



УДК 550.837:(553.3'3/9.065:551.21)(559.1)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ПРИ ПОИСКАХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ВУЛКАНОСТРУКТУРАХ БЕЛУДЖИСТАНА

Г. М. Тригубович, А. П. Долгушин, А. А. Белая, И. И. Иванова

При поисковых работах на полиметаллическое оруденение поставлена задача изучения объемного строения рудовмещающих метасоматитов от первых метров до 300–400 м. Электромагнитные исследования выполнялись в профильно-площадном варианте с разной детальностью и глубиной, которая определялась масштабом работ: от 1:500 до 1:10 000. Применена запатентованная технология трехмерной электроразведки от закрепленного источника (М-ЗСБ) и электромагнитное сканирование в пространственно-временной области. Работы с современным российским оборудованием серии «Импульс-Д» за рубежом показали высокую результативность, опередив российскую практику, поэтому они очень актуальны при аналогичных исследованиях в России.

Ключевые слова: трехмерная электроразведка, М-ЗСБ, площадная система наблюдений, ЭМ-сканирование в пространственно-временной области, гидротермальное оруденение, метасоматиты, вулканотектоническая кальдера.

THE RESULTS OF ELECTROMAGNETIC PROSPECTING FOR POLYMETALLIC MINERALIZATION IN VOLCANIC STRUCTURES OF BALUCHISTAN

G. M. Trigubovich, A. P. Dolgushin, A. A. Belaya, I. I. Ivanova

In prospecting for polymetallic mineralization it was set a problem to study a volume structure of ore-hosting metasomatites at a depth of a few meters down to that of 300–400 meters. EM prospecting was carried out in a profile-areal option with different detail and depth at scales of 1:500 to 1: 10 000. The technology of three-dimensional electromagnetic fixed source (M-TEM, transient electromagnetic sounding) prospecting and electromagnetic scanning in the space-time domain were used. Studies carried out abroad with the modern Russian Impuls-D-type equipment showed high productivity and were in advance of the Russian practice. Therefore they are very relevant in the similar conditions in Russia.

Keywords: three-dimensional electric prospecting, M-TEM, areal system of observation, EM-scanning in space-time area, hydrothermal mineralization, metasomatites, volcanic-tectonic caldera.

К настоящему времени накоплен значительный фактический материал по применению площадной электромагнитной (ЭМ) разведки становлением поля на основе многоразносных зондирований от закрепленного источника (М-ЗСБ) [3, 5, 7, 9] в различных геологических ситуациях при решении задач поиска месторождений полезных ископаемых и инженерно-геологических.

Методика исследований основана на разделении ЭМ-поля на нормальную (влияние среды) и аномальную (влияние трехмерных неоднородностей на основе трехмерного моделирования) составляющие [1, 5, 10]. Это позволяет учитывать неоднородности вмещающей геологической среды и устраняет искажения реконструкции глубинных частей разреза, заметно снижает область эквивалентности решения обратной задачи электроразведки и повышает достоверность прогноза.

Системы наблюдений для высокоразрешающей площадной 3D-электроразведки, следуя логике рынка, формируются как компромисс между плотностью регистрации электромагнитного поля, что тесно связано с точностью решения поставленной задачи, и стоимостью проводимых

исследований. Какие параметры системы наблюдения можно изменять и где предел этих изменений? Вопрос весьма непростой, его решение зависит от условий решения конкретной поисковой задачи и, как правило, требует проведения специального модельного проектирования.

Многоразносные зондирования М-ЗСБ от закрепленного источника с рассечками. Система строится на многоразносных зондированиях от закрепленного источника поля по линейным профилям. При этом на каждой точке измерения оценивается невязка решения обратной задачи в рамках горизонтально-слоистой модели (такая процедура разработана и может быть использована в полевых условиях). Увеличение невязки решения обратной задачи указывает на нарушение условия слоистости среды и дает основание для постановки дополнительных измерений (рис. 1), которые дают возможность оценить искажающий фактор, построить 3D-модель, уточнить параметры слоистости и обнаружить поисковый объект [3].

