

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПОЛИГОНЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «СВЕРДЛОВСКОЕ»

ДАВЫДОВ В. А., БАЙДИКОВ С. В., ГОРШКОВ В. Ю., МАЛИКОВ А. В.,
ФЕДОРОВА О. И., АСТАФЬЕВ П. Ф.

Для проведения опытно-методических работ на золоторудном месторождении «Свердловское» выбран участок и отработан геофизический полигон площадью 1,2 км². На месторождении впервые проведен комплекс геофизических исследований, включающий: площадную магнитную и радиометрическую съемки; профильные гравиметрические и электроразведочные работы. По магнитным и радиометрическим данным выделен тектонический контакт и переходная зона измененных горных пород, к которому приурочено оруденение. На геоэлектрических разрезах, полученных по результатам вертикальных электрических и индукционных зондирований, выделяются рельеф и приконтактные зоны коренных пород. Обустроенный полигон Института геофизики УрО РАН на территории месторождения золота «Свердловское» отвечает всем необходимым требованиям по проведению полевых опытно-методических и научных исследований, что позволяет отрабатывать на нем новые геофизические методы и технологии поиска и разведки золоторудных месторождений.

Ключевые слова: испытательный полигон; комплексные геофизические исследования; параметрический профиль; электромагнитные зондирования.

Геофизические исследования относятся к косвенным методам изучения природной среды, поэтому для получения объективной информации о геологическом разрезе требуется подтверждение (заверка) получаемых результатов с помощью бурения или горных работ. В настоящее время это не всегда возможно из-за общего сокращения геологоразведочных работ и совместных научно-исследовательских проектов производственных и научных организаций. Для проведения опытно-методических работ необходимо обустройство полигонов с уже известным геологическим строением, желательно на базе разведанных месторождений.

Полигоны для научных исследований направлены на решение следующих задач [1]:

- сравнительные испытания новой геофизической аппаратуры;
- опробование новых методов исследований, проведение опытно-методических работ;
- моделирование полей в естественных условиях и проверка способов интерпретации;

Давыдов Вадим Анатольевич – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник. 620016, г. Екатеринбург, ул. Амурдсена, 100, Институт геофизики УрО РАН. E-mail: davyde@yandex.ru

Байдилов Сергей Владимирович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник. 620016, г. Екатеринбург, ул. Амурдсена, 100, Институт геофизики УрО РАН. E-mail: badikek@mail.ru

Горшков Виталий Юрьевич – младший научный сотрудник. 620016, г. Екатеринбург, ул. Амурдсена, 100, Институт геофизики УрО РАН. E-mail: vitalaa@yandex.ru

Маликов Александр Владимирович – младший научный сотрудник. 620016, г. Екатеринбург, ул. Амурдсена, 100, Институт геофизики УрО РАН. E-mail: alex.mal.1986@mail.ru

Федорова Ольга Ивановна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник. 620016, г. Екатеринбург, ул. Амурдсена, 100, Институт геофизики УрО РАН. E-mail: fougeo@mail.ru

Астафьев Павел Федорович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник. 620016, г. Екатеринбург, ул. Амурдсена, 100, Институт геофизики УрО РАН.

- мониторинг физических полей и геологических процессов;
- изучение физических свойств горных пород и руд в естественном залегании.

Институтом геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН (ИГФ УрО РАН) в середине прошлого века были проведены геологические исследования на золоторудном месторождении «Свердловское». Для отработки геофизического полигона сотрудниками института был выбран участок, охватывающий основные структурные элементы месторождения, и впервые выполнены комплексные исследования различными геофизическими методами.

