

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ДЕТАЛЬНОМ ИЗУЧЕНИИ СКАРНОВЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРНОГО УРАЛА

В. Н. Глазнев*, И. В. Притыка*, В. И. Жаворонкин*, Р. А. Терентьев**, Д. П. Севастьянов*, П. П. Горских*

**Воронежский государственный университет*

***Институт минералогии и геохимии редких элементов, г. Москва*

Поступила в редакцию 15 сентября 2010 г.

Аннотация. В статье рассматриваются результаты применения комплекса наземных геофизических методов при решении задач картирования и детального изучения строения железорудных месторождения Северного Урала. Предложена методика детального картирования участков работ и комплекс методов для изучения верхней части разреза. Показана эффективность предлагаемых методов для решения поставленных задач.

Ключевые слова: магниторазведка, электроразведка, геологическое картирование.

Abstract. The article deal with the results of the combined geophysical investigation for the mapping tasks and detail investigation of the iron ores structure for Northern Ural. The methods of detail geological mapping and combined investigation of the upper part of the cross-sections have been proposed. The methods which have been proposed has a grate effects for solving mapping tasks.

Key words: magnetic survey, geoelectrical investigations, geological mapping

Введение

Применение геофизических методов для решения геологических картировочных задач является одним из составных элементов изучения закрытых территорий [1]. Геологическое картирование выполняется, как правило, с целью решения вопроса о пространственном размещении комплексов пород и их связи с возможными рудоконтролирующими зонами в районе работ. Для оценки картировочных возможностей геофизических методов необходимо определить, какие основные геологические факторы влияют на результаты геофизических наблюдений в районе исследований [2].

Объектами картирования в областях развития магматических пород Северного Урала являются разнообразные по форме, размерам, глубине залегания и минералогическому составу интрузивные и эффузивные образования. Контакты этих комплексов с вмещающими осадочными, магматическими или метаморфическими породами имеют самый различный характер: от резких до невыраженных постепенных. Для территории Северного Урала наиболее простой задачей является

картирование контактов изверженных пород с осадочными, т. е. в условиях, когда наблюдается резкое изменение физических свойств пород. Более сложен случай картирования контакта между различными магматическими или между магматическими и метаморфическими породами. Здесь различия по физическим свойствам весьма незначительны, и картирование контактов пород осуществляется не по изменению величины поля, а по смене его характера. Как правило, эффузивные и метаморфические породы характеризуются сложными «пестрыми» геофизическими полями, а интрузивные – более однородными геофизическими полями.

В данной работе рассматриваются результаты крупномасштабного геологического картирования, выполненного с помощью геофизических методов на ряде участков Северного Урала.

Геология района работ

В геологическом отношении в районе работ наличествует типичное контактово-метасоматическое месторождение железных руд, которое приурочено к зоне экзоконтакта интрузивного массива с силурийской вулканогенно-осадочной толщей (рис. 1). Вмещающая месторождение вулканогенно-осадочная толща в пределах рудного

© Глазнев В. Н., Притыка И. В., Жаворонкин В. И., Терентьев Р. А., Севастьянов Д. П., Горских П. П., 2010

поля сложена порфиритами андезитового и андезитобазальтового состава, а также их туфами с подчиненными редкими прослоями известняков (Л. Н. Овчинников, 1960; Э. В. Киркин, 1969; А. В. Чурсин, 2006 и др.). Главным рудным минералом является магнетит, причем образование магнетитовых руд месторождения связывается всеми исследователями с метасоматическим замещением прослоев известняка.

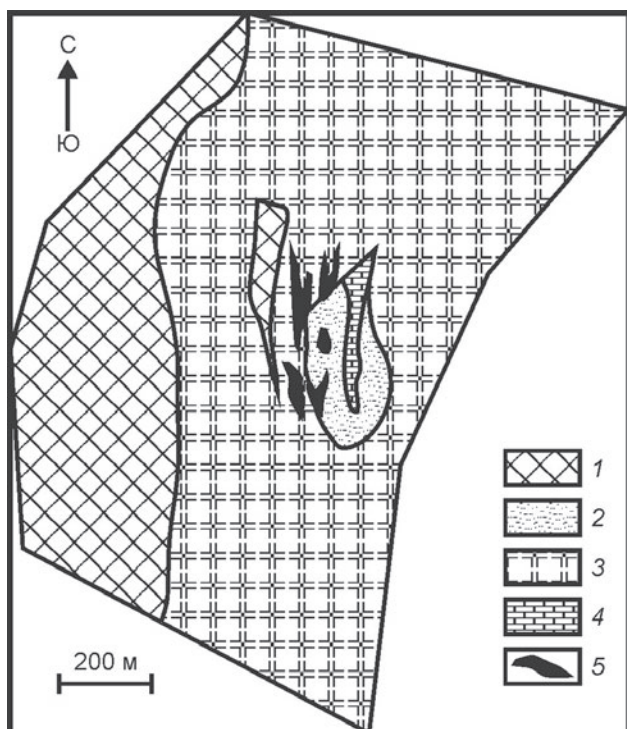


Рис. 1. Геологическая схема участка работ. Условные обозначения: 1 – гранодиориты, 2 – туфы андезитовых порфиритов, 3 – андезибазальты, 4 – известняки, 5 – тела магнетитовых руд

Структура месторождения существенно изменена пострудными тектоническими нарушениями. В пределах рудного поля толща резко делится на две части поперечным центральным сбросом. К югу от этого сброса породы в юго-западной части рудного поля падают на юго-запад под углом 5–10°, к востоку и югу постепенно выполаживаясь почти до горизонтального залегания. В результате вертикальных перемещений по Центральному и Северному поперечным (широтным) разломам, а также по Западному меридиональному разлому северная часть месторождения оказалась приподнятой, образуя горст. Большие амплитуды перемещений позволили вывести на поверхность наиболее глубокую рудную залежь вместе с подстилающими ее кварцевыми диоритами. Лежа-

щие выше рудные тела, наблюдающиеся в южной части месторождения, здесь оказались смытыми. В северной поднятой части месторождения вулканогенно-осадочные породы совместно с лежащей непосредственно на кварцевых диоритах рудной залежью имеют обратное падение на северо-восток с более крутым углом, заметно меняющимся на вертикальном разрезе: для поверхности диоритов и непосредственно перекрывающих ее слоев он равен 25–35° а в верхних частях уменьшается до 18–20°. Эти факты позволили высказать предположение о существовании здесь антиклинальной складки, образование которой связано с подпиранием вмещающих толщ массивом в процессе его формирования (Л. Н. Овчинников, 1960).