Дополнительные измерения могут быть проведены по системе «крест», в которой основные и дополнительные измерения пересекаются в областях недопустимой невязки решения слоистой

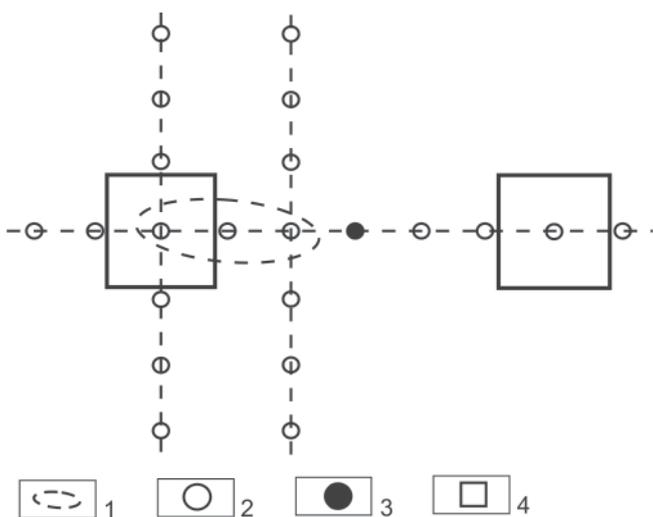


Рис. 1. Профильная система наблюдений от закрепленного источника

1 – область невязки решения обратной 1D-задачи; 2 – точка измерения; 3 – совмещенная точка измерения для соседних ГП; 4 – генераторная петля (ГП)

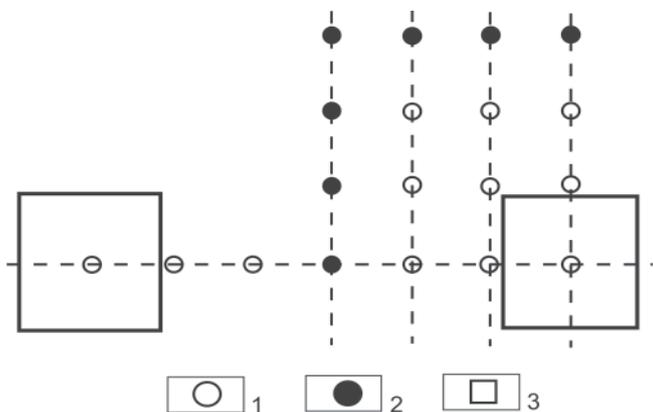


Рис. 2. Фрагмент площадной системы наблюдений с равномерным шагом

1 – точка измерения; 2 – совмещенная точка измерения для соседних ГП; 3 – генераторная петля (ГП)

задачи. Это позволяет более точно локализовать неоднородность, являющуюся причиной невязки, и дать более точный прогноз модели геологической среды.

Площадная система наблюдений (рис. 2) используется на этапе изучения заведомо сложно построенной геологической среды и обеспечивает максимальную достоверность прогноза при правильном выборе масштаба съемки для решения практически всех поисково-оценочных задач [5, 7].

ЭМ-сканирование – технология измерения переходного процесса в движении с высокой пространственной (0,1 м) и временной (10 нс) плотностью [2, 6, 8]. Применяется при решении весьма деликатных задач, где требуется повышенная детальность. Максимально эффективна при малых размерах источника и на открытой для перемещения антенн местности. Технология хорошо зарекомендовала себя при изучении приповерхностной части геологической среды. Реальная глубинность исследований до 100 м.

Эффективность ЭМ-сканирования можно показать на примере локализации проводящего диска (S1), перекрытого неоднородным наклонным ($\alpha = 7$) проводящим экраном (S2). Неоднородность экрана обусловлена дополнительным кольцеобразным проводником над экраном (S3) при соотношении проводимостей: $S1/S2 = 5$, $S3/S2 = 1$. Для съемки использовалась аппаратура серии «Импульс-авто» [7].

