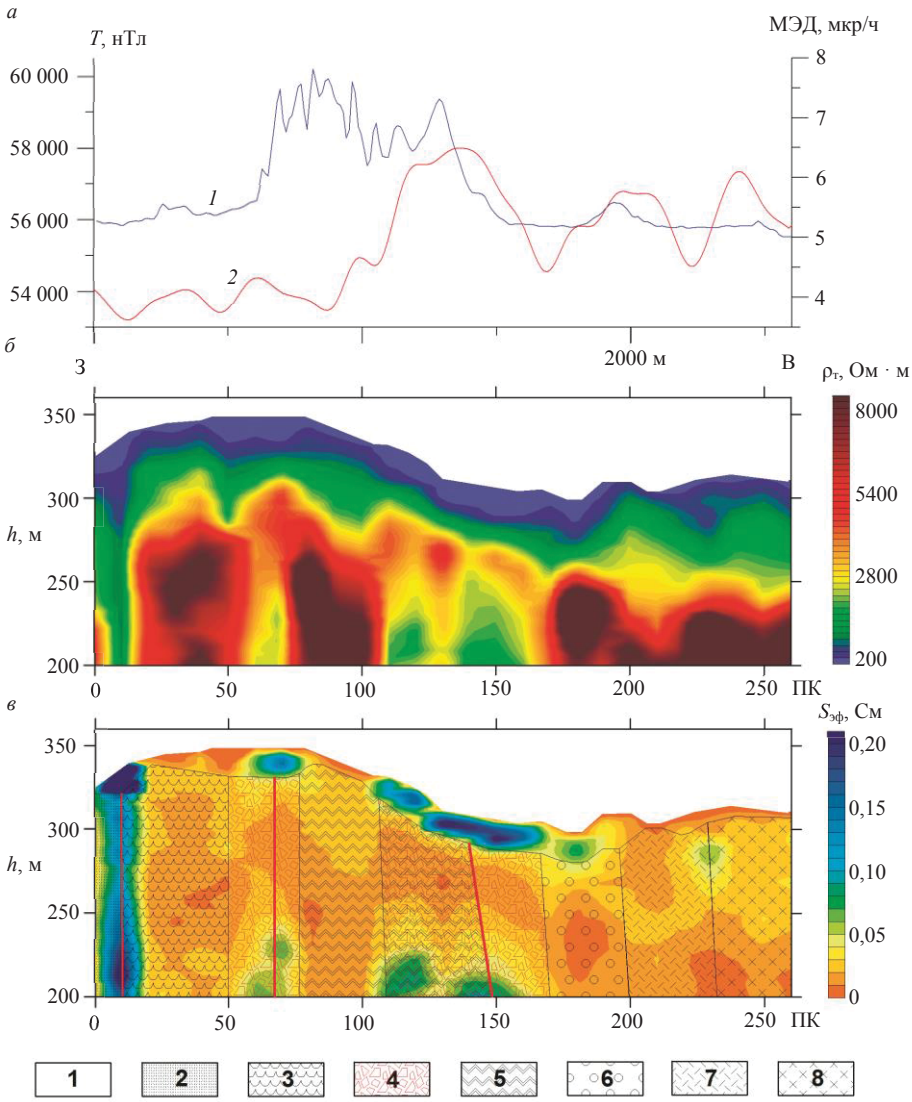

Рис. 1. Результаты геофизических исследований по Ревдинскому пересечению Серовско-Маукского разлома:

а – графики модуля индукции геомагнитного поля *1* и мощности экспозиционной дозы гамма-излучения *2*; *б* – трансформированный разрез АМТЗ; *в* – разрез эффективной продольной проводимости, совмещенный с геологической обстановкой: 1 – кора выветривания; 2 – сланцы; 3 – базальты; 4 – зона дробления; 5 – серпентиниты; 6 – вулканические туфы; 7 – риолиты; 8 – плагиограниты. Красными линиями выделены тектонические нарушения

Fig. 1. Geophysical survey results for the Revda intersection of the Serov-Mauk regional fault:

a – graphs of geomagnetic field induction modulus *1* and gamma exposure dose rate *2*; *b* – transformed section of AMT sounding; *c* – section of effective lateral conductivity combined with geological setting: 1 – weathering crust; 2 – shale rock; 3 – basalt; 4 – crush zone; 5 – serpentinite; 6 – volcanic tuff; 7 – rhyolite; 8 – plagiogranite. Red lines indicated tectonic faults