В геологическом отношении вся западная часть участка сложена гранодиоритами (рис. 1), наибольшее распространение которых отмечено для юго-западной области. К северу ареал распространения гранодиоритов постепенно сужается, выклиниваясь к северной части. По всей территории участка отмечается четкая граница между гранодиоритами и вулканогенными породами, представленными андезито-базальтами, занимающими большую часть территории участка. Исключение здесь составляет область в центре восточной части месторождения, где преобладают туфы андезитовых порфиритов, к которым и приурочено подавляющее количество рудных проявлений магнетита.

Результаты геофизического картирования

Принципиально важная граница между гранодиоритами и андезито-базальтами четко отмечается по результатам геофизических работ масштаба 1 : 10 000–1 : 5 000, проведенных авторами в 2009 г. на ряде участков Северного Урала. Особенно четко она проявляется в магнитном поле (рис. 2), по данным которого весь участок можно разделить на четыре зоны.

Первая зона – западная часть участка – охватывает практически половину площади исследований. Для этой зоны характерны невысокие положительные и отрицательные значения магнитного поля в пределах $\pm 50 \dots \pm 500$ нТл. Восточная граница гранодиоритов отмечается практически нулевыми значениями аномального поля, а западная граница с комплексом андезито-базальтов четко устанавливается по характерным значениям магнитного поля в диапазоне от 1000 и более нТл. Заметим, что в северной части отмечаются в основном отрицательные малоамплитудные поля,

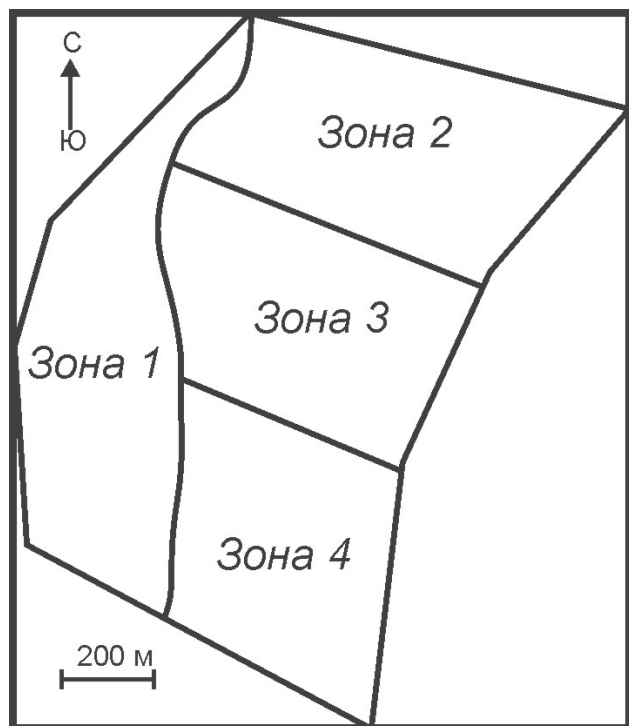


Рис. 2. Схема геолого-геофизического картирования участка по магнитным данным

а в южной части – положительные. В целом, по данным аномального магнитного поля ожидать в этой зоне каких-либо значимых месторождений магнетитовых либо сульфидных руд в верхней части разреза не представляется возможным.

Северо-западная часть участка представлена породами с интенсивными отрицательными значениями магнитного поля (до -4000 нТл). Согласно геологическим данным эта зона представлена андезито-базальтами, магнитную восприимчивость которых необходимо тщательно изучить для истолкования природы вышеозначенных магнитных полей. Одно из объяснений такого специфического характера магнитного поля в этой зоне можно дать из анализа геологического строения участка исследований, где на поверхность была выведена наиболее глубокая часть рудной залежи вместе с подстилающими ее кварцевыми диоритами. При этом лежащие выше руды, наблюдаемые в южной части территории участка, оказались смытыми. Другое объяснение базируется на том факте, что данная зона располагается вблизи положительных высокоинтенсивных аномальных значений поля, связанных с массивными магнетитовыми рудными телами, вследствие чего очевидна связь отрицательных высокоамплитудных значений с влиянием залегающих вблизи поверхности нижних границ рудных тел. Для выяснения причин

здесь можно рекомендовать капаметрические исследования пород в их естественном залегании. С помощью этих измерений в ряде случаев легко отбраковываются аномалии, связанные с сильно-магнитными породами, выходящими на дневную поверхность. В целом же, определение природы аномалий, связанных с погребенными и скрытыми телами, является наиболее трудной задачей магниторазведки. Ограниченность размеров тел по падению и простиранию, неоднородное распределение магнитных масс в скарново-магнетитовых зонах, нередко состоящих из серии небольших линз и жил, приводят к существенной неопределенности при вычислении значений намагниченности и магнитной восприимчивости пород.

Прилегающая с юга часть участка исследований представляет наибольший интерес как основной источник магнетитовых руд. Представлена эта зона туфами андезитовых порфиритов. В этой зоне обнаружены выходы известняков с метасоматическим замещением прослоев, которые все исследователи связывают с образованием магнетитовых руд. Вся территория, залегающая южнее третьей зоны, представлена андезито-базальтами, создающими значительные аномалии всех геофизических параметров. В этой зоне напряженность магнитного поля плавно убывает в направлении север–юг, что, вероятно, указывает на пологое погружение магнитных пород в этом направлении. Следует отметить весьма сложный характер магнитного поля непосредственно над месторождением (третья зона), которое меняется от $50\,000$ до $-10\,000$ нТл. Такой диапазон вариаций поля обусловлен наличием многочисленных рудных тел, переслаивающихся с практически немагнитными породами, наличием многочисленных тектонических нарушений и даек. К тому же рудные тела залегают вблизи земной поверхности и даже имеют выход на дневную поверхность, вследствие чего все изменения в форме рудных тел резко отражаются на структуре магнитного поля.