На временных слайдах измеренного по площади сигнала переходного процесса чередуются положительные и отрицательные пространственные аномалии (рис. 3): На временах 5 и 6 мкс над кольцевым проводником в экране наблюдается положительная аномалия, а в диапазоне 8–10 мкс «кольцо» пропадает. В диапазоне 15–40 мкс над «кольцом» возникает отрицательная аномалия, а на временах больше 50 мкс – снова положительная. На поздних временах ($t > 1000$ мкс) наблюдается мозаичная картина, «кольцо» размывается в плане, однако кольцевая шумоподобная структура просматривается достаточно отчетливо. Знакопеременные аномалии соответствуют разным фазам проявления объектов во временной области.

Диск сначала проявляется на инверсной стадии (отрицательная аномалия) $t = 40...80$ мкс. На поздней стадии аномалия над диском положительная и точно совпадает с его горизонтальной проекцией ($t = 300...1000$ мкс). В этом эксперименте показана возможность получения весьма правдоподобной физической картины среды с «фотографической» точностью.

При полевых исследованиях используются специальные приемно-генераторные конструкции для съемки в движении (рис. 4, 5).

Проектирование полевого эксперимента

Верхняя часть разреза (ВЧР) горной пустыни, перекрыта мощными осыпями с участками значительной засоленности и загипсованности рыхлых отложений вблизи поверхности на равнинах. На глубине 50–200 м встречаются высокопроводящие объекты, представленные туфами и аргиллитами, насыщенными водой. На больших глубинах высокая проводимость связана с сульфидами и другой рудной минерализацией.

Для оптимизации результативности профильно-площадных системы наблюдений М-ЗСБ проведено модельное проектирование полевого эксперимента, позволившее выбрать систему наблюдений, значения суммарного магнитного момента приемно-генераторной установки и разности «источник – приемник», обеспечивающие при требуемой детальности глубинность исследований до 500 м.

Изучалась особенность проявления поисковых объектов и объектов-помех в условиях неоднородной ВЧР для наиболее характерной модели вмещающей среды:

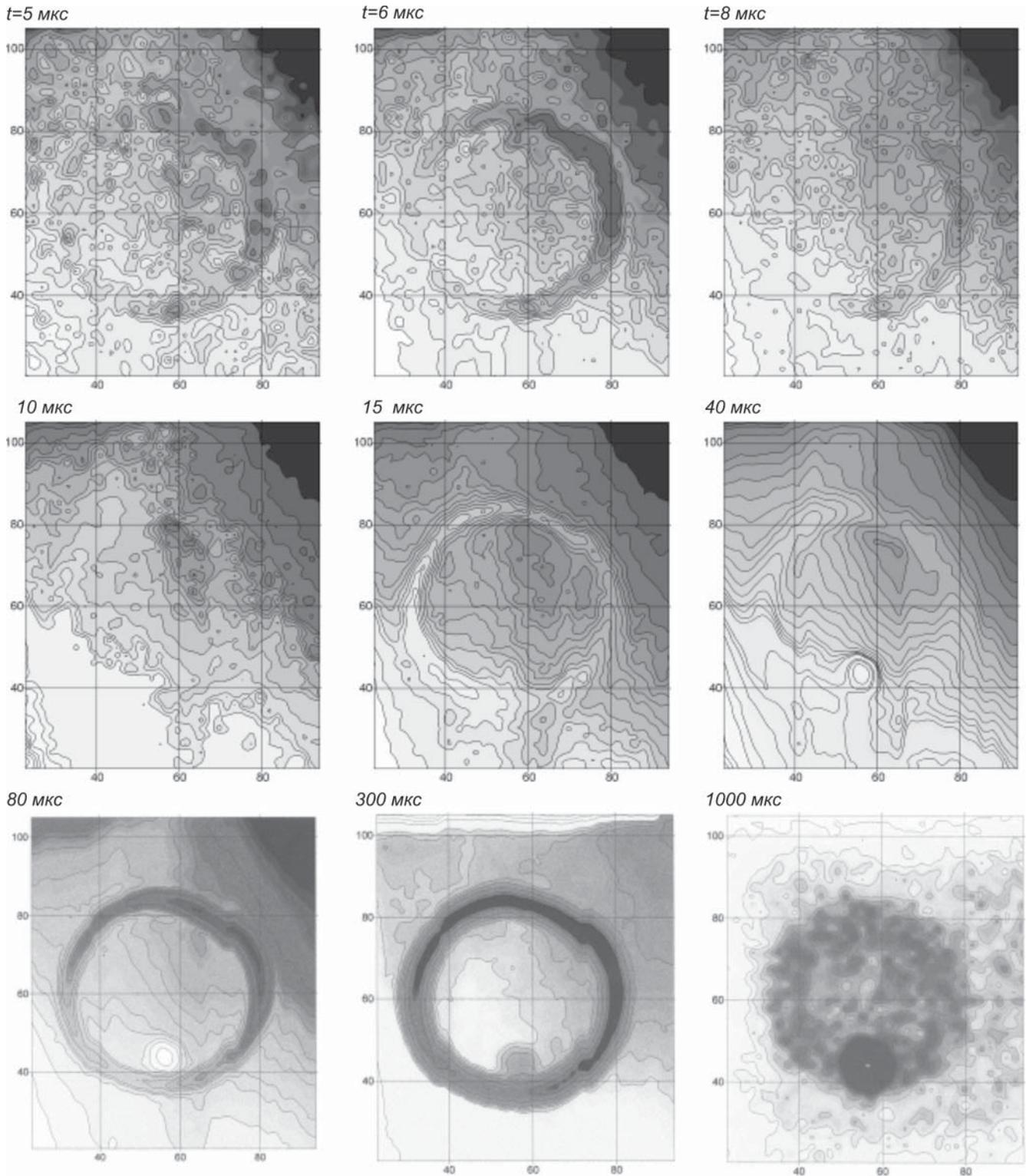


Рис. 3. Площадное распределение сигнала, полученного по технологии ЭМ-сканирования над горизонтально-неоднородной средой с локальным поисковым объектом

№ слоя	h, м	ρ , Ом·м
1	30	1000
2	150	500
3	∞	15

Например, была рассмотрена возможность обнаружения глубинного поискового объекта $\rho = 2$ Ом·м под контрастно-проводящими приповерхностными объектами-помехами, $\rho = 8$ и $\rho = 3$ Ом·м (рис. 6).

В качестве источника выбрана генераторная петля (ГП) 250×250 м². Чтобы измерить распределение сигнала становления, использовались компактные измерительные датчики размером 1×1 м. Измерения проводились по трем профилям с шагом ГП по профилю 750 м, максимальным выносом от центра ГП 350 м.