Характеристика объекта. Свердловское месторождение расположено в экзо- и эндоконтакте Верх-Исетского массива гранитоидов (C_2). Последний в пределах рассматриваемого объекта граничит с юга с габбро (D_2), а с востока – с метаморфическими зеленосланцевыми породами вулканогенно-осадочной толщи (S_1). Золотое оруденение приурочено к кварцевым жилам, оперяющим разлом, фиксирующий контакт габбро с гранитами-адамеллитами [2]. Месторождение состоит из двух участков – южного и северо-западного, которые обрабатывались до Второй мировой войны. На наиболее перспективном южном участке были пройдены четыре шахты и ряд шурфов, некоторые горные выработки и разведочные каналы сохранились до сих пор. Кварцевые жилы южной части месторождения залегают в габбро, а на северо-западе – в гранитах, некоторые жилы выходят из гранитов в габбро. Более распространенными являются жилы северо-восточного простирания мощностью до 1–1,2 м. Имеются также менее мощные жилы (0,3–0,5 м) северо-западной и субмеридиональной ориентировки [3]. Среднее содержание золота в кварце при отработке составляло 10–12 г/т, в штуфных пробах концентрация доходила до 23 г/т.

Геофизический полигон площадью около 1,2 км² расположен на территории южного участка. Главными породами месторождения являются габбро и граниты-адамеллиты, включающие околорудные метасоматиты – березиты и листовиты. Площадь повсеместно перекрыта слоем рыхлых отложений (от первых метров до 10 м и более), состоящих из элювиально-делювиальных суглинков коры выветривания с сохранившимися валунами коренных пород. В районах залегания гранитов кроме суглинков распространены супесчаные и дресвяно-щебенистые грунты. На участке пробурено четыре скважины, три из которых глубиной более 50 м. В составе полигона размечен контрольный параметрический профиль длиной более 1 км, пересекающий основные вмещающие породы и область тектонического контакта с отработанной кварцевой жилой.

Методы исследований. Магниторазведка выполнялась протонными магнитометрами ММП-203 (завод «Геологоразведка», г. Ленинград) и POS (УГТУ-УПИ, г. Екатеринбург). Измерения полного вектора магнитного поля Земли проводились в соответствии с действующими методическими указаниями [4, 5]. Полевые наблюдения осуществлялись с шагом 5 м по системе профилей, ходами, замкнутыми на точках опорной сети, без использования магнитовариационной станции. Опорная сеть была разбита по магистралям, соединяющим начало и концы профилей. Оценка условий работы с последующей увязкой измеренных значений геомагнитного поля осуществлялась на контрольных пунктах (КП). Качество съемки оценивалось по повторным наблюдениям на профилях и по измерениям на КП перед началом и в конце рабочего дня. Предварительная обработка магниторазведочных данных заключалась в приведении профильных наблюдений к единому уровню. В расчет брались невязки на точках опорной сети, полученных при замыкании хода, и на КП участка. Окончательная увязка площадной съемки выполнялась по завершению работ. Магниторазведочные работы разных лет пересчитаны на период 2010 года. В результате была построена карта полного вектора магнитного поля T всей площади полигона.

Гравиметрия проводилась высокоточным гравиметром Autograv CG-5 (Scintrex, Канада) с шагом 20 м по однократной методике с одним гравиметром, с замыканием рейса на опорном гравиметрическом пункте. Приблизительные отметки высот профиля наблюдений в Балтийской системе координат получены со спутниковых снимков Google и Яндекс. Относительные превышения между пунктами наблюдений измерены с помощью оптического нивелира Leica NA320. Полевые работы и камеральная обработка материалов съемки выполнены в соответствии с действующими стандартами [6]. Значения силы тяжести вычислялись в редукции Фая и Буге, конечный результат представлен в форме графика локального гравитационного поля Δg_d (с вычетом регионального фона).

Радиометрия проведена по всей площади полигона в форме съемки интенсивности гамма-излучения. Выполнялась сцинтилляционным геологоразведочным радиометром СРП-88Н (завод «Электрон», г. Желтые Воды) с шагом 10 м по системе произвольных профилей. При построении карты радиационного поля применялось гауссовское сглаживание.