Результаты наших исследований позволяют утверждать, что решение задач геофизического картирования рудоконтролирующих зон по всем главным факторам: структурным, магматическим, литологическим и стратиграфическим – возможно на основе использования данных магниторазведки. Здесь структурный контроль оруденения базируется на том, что складчатые зоны контролируют внедрение рудоносных интрузий; региональные надвиги, сбросы, зоны смятия являются основными подводными каналами для рудооб-

разующих растворов; складчатые и разрывные структуры более мелкого масштаба контролируют распределение оруденения в пределах рудных полей и отдельных рудных тел.

Разрывные нарушения с точки зрения геофизики можно разделить на следующие разновидности: со смещением маркирующих горизонтов, без наложенной минерализации, с минерализацией трещинной полости. Нарушения со смещениями можно картировать независимо от характера нарушения, при этом выделяется не само нарушение, а только линия, вдоль которой происходит смещение маркирующего горизонта в плане, что достаточно наглядно иллюстрируется на рис. 3. Нарушение без наложенной минерализации характеризуется тем, что зона разрывного нарушения заполнена раздробленным материалом, за счет чего уменьшается электрическое сопротивление и плотность пород в зоне дробления. Кроме того, разрывные

нарушения являются путями проникновения в толщу пород минерализованных растворов или расплавов. В результате этих процессов трещинная полость оказывается заполненной минеральными веществами, образуются жилы, дайки, зоны измененных пород. Физические свойства этих зон зависят от вида минералов, насыщающих их. От этого же зависит применяемый для их картирования метод. Обогащение сульфидами (чаще всего пиритизация) уменьшает их сопротивление и обуславливает необходимость применения методов электроразведки. Окварцевание пород влечет за собой повышение их электрического сопротивления и уменьшение намагниченности, в силу чего возникает необходимость применения комплекса электроразведки и магниторазведки.

Таким образом, можно утверждать, что задачи геологического картирования могут быть реализованы по всем четырем факторам, контролирующим оруденение, – структурным, магматическим, стратиграфическим и литологическим. Задача картирования требует комплексирования данных магниторазведки и электроразведки, что значительно повышает достоверность картировочных геологических построений и играет существенную роль на этапе поисков железорудных и сульфидных месторождений на флангах известных месторождений Северного Урала.

Геофизические методы при поисках скарновых железорудных месторождений

На следующем этапе работ, когда уже решена задача геологического картирования, в ряде случаев возникает необходимость постановки задач поисков и разведки железорудных месторождений. Здесь полевые геофизические работы включали в себя магниторазведку, электроразведку методами естественного электрического поля (МЕП) и вызванной поляризации в модификациях симметричного электропрофилирования (СЭП-ВП) и точечного зондирования (ТЗ-ВП) в масштабе 1 : 10 000 с детализацией аномальных зон до 1 : 5000. Применяемый комплекс геофизических методов включает в себя методы, предназначенные для решения различных задач, дополняющих представление о геолого-геофизической ситуации участка исследований, а также позволяющие всесторонне изучить разные объекты согласно структуре и интенсивности магнитных и электрических полей различной природы. По результатам таких наблюдений на участке были построены и проанализированы карты наблюденного и ано-

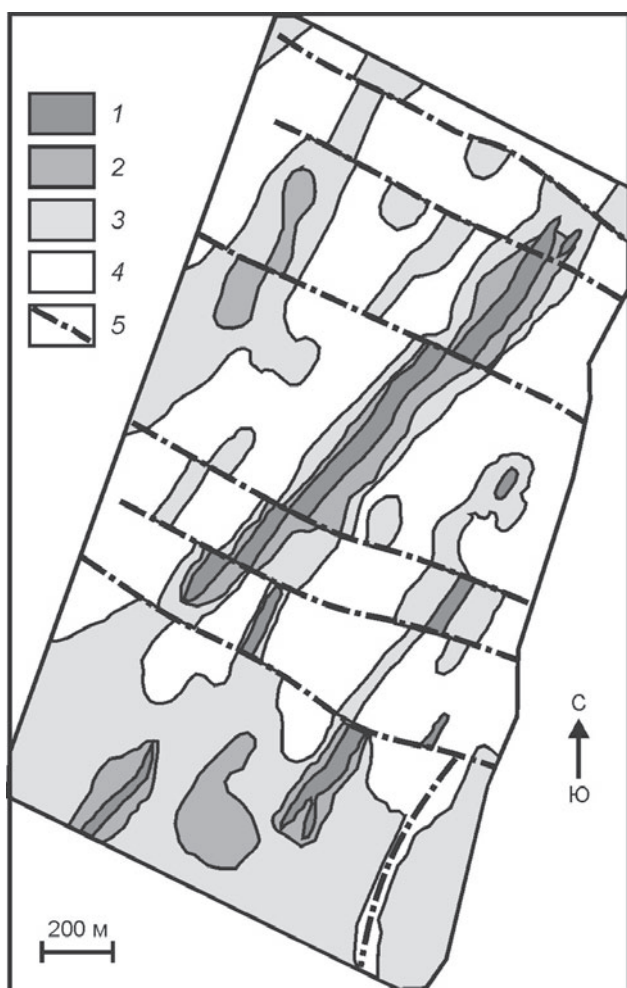


Рис. 3. Пример картирования тектонических нарушений по данным магниторазведки. Условные обозначения: 1–4 – контуры объектов различной намагниченности (от высокой –1 до низкой –4); 5 – разломы

мального магнитных полей, карты изоом кажущегося сопротивления, кажущейся поляризуемости, графиков кажущегося сопротивления и поляризуемости, а также потенциала естественного поля. На основе всех этих материалов была построена сводная геолого-геофизическая карта участка исследований.