На первом этапе обработки данных подобрана вмещающая среда, с использованием

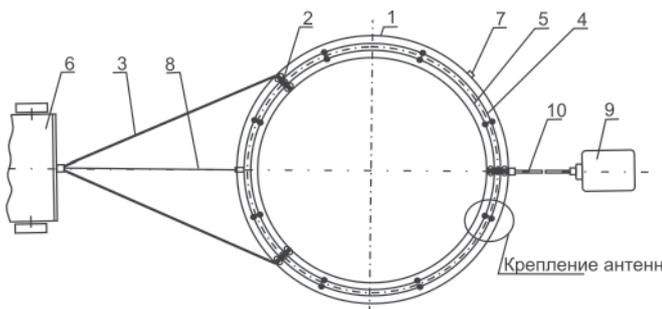
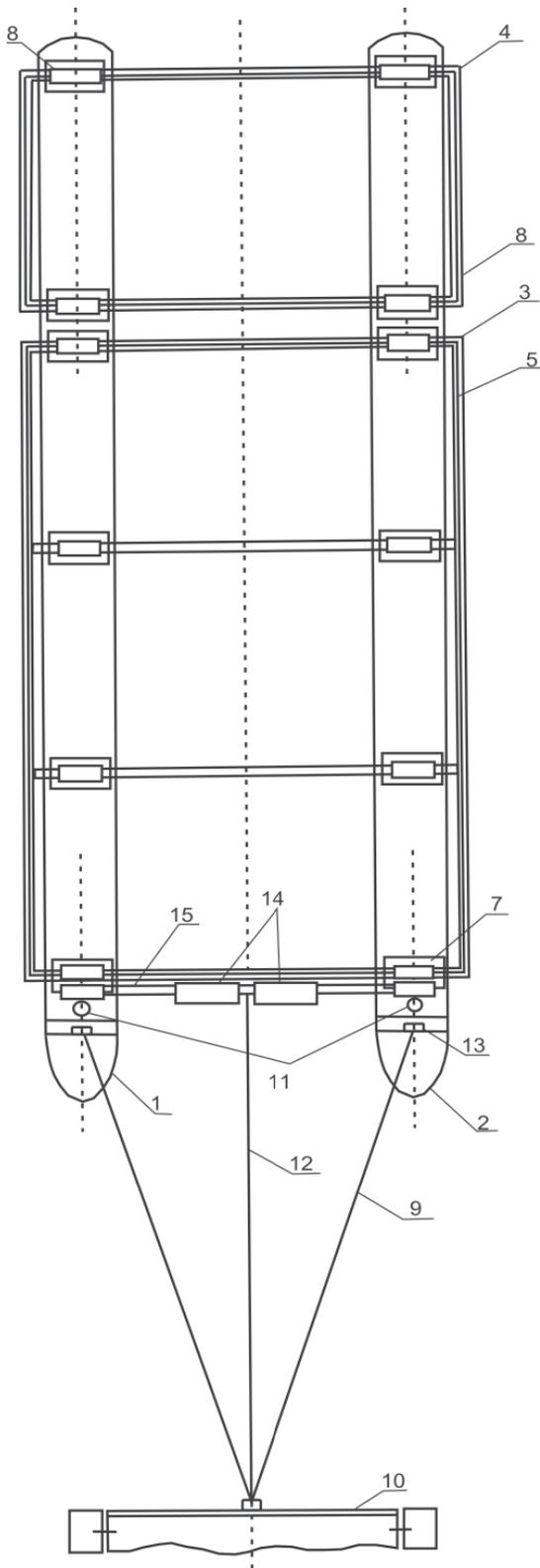


Рис. 4. Пневматическая конструкция с выносным измерительным датчиком с буксировкой за транспортным средством. Площадь проекции 25–50 м²

1 – диэлектрический надувной каркас; 2–3 – буксировочные захваты (2) и тросы (3); антенны: 4 – излучающая, 5 – приемная; 6 – буксировочное устройство; 7 – клапан для подачи и удержания воздуха; 8 – трос-кабель; 9 – противовес с выносным измерительным датчиком; 10 – соединительный трос



1D-инверсии и локализованы проводники в ВЧР. На всех профилях выявлен высокоомный слой на глубинах от 0 до 100–200 м, причем в центральной части площади его мощность и сопротивление возрастали. На глубине от 200–300 м до 500–600 м прослеживается проводящий слой ($\rho = 5\text{--}10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$). Глубже подтверждается модельная среда ($\rho = 15 \text{ Ом}\cdot\text{м}$).

Одномерная инверсия в общих чертах восстановила структуру вмещающей среды, но привела к существенным неточностям картирования локальных объектов (рис. 7). Два приповерхностных поисковых объекта и один глубинный за счет неучтенного бокового влияния в точках измерений на смежных профилях создали целую серию ложных объектов. На профиле АВ на глубине до 500 м появились ложные проводящие объекты с $\rho = 7, 10, 6 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. На профиле CD все три модельных объекта опознаются, но их параметры по данным интерпретации весьма неточны. В центральной и левой частях профиля EF также отмечаются ложные аномалии проводимости. Таким образом, линейная одиночная система наблюдений непригодна для поиска подобных объектов.

Для локализации поискового объекта потребовалось создание трехмерной модели по результатам одномерной инверсии (рис. 8). При 3D-верификации этой объемной модели выявлено значительное несоответствие в измеряемых и модельных сигналах. Для устранения отклонений на следующем этапе проведена коррекция модели путем итерационного подбора геометрии, глубины залегания и удельной проводимости объектов. В результате построена финальная модель среды с объектами (рис. 9), отклики от которой соответствовали практически для всех петель одновременно, ошибка не превышает 5%.