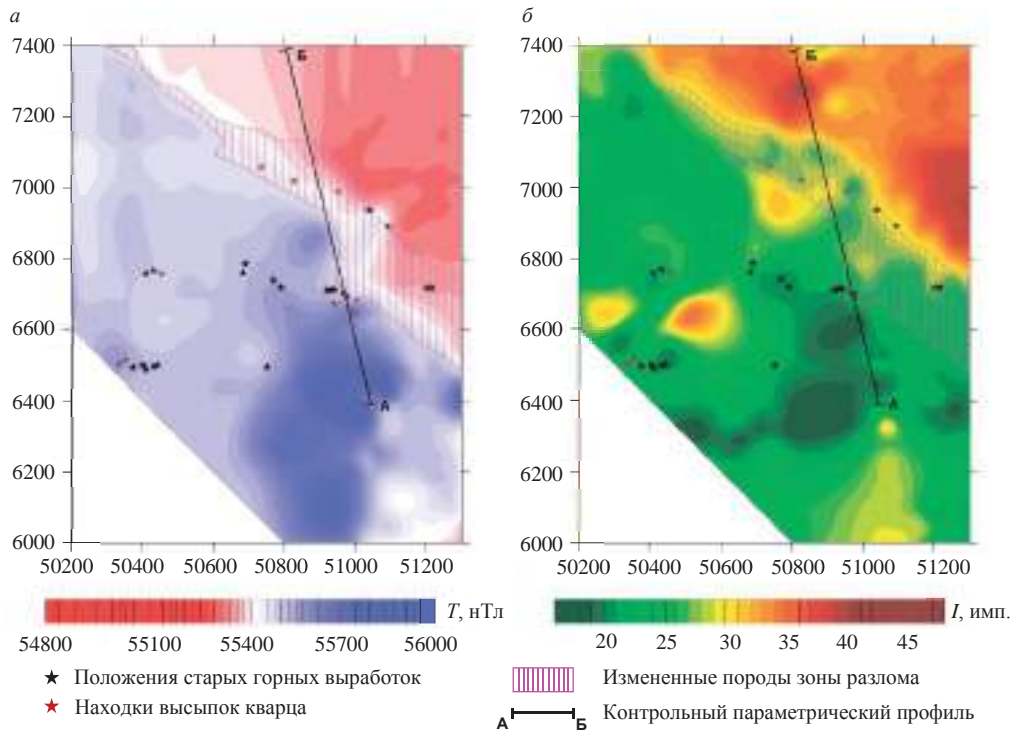


Рис. 1. Карта магнитного и радиационного поля Свердловского полигона

Электроразведка методом вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) выполнялась с использованием стандартной методики работ [4]. Измерения проводились с помощью комплектов аппаратуры ЭРА-ЗНАК и ERA-MAX (НПП «ЭРА», г. Санкт-Петербург). При работе использовалась симметричная 4-электродная установка Шлюмберже (AMNB) с приемной линией $MN = 2$ м. Питающие электроды разносились на расстояние $AB/2$ до 100 м. Измерения выполнялись на частоте 4,88 Гц при токе в питающей линии от 5 до 50 мА. Точки зондирования располагались по профилю с шагом 50 м, на участках детализации – через 25 м.

Интерпретация полученных данных проведена в программе Zond-IP [7], разработанной в лаборатории импульсной электроразведки ВИРГ-Рудгеофизика. Для определения количественных параметров – мощностей и удельных электри-

ческих сопротивлений ($УЭС$) основных слоев геологического разреза была выполнена одномерная инверсия данных. В результате интерпретации построен 1D геоэлектрический разрез, отображающий особенности строения и характер изменения электрических свойств вдоль контрольного профиля.