Результаты магниторазведочных работ позволили выявить характерные особенности аномального магнитного поля, связанные с железорудной минерализацией (рис. 4). Здесь области высоких значений аномального магнитного поля (10 000–30 000 нТл), вероятно, обусловлены массивными или прожилковыми и густо вкрапленными магнетитовыми рудами. Размеры аномальной зоны составляют примерно 1500 × 750 м. На севере участка область положительных аномалий поля резко сменяется отрицательной аномалией с интенсивностью в первые тысячи нТл, что вполне можно объяснить пологим склонением подошвы магнетитовых руд на контакте с диамагнитными вмещающими породами. Область относительно повышенных значений аномального магнитного поля (4000–10 000 нТл), окаймляющая вышеописанную зону с юго-запада и юго-востока, вытянута в южном направлении до границы участка. Ширина этой зоны составляет примерно 300 м на севере, сужаясь до 150–200 м на юге. Несколько локальных зон такой же интенсивности, но меньших размеров (до сотни метров) отмечаются в центральной части участка.

Результаты электроразведочных работ методом вызванной поляризации позволили выделить зону высоких значений поляризуемости 2,5–7,5 % (рис. 5), характерную для массивных магнетитовых руд. Размеры этой аномальной зоны кажущейся поляризуемости практически в 1,5–2 раза меньше размеров зоны распространения магнетитов, выявленных по результатам магнитной съемки. Характерно также, что она располагается в центральной и западной части области высоких значений магнитного поля и окаймляется зоной повышенных значений кажущейся поляризуемости (1,5–3 %). В центральной части аномалии поляризуемости даже выходят за пределы области магнитной аномалии на 100–150 м. Причина такого пространственного несовпадения аномалий заключается в том, что метод вызванной поляризации, более чувствительный к рассеянной вкрапленности рудных минералов, позволил выделить аномалию от области с невысокой концентрацией рудного компонента, слабо проявившейся в маг-

нитном поле. Таким образом, можно предположить, что выявленная зона повышенных значений аномального магнитного поля и кажущейся поляризуемости порождена рудными сульфидно-магнетитовыми объектами вкрапленной текстуры с характерным пространственным изменением содержания рудного компонента в крест простирающей структуры.

На некоторых участках работ в результате геофизических исследований были получены классические аномалии метода вызванной поляризации в модификации симметричного электропрофилеирования (СЭП-ВП). Для таких аномалий характерны (см. рис. 6) повышенные значения кажущейся поляризуемости (до 3 %) и относительно низкие значения кажущегося сопротивления пород (до 1000 Ом·м). При этом аномальные зоны сочетаются с интенсивными магнитными аномалиями (до 8000 нТл) и аномалиями естественного электрического поля (до –40 мВ). В целом, совокупность таких аномальных признаков является прямым свидетельством наличия неглубоко залегающих массивных рудных тел с сульфидно-магнетитовой минерализацией. К сожалению, масштабы подобных аномалий не велики по размерам.

По результатам детальных работ методом ТЗ-ВП на отдельных профилях были построены псевдоразрезы кажущейся поляризуемости и кажущегося сопротивления [3; 4], отражающие основные неоднородности строения верхней части разреза. Пример таких интерпретационных построений приведен на рис. 7, где на разрезе кажущейся поляризуемости достоверно выделяются две зоны повышенной поляризуемости: восточная и центральная.

Восточная зона пространственно совпадает с выходом на дневную поверхность рудных тел среднего горизонта известного месторождения магнетитовых руд. Зона повышенной поляризуемости интерпретируется нами как сульфидное рудное тело, представленное прожилковой вкрапленной минерализацией, с крутым падением в западном направлении (до 75–85°) в приповерхностной части разреза, которое несколько выполаживается с глубиной. В разрезе аномалия поляризуемости совпадает с зоной пониженных значений кажущихся сопротивлений (до 1700–220 Ом·м), показанной на рис. 7, б. Эта часть разреза захватывает рудные тела известного месторождения и зону прожилково-вкрапленной сульфидной минерализации, которая приурочена к магнетитовым телам месторождения и распространяется во вме-