Полученная в результате 3D-реконструкции модель практически соответствует стартовой,

Рис. 5. Пневматическая конструкция с изменяемой площадью антенн от 30 до 64 м². Применяется буксировка за транспортным средством

1, 2 – надувные элементы, полозья; 3, 4 – разборные каркасы, включающие продольные и поперечные элементы (балки); антенны: 5 – излучающая, 6 – приемная; 7 – накладки; 8 – петли; 9 – буксировочные тросы; 10 – буксировочное устройство; 11 – клапаны для подачи и удержания воздуха; 12 – трос-кабель; 13 – буксировочные захваты; 14 – выносные элементы генераторного и измерительного оборудования; 15 – дополнительная жесткая поперечная балка

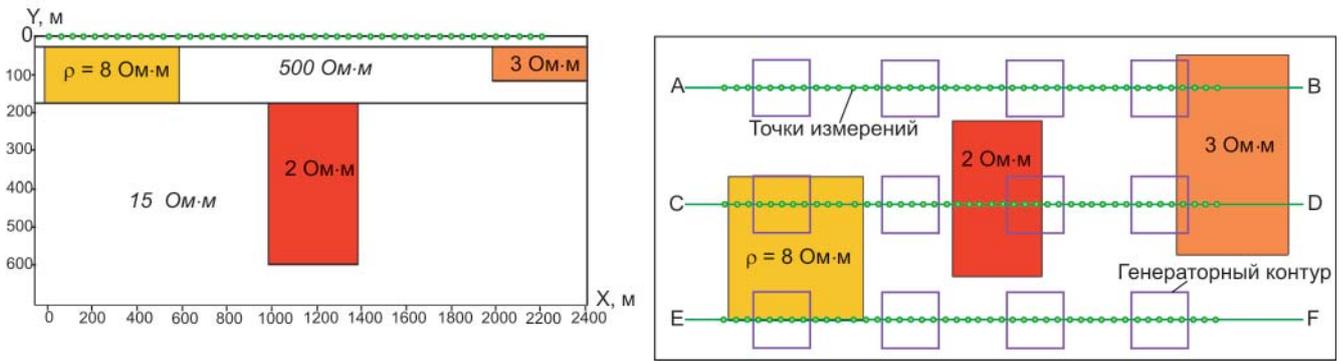