Дистанционные индукционные зондирования (ДИЗ) выполнены аппаратурой МЧЗ-8 [8] по отработанной ранее методике работ [9]. Возбуждающее поле частотой 10 кГц генерировалось вертикальным магнитным диполем, измерялись две ортогональные составляющие магнитного поля – вертикальная H_z и горизонтальная H_r . Точки зондирования располагались по профилю с шагом 20–25 м,

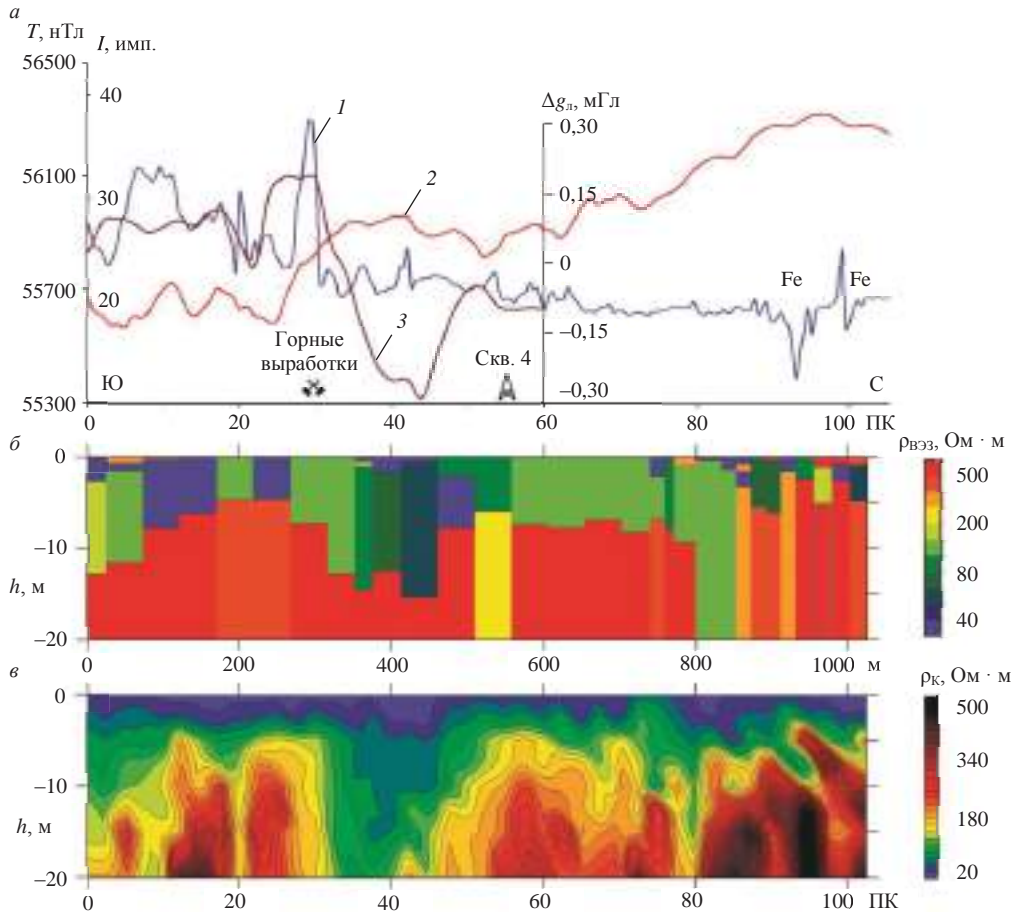


Рис. 2. Графики и разрезы по параметрическому профилю Свердловского полигона: a – графики полного вектора магнитного поля T (1), интенсивности гамма-излучения I (2) и локального поля силы тяжести Δg_n (3); b – геоэлектрический разрез ВЭЗ; v – разрез КС дистанционных индукционных зондирований ($f = 10$ кГц)

при этом приемник оставался на месте, а генератор последовательно относился на расстояние от 5 до 80 м. Эффективная глубина исследований принята равной четверти разноса. Кажущееся сопротивление (КС) рассчитывалось по стандартной формуле для низкочастотной асимптотики [10]. Для визуализации результатов ДИЗ строились качественные разрезы КС.

Результаты работ. По результатам площадной съемки физические поля на участке характеризуются двумя выраженными уровнями нормального поля. Это особенно заметно на картах магнитного и радиационного полей (рис. 1).