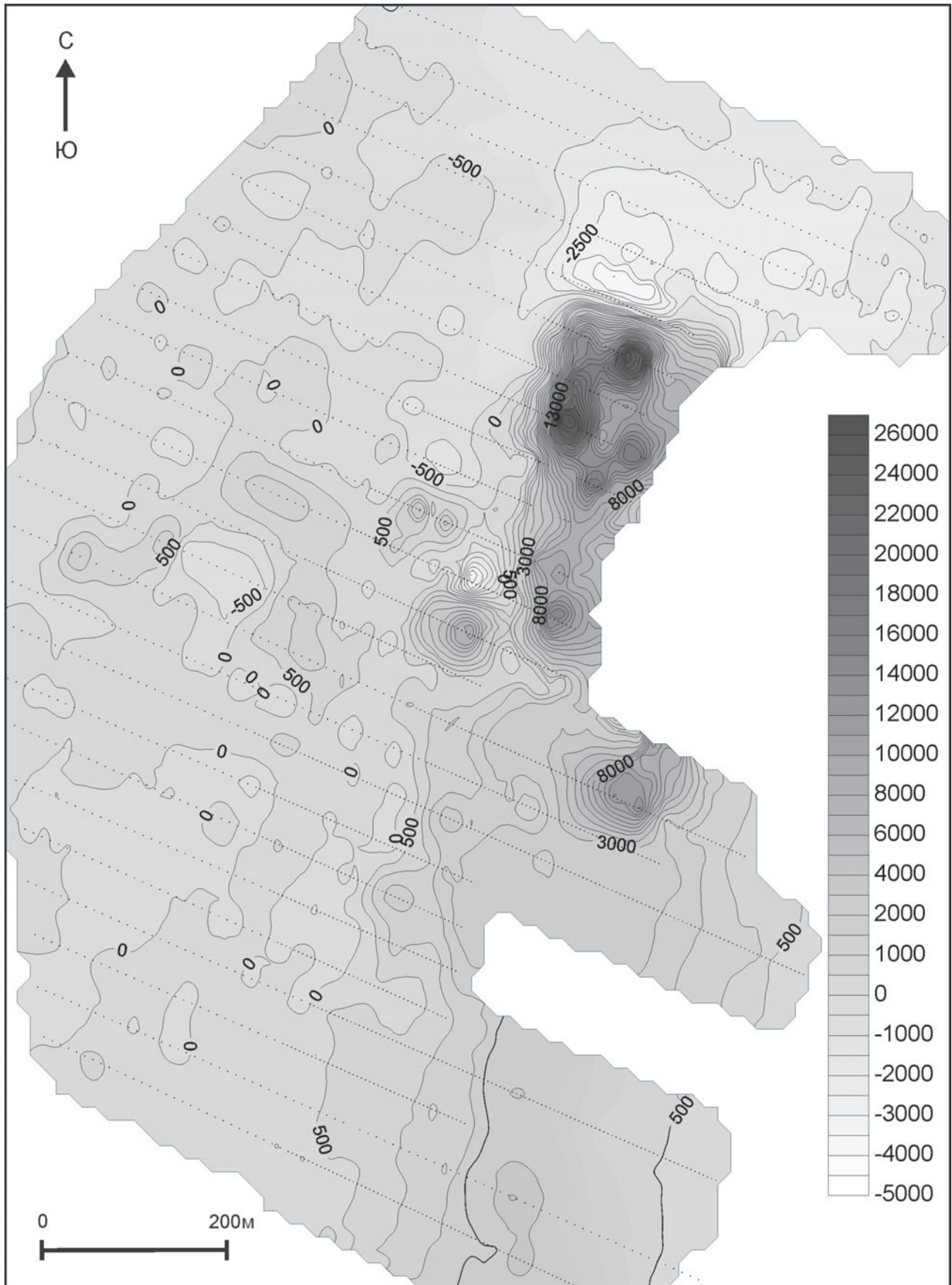


Рис. 4. Карта магнитного поля участка

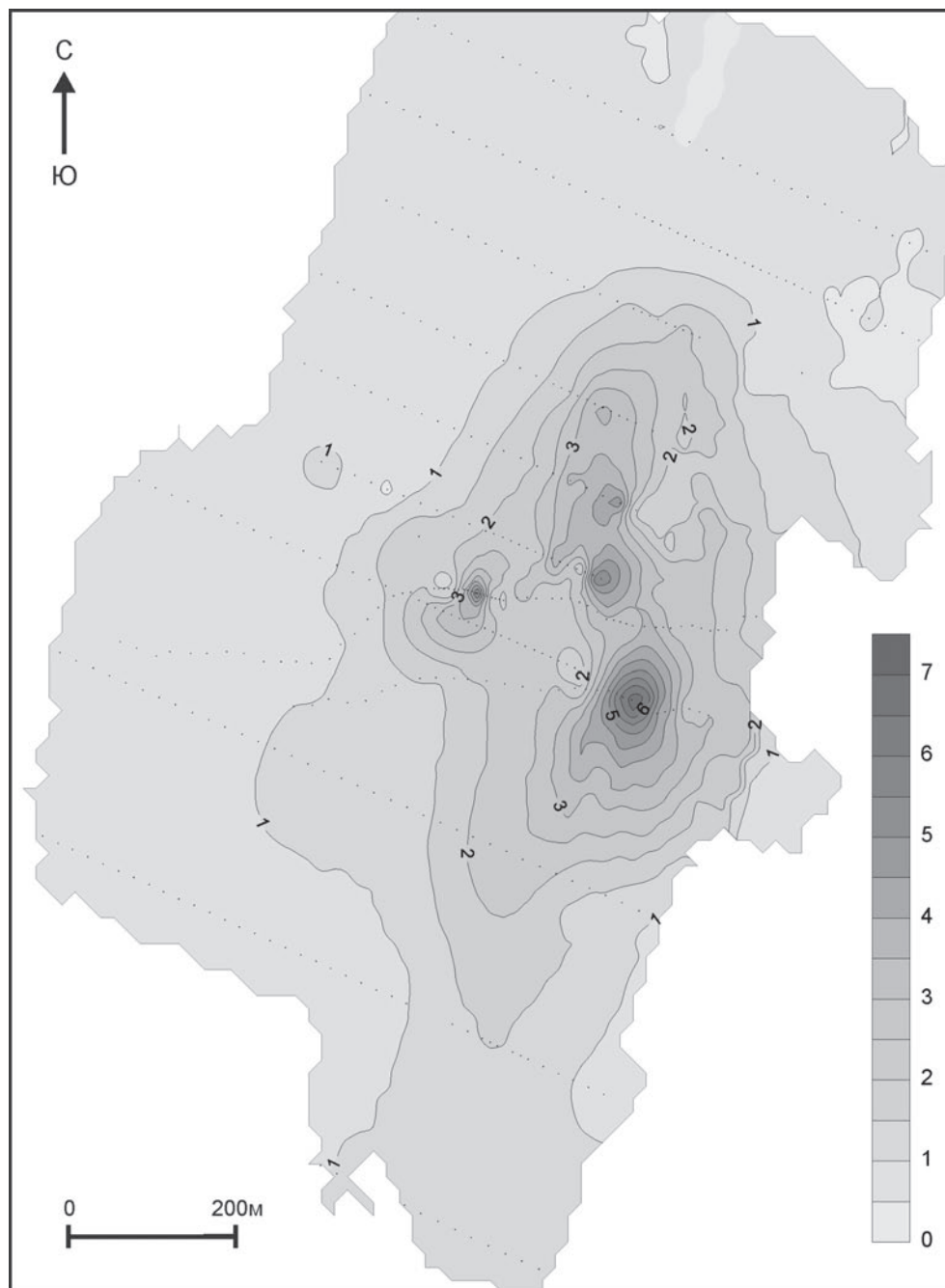


Рис. 5. Карта кажущейся поляризуемости

щающие породы на его ближнем западном фланге. Отметим, что геологическими наблюдениями с поверхности подтверждается наличие прожилков, гнезд, вкрапленности лимонита, полуокисленных сульфидов, малахита как в магнетитовых телах, так и во вмещающих породах. Причем в магнетитовых рудах преобладают секущие прожилки и гнезда лимонита, примазки малахита, а во вмещающих породах (андезитобазальтах) преимущественно развита мелкая вкрапленность, реже небольшие по размерам гнезда, маломощные прожилки лимонита и полуокисленных сульфидов.

Центральная аномальная зона вблизи дневной поверхности характеризуется высокими значениями аномалий поляризуемости (до 10–14 %), совпадающей с областью повышенных значений кажущихся сопротивлений (до 2500–3000 Ом·м) и положительной аномалией магнитного поля (до 15 000–17 000 нТл). Выявленная зона аномальной поляризуемости в приповерхностной части разреза имеет крутое падение (до 80–85°) в западном направлении с плавным выполаживанием на глубине. По данным СЭП-ВП для центральной зоны характерен рост кажущегося сопротивления