Мощность рыхлых отложений в пределах профиля изменяется от 1 до 20 м. Поверхностные отложения, содержащие глину, отличаются самыми низкими значениями удельных сопротивлений (12–25 Ом · м). При увеличении песчано-щебенистой фракции сопротивления рыхлых пород могут повышаться до 100–200 Ом · м и выше. Коренные породы имеют значительно более высокие электрические сопротивления и характеризуются широким разбросом значений – от 150–200 Ом · м до 5000–10 000 Ом · м. Контакт базальтоидов Зюзельской свиты с меланжевыми известняками терригенно-карбонатной толщи отображается понижением сопротивления и гамма-поля на пикете ПК50. На Ревдинском участке Серовско-Маукский разлом разделен на две ветви серпентинизированным ультраосновным массивом и осложнен зонами дробления [12]. Западная зона серпентинитового меланжа перспективна на силикатно-никелевое оруденение, локализующееся в карстовых полостях верхней части карбонатной толщи. Южнее, недалеко от профиля, находится Петровское никель-кобальтовое месторождение и целый ряд рудопроявлений. В пределах ультраосновного массива встречается минерализация сульфидно-никелевой формации. Серпентинизированные породы массива хорошо выделяются магниторазведкой резким повышением магнитного поля на 2000–4000 нТл, а их тектонические границы, являющиеся ветвями разлома, хорошо выделяются на геоэлектрических разрезах низкоомными линейными аномалиями (ПК70 и ПК140). Восточная ветвь разлома отделяет ультрабазиты от рудоносной Дегтярской свиты, сложенной вулканическими туфами основного состава (ПК140–200). Широкая зона дробления, приуроченная к контакту этих пород, отмечается положительной радиационной аномалией в интервале пикетов ПК110–ПК170 (рис. 1, *а*) и общим снижением УЭС на всю глубину геоэлектрического разреза (рис. 1, *б*). Радиометрия, несмотря на слабую интенсивность гамма-излучения, уверенно разделяет по уровням естественного фона комплексы пород Тагильской и Восточно-Уральской мегазон. Подчеркнем, что вулканогенно-осадочные породы Дегтярской свиты относятся уже к комплексу пород Восточно-Уральского поднятия (*Калугина Р. Д., Копанев В. Ф., Стороженко Е. В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Среднеуральская. Лист О-41-XXV. Объяснительная записка. М.: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2017. 156 с.*). Среди туфов в пределах свиты залегают субвулканические тела риолитов (ПК200–ПК230). Контакт между туфами и риолитами Дегтярской свиты выделяется положительной магнитной аномалией около 500 нТл в районе пикета ПК200. Завершающий участок профиля (ПК230–ПК260) слагают плагиограниты Новоалексеевского массива. Гранитоиды Дегтярского субвулканического комплекса близки по составу Новоалексеевским плагиогранитам и не отличаются в физических полях, поэтому район контакта выделяется с трудом по небольшому снижению электрического сопротивления и увеличению мощности рыхлых отложений.

Заключение. В результате выполненных работ построены качественные разрезы электрофизических параметров среды, а также графики магнитного и радиационного полей на Ревдинском профиле, пересекающем Серовско-Маукский разлом. Определены признаки границ раздела основных геологических объектов по изменениям физических свойств. Выделены литологические и тектонические границы сложного комплекса пород, примыкающих к региональному разлому по характерным аномалиям геофизических параметров. Результаты геофизики неплохо согласуются с реальной геологической обстановкой района исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Shan C., Kalscheuer T., Pedersen L. B., Erlström M., Persson L. Portable audio magnetotellurics-experimental measurements and joint inversion with radiomagnetotelluric data from Gotland, Sweden // Journal of Applied Geophysics. 2017. Vol. 143. P. 9–22.
2. Tarabees E. A., Tewksbury B. J., Mehrtens C. J., Younis A. Audio-magnetotelluric surveys to constrain the origin of a network of narrow synclines in Eocene limestone, Western Desert, Egypt // Journal of African Earth Sciences. 2017. Vol. 136. P. 168–175.
3. Lahti I., Kontinen A., Nykänen V. AMT survey in the Outokumpu ore Belt, Eastern Finland // Exploration Geophysics. 2019. Vol. 50. No. 4. P. 351–363.
4. Agyemang V. O. Application of magnetotelluric geophysical technique in delineation of zones of high groundwater potential for borehole drilling in five communities in the Agona East District, Ghana // Applied Water Science. 2020. Vol. 10. No. 6. P. 1–6.
5. Chang P. Y., Ho G. R., Chen C. C., Hsu H. L., Chen C. S., Yeh E. C. An analysis of the subsurface fault systems with audio-magnetotelluric surveys in the western Ilan Plain of NE Taiwan // Terrestrial, Atmospheric & Oceanic Sciences. 2020. Vol. 31. No. 5. P. 551–564.
6. Давыдов В. А. Измерительная аппаратура OMAP-2 для электромагнитных методов исследований // Уральский геофизический вестник. 2015. № 1(25). С. 37–41.
7. Cagniard L. Basic theory of the magnetotelluric method in geophysical prospecting // Geophysics. 1953. No. 18. P. 605–635.
8. Анищенко Г. Н. О трансформациях импеданса при магнитотеллурических зондированиях // Прикладная геофизика. 1994. Вып. 130. С. 48–66.
9. Давыдов В. А. Способ преобразования аудиомагнитотеллурических данных с учетом априорной информации // Геофизические исследования. 2016. Т. 17. № 4. С. 57–66.
10. Инструкция по магниторазведке. Л.: Недра, 1981. 263 с.
11. Давыдов В. А. Геоэлектрическое строение зоны Дегтярского разлома на Среднем Урале по данным аудиомагнитотеллурических зондирований // Геофизический журнал. 2020. Т. 42. № 3. С. 162–174.
12. Ефимов А. А. Габбро-гипербазитовые комплексы Урала и проблема офиолитов. М.: Наука, 1984. 232 с.