Рис. 6. План и разрез синтетической модели по линии CD

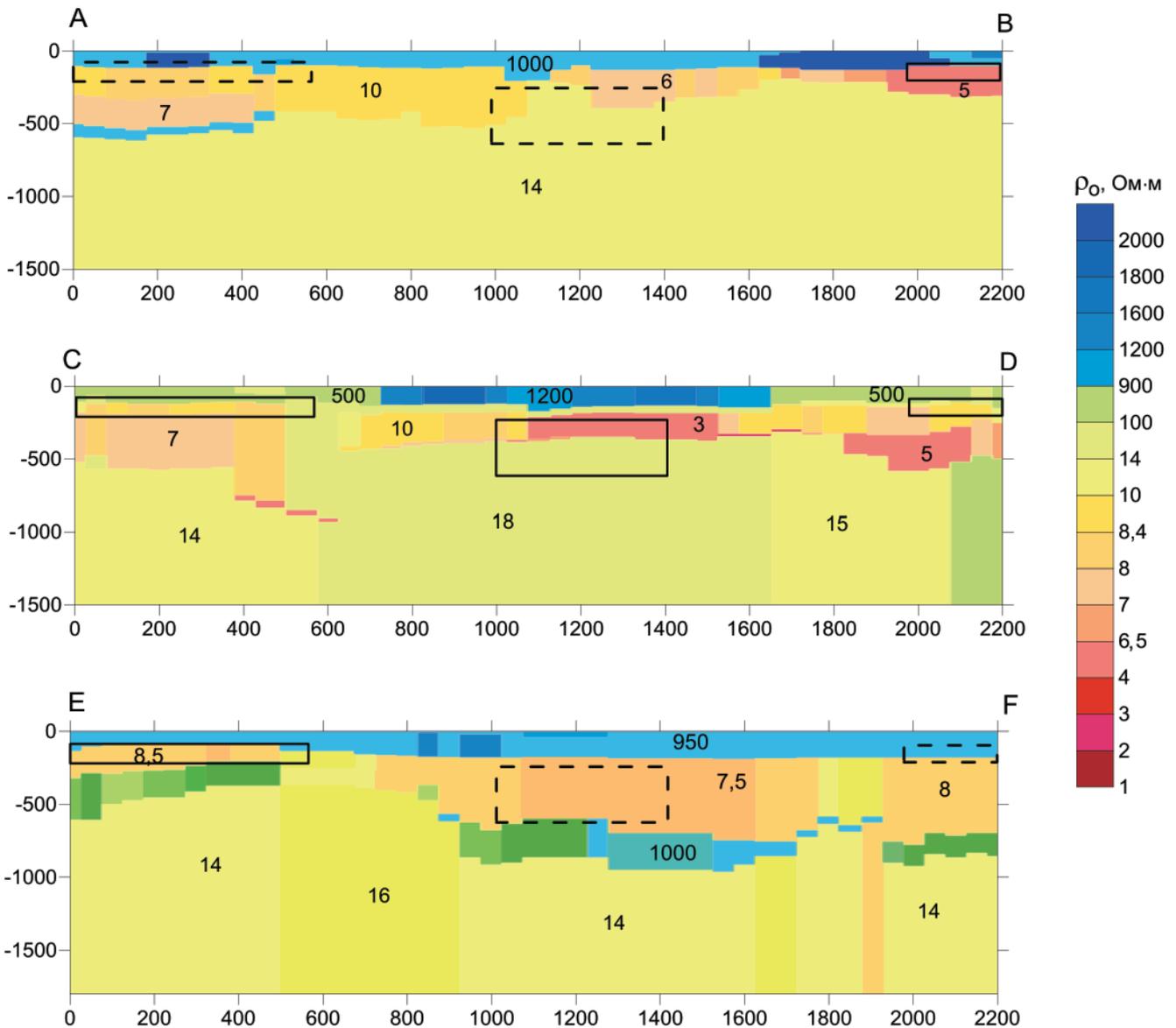


Рис. 7. Результаты 1D-инверсии

что подтверждает возможность обнаружения поискового объекта с выбранной системой наблюдений.

Интерпретация

Интерпретация основана на разделении ЭМ-поля на нормальную (влияние среды) и аномальную (влияние трехмерных неоднородностей) со-

ставляющие. Одновременный подбор объектов и сигналов по всей пространственно-временной области влияния источника позволяет учитывать неоднородность вмещающей среды, устраняет искажения реконструкции глубинных частей разреза, резко снижает область эквивалентности решения обратной задачи и повышает достоверность прогноза.