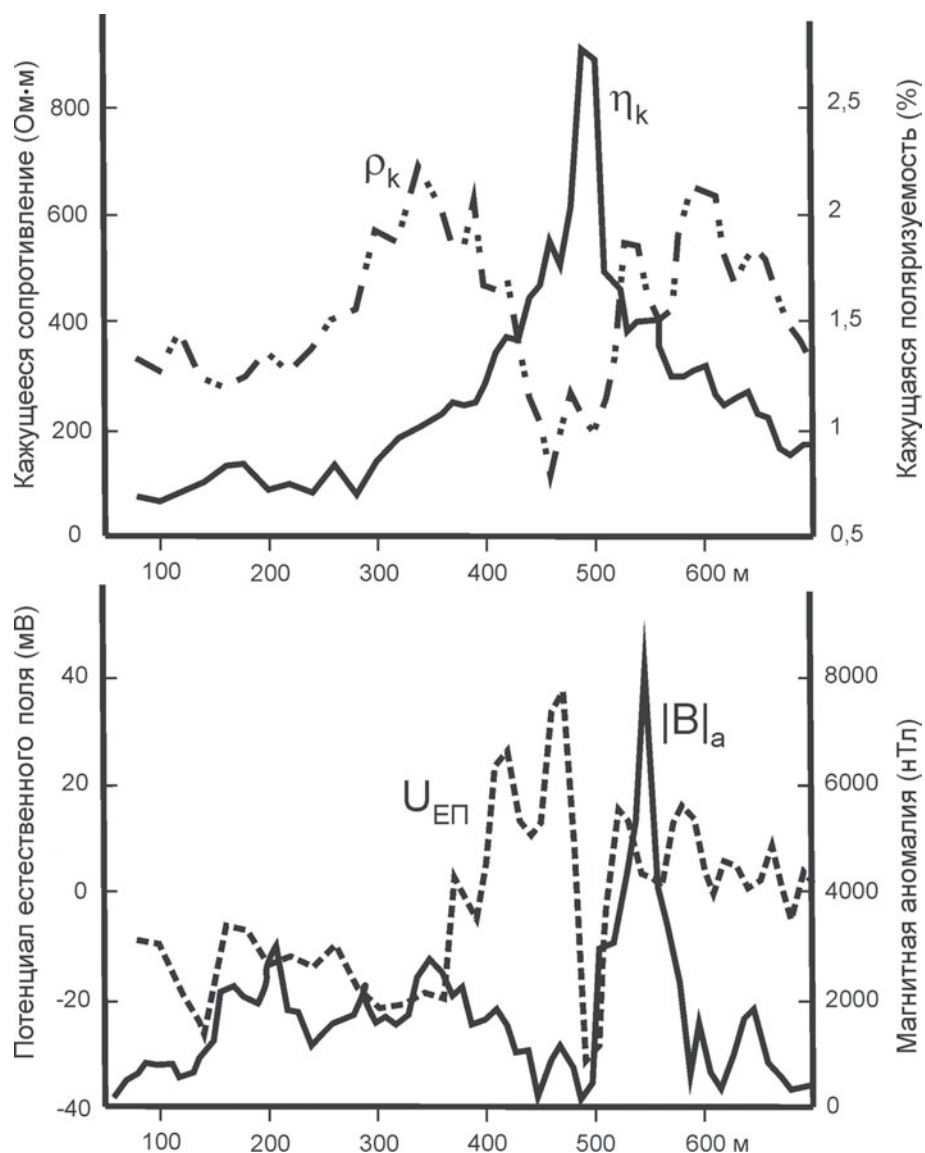


Рис. 6. Результаты геофизических работ по профилю на одном из участков

с глубиной от 3000–3500 до 4000–5000 Ом·м в нижней части разреза. Такой характер изменения сопротивления пород можно объяснить тем, что в верхней части разреза окварцованные породы и кварциты подвержены эрозии с образованием трещин выветривания, заполненных трещинно-жильными водами, и, как следствие, уменьшению кажущегося сопротивления. С глубиной ниже зоны окисления трещиноватость пород снижается, а степень окварцевания растет вплоть до массивных вторичных кварцитов, что увеличивает сопротивление пород.

В нижней части центральной аномальной зоны поляризуемости, в ее западном окончании выделяется вторая, меньшая по размерам аномалия поляризуемости со значениями до 9 %. На продолжении этой зоны по падению контрастно выделяется аномалия повышенной проводимости (до 500–1500 Ом·м). В верхней части она примыкает к зоне окисления пород, фиксируемой значениями кажущегося сопротивления до 2500–3000 Ом·м.