Поступила в редакцию 18 января 2021 года

Сведения об авторах:

Давыдов Вадим Анатольевич – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН. E-mail: davyde@yandex.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2021-2-64-69

Geophysical research at the Revda intersection of the Serov-Mauk regional fault

Vadim A. Davydov[1]
[1] Bulashevich Institute of Geophysics UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Research aim *is to study the characteristic features of geophysical fields over the main geological structures in the zone of influence of the Serov-Mauk regional fault in the Middle Urals.*

Methodology. *Electromagnetic studies included an express version of audiomagnetotelluric sounding (AMT) with a broadband OMAR-2m receiver (Institute of Geophysics UB RAS, Ekaterinburg). Office processing is based on obtaining frequency spectra of impedance using fast Fourier transform, and their transformation into deep sections of electrophysical parameters of the medium. Magnetic prospecting was carried out using GEM GSM-19T proton magnetometer (GEM Systems, Canada). Gamma-field survey was carried out with a survey radiometer SRP-68-01 (Electron, Zhovti Vody).*

Results. *Based on observation processing results, high-quality sections of electrical resistivity and effective longitudinal conductivity were constructed on the parametric profile, as well as graphs of magnetic and radiation fields. The studies revealed features of change in the electrophysical parameters and potential fields over various geological structures of the near-contact fault zone.*

Summary. *The signs of the main geologic features border lines were identified by changes in physical properties. The lithological and tectonic boundaries have been identified of a complex rock assemblage adjacent to the regional fault according to the characteristic anomalies of geophysical parameters. Geophysical survey results comply with the real geological conditions of the study area.*

Key words: *integrated geophysical survey; fault zone, tectonics, audiomagnetotelluric sounding, geoelectric section.*

REFERENCES

1. Shan C., Kalscheuer T., Pedersen L. B., Erlström M., Persson L. Portable audio magnetotellurics-experimental measurements and joint inversion with radiomagnetotelluric data from Gotland, Sweden. *Journal of Applied Geophysics*. 2017; 143: 9–22.

2. Tarabees E. A., Tewksbury B. J., Mehrtens C. J., Younis A. Audio-magnetotelluric surveys to constrain the origin of a network of narrow synclines in Eocene limestone, Western Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*. 2017; 136: 168–175.

3. Lahti I., Kontinen A., Nykänen V. AMT survey in the Outokumpu ore Belt, Eastern Finland. *Exploration Geophysics*. 2019; 50 (4): 351–363.

4. Agyemang V. O. Application of magnetotelluric geophysical technique in delineation of zones of high groundwater potential for borehole drilling in five communities in the Agona East District, Ghana. *Applied Water Science*. 2020; 10 (6): 1–6.

5. Chang P. Y., Ho G. R., Chen C. C., Hsu H. L., Chen C. S., Yeh E. C. An analysis of the subsurface fault systems with audio-magnetotelluric surveys in the western Ilan Plain of NE Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric & Oceanic Sciences*. 2020; 31 (5): 551–564.

6. Davydov V. A. Measuring equipment OMAR-2 for electromagnetic methods of researches. *Uralskii geofizicheskii vestnik = Ural Geophysical Herald*. 2015; 1(25): 37–41.

7. Cagniard L. Basic theory of the magnetotelluric method in geophysical prospecting. *Geophysics*. 1953; 18: 605–635.

8. Anishchenko G. N. On impedance transformations during magnetotelluric sounding. *Prikladnaia geofizika = Applied Geophysics*. 1994; 130: 48–66. (In Russ.)

9. Davydov V. A. Audio magnetotelluric data transformation using a priori information. *Geofizicheskie issledovaniia = Geophysical Research*. 2016; 17 (4): 57–66. (In Russ.)

10. *Instruction on magnetic survey*. Leningrad: Nedra Publishing; 1981. (In Russ.)

11. Davydov V. A. Geoelectric structure of the tar fault zone in the Middle Urals according to audiomagnetotelluric soundings. *Geofizicheskii zhurnal = Geophysical Journal*. 2020; 42 (3): 162–174. (In Russ.)

12. Efimov A. A. *Ural gabbro-ultrabasite complexes and the problems of ophiolitics*. Moscow; Nauka Publishing; 1984. (In Russ.)

Received 18 January 2021

Information about authors:

Vadim A. Davydov – PhD (Geology and Minaralogy), senior researcher, Bulashevich Institute of Geophysics UB RAS. E-mail: davyde@yandex.ru

Для цитирования: Давыдов В. А. Геофизические исследования на Ревдинском пересечении Серовско-Маукского регионального разлома // Известия вузов. Горный журнал. 2021. № 2. С. 64–69. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-2-64-69

For citation: Davydov V. A. Geophysical research at the Revda intersection of the Serov-Mauk regional fault. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2021; 2: 64–69 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2021-2-64-69