Область распространения габбро характеризуется повышенным уровнем магнитного поля и низкой радиоактивностью. На площади залегания гранитов наблюдается противоположная ситуация – низкое магнитное поле и повышенная интенсивность гамма-излучения. Форма ступенчатого перепада у обоих физических полей схожа, однако их положение в плане не совпадает. Из геологии месторождения известно, что тектонический контакт между габбро и гранитами на южном участке проходит с северо-запада на юго-восток, что совпадает с простираем градиентных переходов.

Таким образом, перепад уровней полей напрямую связан с зоной разлома, но выделяет разные границы по характеру изменения магнитной восприимчивости и содержанию радиоактивных элементов. Выделенная переходная зона относится к измененным породам, которые отличаются по физическим свойствам как от габбро, так и от гранитов. Ширина этой зоны колеблется в пределах от нескольких метров в северо-западной части до почти 300 м на востоке участка, где она была вскрыта канавой при прокладке водопроводной магистрали по ул. Амундсена. При осмотре канавы выяснено, что переходная зона состоит из интенсивно смятых и раздробленных пород субвертикальной зональности, преимущественно габбро, со следами метасоматической переработки. Встречаются области рассланцевания пород и брекчии с включениями крупных обломков гранитов и габбро. Исходя из планового расположения, кварцевые жилы тяготеют к краевым частям тектонической зоны, хотя встречаются и на значительном расстоянии от нее (до 800 м). Судя по направленности найденных горных выработок и высыпок кварца, удаленные жилы могут иметь продолжение в сторону разлома, а их отработка проводилась только в локальных раздувах.

Глубинное строение геологического разреза подробно изучалось геофизическими методами исследований на протяжении нескольких лет. На рис. 2 представлены только наиболее показательные результаты, полученные в последнее время на контрольном параметрическом профиле.

Коренные породы в начале контрольного профиля представлены габбро, они были обнажены траншеей неподалеку от ПК03. В районе пикетов ПК29–32 наблюдаются старые выработки: канавы и ямы, в отвалах которых найдены образцы окварцованных и лимонитизированных апогаббровых лиственитов, молочно-белого кварца с полуокисленным пиритом, брекчии с обломками гранита. Из этого можно сделать вывод, что данная отработанная жила находится в краевой зоне тектонического контакта. Заметим, что именно к ней приурочены положительная магнитная аномалия величиной 500 нТл, ступенчатый перепад гамма-активности и начало гравитационного спада перед переходной зоной (рис. 2, *а*). Узкие магнитные аномалии наблюдаются и в других местах разработки кварцевых жил, однако на сглаженной карте магнитного поля они малозаметны. Вероятно, окварцевание сопровождалось привнесом железа в геохимической обстановке, благоприятствующей образованию магнетита, что дает возможность выделять маломощные жилы с помощью магниторазведки. За пикетом ПК30 следует зона дробления и трещиноватости, характеризующаяся минимальными значениями локальной составляющей силы тяжести, пониженными значениями УЭС и увеличенной мощностью рыхлых отложений (рис. 2, *б*, *в*).

Геоэлектрический разрез довольно достоверно выделяет рельеф поверхности коренных пород, что подтверждается проведенными ранее сейсмическими исследованиями [11] и заверочной скважиной, пробуренной на ПК55. На положение наиболее ослабленных зон повышенной проницаемости (ПК40–45 и ПК82–87) указывает увеличение объемной активности радона в почвенном воздухе. Также известно об обводненном характере этих зон, что подтверждают повышенные

значения эффективной продольной проводимости по результатам аудиоманнителлурических зондирований [12] и ДИЗ (рис. 2, з). Мониторинг подземных вод горизонта осуществляется в наблюдательной гидрогеологической скважине к западу от профиля, напротив ПК45. Северная граница тектонического контакта располагается в районе ПК85, она отмечается аномально низкими значениями УЭС по результатам электромагнитных зондирований и по ступенчатому повышению радиоактивности. Далее по профилю встречаются только граниты, при этом мощность рыхлых отложений меньше, чем на площади распространения габбро, и продолжает монотонно снижаться к северу вплоть до появления обнажений на северо-западном участке. Над гранитами магнитное поле выходит на минимальный уровень, осложняясь только за счет помех искусственного происхождения. Например, отрицательная аномалия на ПК92 связана с канализационной трубой, а знакопеременная аномалия в районе ПК100 – со стихийной свалкой бытовых отходов (рис. 2).