По результатам геологических исследований 2009 г. (Северная партия ИМГРЭ) в центральной зоне повышенной поляризуемости вскрыты тела массивных и густовкрапленных магнетитовых руд мощностью до 25 м. По выявленным свалам массивных магнетитовых руд западнее по профилю предполагается наличие еще нескольких рудных тел, не выходящих на поверхность. Междурудное пространство (между вскрытым и предполагаемыми рудными телами) по данным горных работ выполнено интенсивно окварцованными андезитобазальтами с вкрапленностью магнетита и сульфидов (преимущественно пирита, реже пир-

риту). В нижней части центральной аномальной зоны поляризуемости, в ее западном окончании выделяется вторая, меньшая по размерам аномалия поляризуемости со значениями до 9 %. На продолжении этой зоны по падению контрастно выделяется аномалия повышенной проводимости (до 500–1500 Ом·м). В верхней части она примыкает к зоне окисления пород, фиксируемой значениями кажущегося сопротивления до 2500–3000 Ом·м.

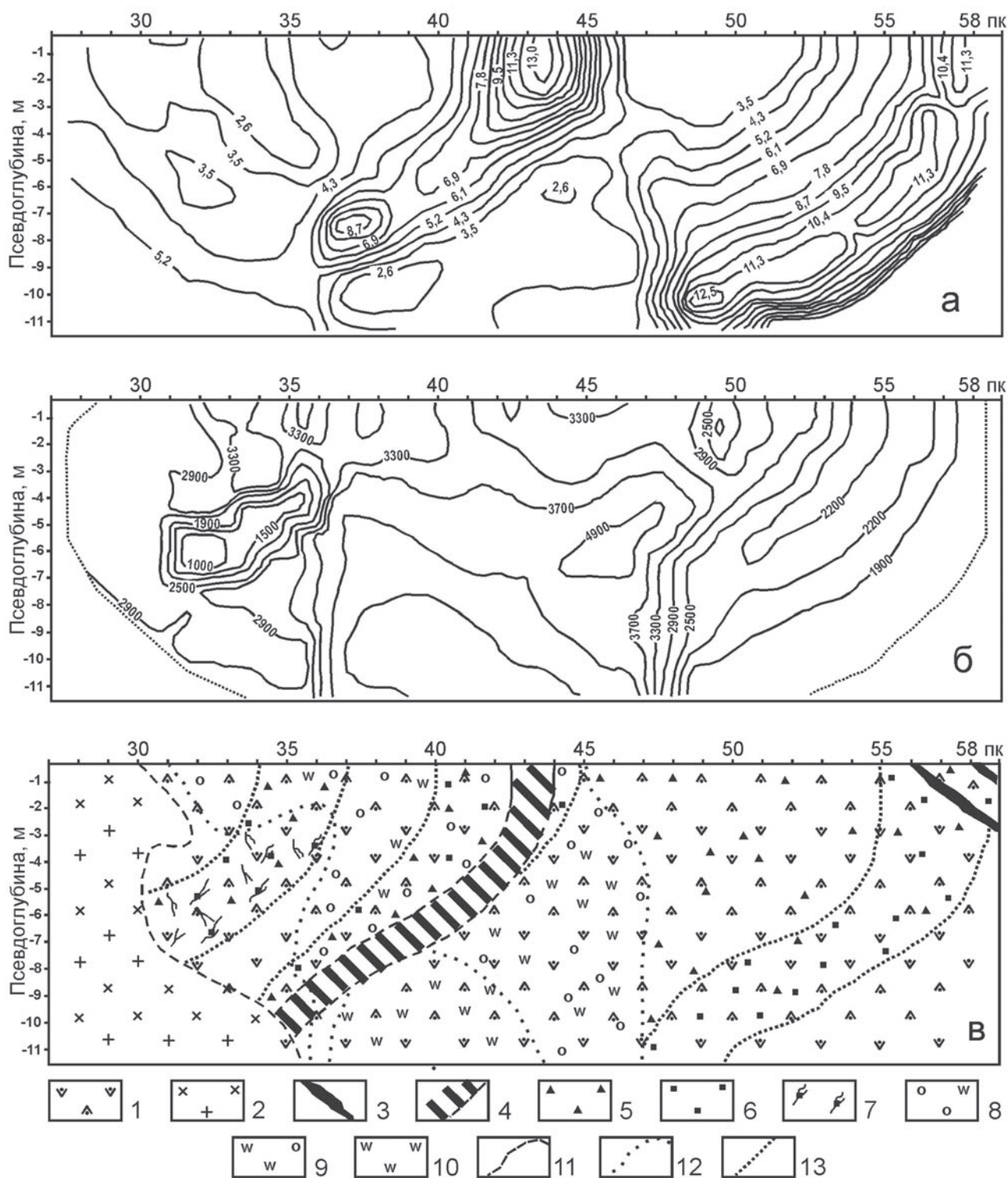


Рис. 7. Результаты работ методом ТЗ-ВП по профилю 4 (а – псевдоразрез поляризуемости, б – псевдоразрез сопротивления, в – геологический разрез). Условные обозначения: 1 – андезито-базальтовые порфириды; 2 – гранодиориты; 3 – массивные магнетитовые руды; 4 – массивные и густовкрапленные магнетитовые руды, вскрытые в 2009 г.; 5 – вкрапленность магнетита; 6 – вкрапленность сульфидов; 7 – прожилки сульфидов; 8 – окварцевание участками до кварцитов; 9 – интенсивное окварцевание с реликтами окварцованных пород; 10 – вторичные кварциты; 11 – геологические границы; 12 – контуры окварцованных, интенсивно окварцованных пород и кварцитов; 13 – контуры магнетит- и сульфидосодержащих метасоматических пород

ротина, халькопирита). Эти особенности вполне объясняют наличие аномалий поляризуемости и магнитного поля, а высокие значения кажущегося сопротивления, вероятно, обусловлены интенсивным окварцеванием вмещающих пород. Природа зоны пониженных сопротивлений, установленной на глубине в западном обрамлении центральной аномальной зоны, возможно, обусловлена прожилковой или массивной магнетитовой минерализацией. Такой предварительный вывод, однако, нуждается в детальном подтверждении специализированными петрофизическими исследованиями электрических свойств рудных и вмещающих пород, представленных на участке.