Интересным представляется сравнение результатов электрических и индукционных зондирований. Можно отметить, что даже без количественной обработки ДИЗ на разрезе кажущихся сопротивлений хорошо видны все характерные особенности глубинного строения, выделяемые на геоэлектрическом разрезе ВЭЗ. При этом на индукционных разрезах КС более контрастно отображаются вертикальные границы разделов, какими являются краевые зоны тектонического контакта.

На золоторудном месторождении «Свердловское» обустроен геофизический полигон ИГФ УрО РАН. Впервые здесь проведен комплекс геофизических исследований, включающий магнитную, радиометрическую, гравиметрическую съемки и электроразведочные работы. Проложен и отработан параметрический профиль, проходящий через основные вмещающие породы. По результатам работ выделены субмеридиональный тектонический разлом, переходная зона измененных горных пород в районе контакта, а также рельеф коренных пород и области повышенной проницаемости в верхней части геологического разреза.

Полигон отвечает всем необходимым требованиям по проведению полевых опытно-методических и научных исследований. Месторождение является примером классического золото-кварцевого оруденения уральского типа, что позволяет отрабатывать на нем новые геофизические методы и технологии поиска и разведки золоторудных месторождений.

Работа выполнена при частичной поддержке проекта фундаментальных исследований № 18-5-5-38 комплексной программы УрО РАН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Франтов Г. С. О полигонах для электроразведки // Электромагнитные методы при исследовании земных недр: сб. статей / УНЦ АН СССР. Свердловск, 1983. С. 108–112.
2. Золотооруденение Екатеринбургского геологического полигона / В. Н. Сазонов [и др.]. Екатеринбург: УГГГА, 1997. 225 с.
3. Иванов А. А. Геология коренных месторождений золота на Урале // Тр. Горно-геол. ин-та УФ АН СССР. 1948. № 16. С. 45–52.
4. Инструкция по магниторазведке / под ред. З. С. Смеляновой, В. С. Селиванова. Л.: Недра, 1981. 263 с.
5. Магниторазведка: справочник геофизика / под ред. В. Е. Никитского, Ю. С. Глебовского. М.: Недра, 1990. 470 с.
6. Гравиразведка: справочник геофизика / под ред. Е. А. Мудрецовоной, К. Е. Веселова. М.: Недра, 1990. 607 с.
7. Каминский А. Е. Программа для интерпретации ВЭЗ Zond-IP: руководство пользователя. СПб.: ВИРГ-Рудгеофизика, 2002. 22 с.
8. Байдиков С. В., Человечков А. И. Аппаратура для высокочастотных индукционных зондирований МЧЗ-8 // Уральский геофизический вестник. 2011. № 1. С. 4–8.
9. Титлинов В. С., Журавлева Р. Б. Технология дистанционных индуктивных зондирований. Екатеринбург: Наука, 1995. 58 с.

10. Вешев А. В., Ивочкин В. Г., Игнатъев Г. Ф. Электромагнитное профилирование. Л.: Недра, 1971. 216 с.

11. Давыдов В. А. Спектральный анализ данных микросейсмических зондирований // Геофизика. 2015. № 1. С. 72–77.

12. Давыдов В. А. Способы обработки аудиоманнитотеллурических экспресс-зондирований // Известия Уральского государственного горного университета. 2016. Вып. 4(44). С. 41–44.