Профильная двумерная интерпретация материалов магнитной съемки, выполненной с квантовыми и протонными магнитометрами, измеряющими модуль вектора индукции магнитного поля, проводилась методом подбора непосредственно значений модуля вектора индукции, а не его аномального приращения [5; 6]. Пример такого подбора приведен на рис. 8, где показано наблюдаемое магнитное поле по участку одного из профилей съемки и вычисленное поле от пластообразной модели (фактически наклонного контакта), которая также показана на рисунке. Полученное значение намагнитченности 2,7 А/м соответствует величине магнитной восприимчивости в 0,07 ед. Си. Следует отметить, что в приведенном примере интерпретации удается определить положение источника аномалии и его магнитные характеристики, корреляционно связанные с концентрацией магнетита в рудном теле [1].

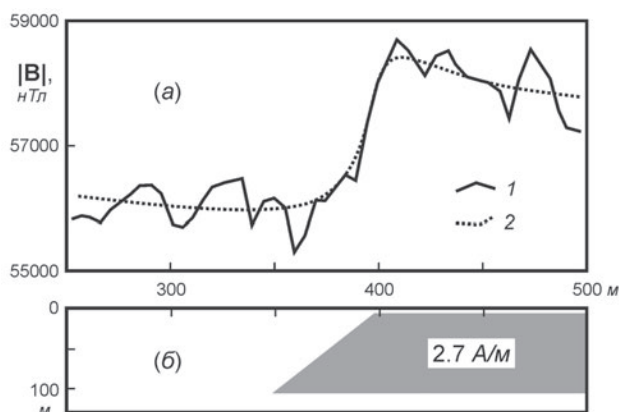


Рис. 8. Пример интерпретации магнитного поля (а – магнитные поля, б – модель намагнитченного объекта). Условные обозначения: 1 – наблюдаемое поле; 2 – подобранное поле

Выводы

1. Реализованный оптимальный комплекс геофизических методов позволяет выявлять небольшие по размерам рудные аномалии на фоне аномалий высокой интенсивности. Проведенные на первом этапе картировочные работы по данным двух высокопроизводительных наземных геофизических методов: ЕП и магниторазведки – позволяют сократить объемы поисковых работ с целью выделения рудоконтролирующих зон.

2. Применение комплекса геофизических методов на основе электроразведки, магниторазведки и естественного поля позволяет решать задачи детализации пространственного положения рудных объектов и выявления не выходящих на поверхность рудных тел. Использование методов интерпретации электроразведочных и магниторазведочных данных в двумерном варианте позволяет достоверно прогнозировать пространственное положение выявляемых рудных объектов и давать оценки характера оруденения.

3. С целью повышения достоверности интерпретации геофизических материалов и создания реалистических моделей изучаемой среды необходимо проведение комплексных петрофизических исследований электрических и магнитных свойств рудных объектов, зон околорудных изменений и вмещающих толщ горных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Никитин А. А.* Теоретические основы обработки геофизической информации / А. А. Никитин. – М. : Недра, 1986. – 342 с.
2. *Петрофизика : справочник : в 3 кн. / под ред. Н. Б. Дортман.* – М. : Недра, 1992. Книга первая. Горные породы и полезные ископаемые. – 391 с.
3. *Бобачев А. А.* Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации / А. А. Бобачев [и др.] // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2006. – № 2. – С. 14–17.
4. *Пустозеров М. Г.* Электротомография ВП-2D – надежный инструмент решения геологических задач / М. Г. Пустозеров // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 12. – С. 16–20.
5. *Страхов В. Н.* Функции ΔS и ΔW – новые характеристики аномального магнитного поля / В. Н. Страхов // Доклады РАН. – 1993. – Т. 329, № 4. – С. 438–441.
6. *Раевский А. Б.* Итерационный метод решения обратной задачи для модуля магнитной индукции / А. Б. Раевский. – Ухта : Изд. УГТУ, 2008. – С. 262–264.

В. Н. Глазнев, И. В. Притыка, В. И. Жаворонкин, Р. А. Терентьев, Д. П. Севастьянов, П. П. Горских

*Воронежский государственный университет
В. Н. Глазнев, заведующий кафедрой геофизики
glaznev@geol.vsu.ru*

*Voronezh State University
V. N. Glaznev, Head of the Geophysic department
glaznev@geol.vsu.ru*

*И. В. Притыка, доцент кафедры геофизики
Тел. 8 (4732 220-83-85*

*I. V. Prityka, Associate professor of the Geophysic department
Tel. 8 (4732 220-83-85*

*В. И. Жаворонкин, доцент кафедры геофизики
vzavoronkin@yandex.ru*

*V. I. Zavoronkin, Associate professor of the Geophysic department
vzavoronkin@yandex.ru*

*Институт минералогии и геохимии редких элементов, г. Москва
Р. А. Терентьев, ведущий научный сотрудник
terentiev@geol.vsu.ru*

*Institute of Mineralogy and Geochemistry of the Rare Elements, Moscow
R. A. Terentiev, senior scientist
terentiev@geol.vsu.ru*

*Воронежский государственный университет
Д. П. Севастьянов, аспирант кафедры геофизики
Тел. 8 (4732 220-83-85*

*Voronezh State University
D. P. Sevastiynov, post-graduate student of the Geophysic department
Tel. 8 (4732 220-83-85*

*П. П. Горских, аспирант кафедры геофизики
pgorskih@rambler.ru*

*P. P. Gorskih, post-graduate student of the Geophysic department
pgorskih@rambler.ru*