Поступила в редакцию 5 февраля 2018 года

RESULTS OF COMPLEX GEOPHYSICAL RESEARCH ON THE TEST SITE OF SVERDLOVSKOE DEPOSIT

Davydov V. A., Baidikov S. V., Gorshkov V. Iu., Malikov A. V., Fedorova O. I., Astaf'ev P. F. – Institute of Geophysics, the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, the Russian Federation. E-mail: davyde@yandex.ru

Geophysical test site with area of 1.2 km² on the Sverdlovskoe gold field was selected for experimental and methodological works. On this deposit the first time complex of geophysical research was carried out, including areal magnetic and radiometric surveys, and linear gravimetric and electroprospecting surveys. According to magnetic and radiometric data, tectonic contact and a transition zone of altered rocks are distinguished, the mineralization is confined to. The geoelectric cross sections, obtained from the results of vertical electrical and induction soundings, distinguish the topography and the contact zones of bedrock. The test site of the Institute of Geophysics UB RAS, equipped on the territory of the Sverdlovskoe gold field, meets all the necessary requirements for field experimental and methodological and scientific researches, which allows it to work off new geophysical methods and technologies of prospecting and exploration of gold fields.

Key words: test site; complex geophysical researches; parametric profile; electro-magnetic sounding.

REFERENCES

1. Frantov G. S. [Regarding test sites for electroprospecting]. *Elektromagnitnye metody pri issledovanii zemnykh nedr: sb. statei* [Collection of works "Electromagnetic methods when investigating the interior part of the Earth"]. Ural Scientific Center of AS USSR, Sverdlovsk, 1983, pp. 108–112. (In Russ.)
2. Sazonov V. N., and others. *Zolotoorudnenie Ekaterinburgskogo geologicheskogo poligona* [Gold mineralization of Ekaterinburg geological test site]. Ekaterinburg, UrSMU Publ., 1997. 225 p.
3. Ivanov A. A. [Geology of primary gold fields of the Urals]. *Trudy gorno-geologicheskogo instituta UF AN SSSR – Proceedings of the Mining and Geological Institute of the Ural Branch of AS USSR*, 1948, no. 16, pp. 45–52. (In Russ.)
4. *Instruktsiia po magnitorazvedke / pod red. Z. S. Smelianovoi, V. S. Selivanova* [Instruction on magnetic prospecting. Edited by Smelianova Z. S., Selivanov V. S.]. Leningrad, Nedra Publ., 1981. 263 p.
5. *Magnitorazvedka: spravochnik geofizika / pod red. V. E. Nikitskogo, Iu. S. Glebovskogo* [Reference book of a geophysicist "Magnetic prospecting". Edited by Nikitskii V. E., Glebovskii Iu. S.]. Moscow, Nedra Publ., 1990. 470 p.
6. *Gravirazvedka: spravochnik geofizika / pod red. E. A. Mudretsovoi, K. E. Veselova* [Reference book of a geophysicist "Gravity measurements". Edited by Mudretsova E. A., Veselov K. E.]. Moscow, Nedra Publ., 1990. 607 p.
7. Kaminskii A. E. *Programma dlia interpretatsii VEZ Zond-IP: rukovodstvo pol'zovatel'ia* [Users manual "Program for the interpretation of VES Zond-IP"]. St. Petersburg, VIRG-Rudgeofizika Publ., 2002. 22 p.
8. Baidikov S. V., Chelovechkov A. I. [Facilities for high-frequency induction sounding SFS-3]. *Ural'skii geofizicheskii vestnik – Ural Geophysical Bulletin*, 2011, no. 1, pp. 4–8. (In Russ.)
9. Titlinov V. S., Zhuravleva R. B. *Tekhnologiia distantsionnykh induktivnykh zondirovaniy* [Technology of remote induction soundings]. Ekaterinburg, Nauka Publ., 1995. 58 p.
10. Veshhev A. V., Ivочкин V. G., Ignat'ev G. F. *Elektromagnitnoe profilirovanie* [Electromagnetic profiling]. Leningrad, Nedra Publ., 1971. 216 p.
11. Davydov V. A. [Spectral analysis of microseismic sounding data]. *Geofizika – Geophysics*, 2015, no. 1, pp. 72–77. (In Russ.)
12. Davydov V. A. [Methods of developing audiomagnetotelluric express-soundings]. *Izvestiya Ural'skogo Gosudarstvennogo Gornogo Universiteta – News of the Ural State Mining University*, 2016, issue 4(44), pp. 41–44. (In Russ.)