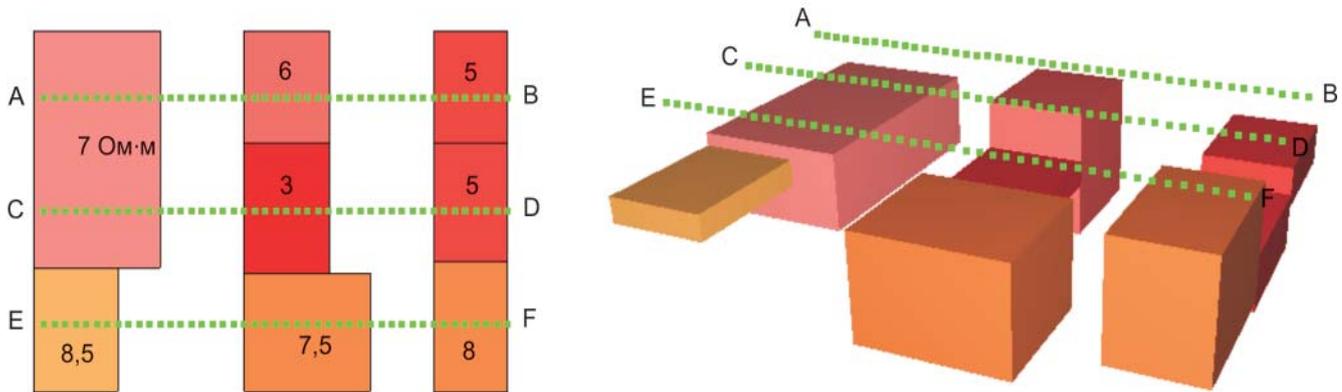


Рис. 8. Первичная 3D-модель (заданная по результатам одномерной инверсии)

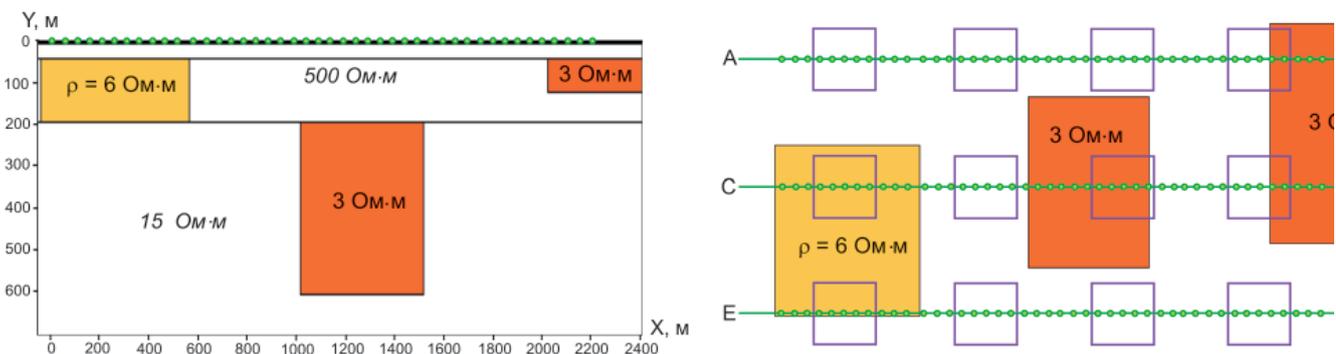


Рис. 9. 3D-модель, скорректированная по всем профилям измерений

Приведем результаты, полученные непосредственно в полевых условиях на основе 1D- и 3D-интерпретаций, выполненных в камеральных условиях.

Полевые ЭМ-исследования выполнялись в исключительно сложных по геологическому строению молодых (кайнозойских) вулканотектонических структурах и в ландшафтных условиях горной полупустыни, где традиционные методы малоэффективны. В горных поднятиях поверхность коренных обнажений горных пород часто перекрыта мощными осыпями, на равнинах – загипсованным, засоленным слоем песчано-щебнистых отложений. Повсеместная поствулканическая аргиллизация с выносом железа, интенсивная тектоника и мощное поверхностное окисление, сильная засоленность и загипсованность рыхлых отложений вблизи поверхности сильно затрудняют интерпретацию результатов магнитометрии, геохимии, минералого-петрографических и гидрогеохимических исследований или делают ее неэффективной.

При поисковых работах на полиметаллическое оруденение ставилась задача изучения объемного строения рудовмещающих пород с проявлениями рудной минерализации до глубины 300–400 м. ЭМ-исследования выполнялись в профильно-площадном варианте на трех разных участках с разной детальностью и глубинностью, которая определялась масштабом работ. Использовались генераторные петли (250×250 м, 50×50 м) и ЭМ-сканирование (2,5×4 м).

Объемная реконструкция геоэлектрической среды на участке № 1

Площадь участка представляет собой небольшое расчлененное горное поднятие, возвышающееся над песчано-каменистыми отложениями пустыни на 100–150 м. Большая часть выявленных рудоперспективных зон погружается под отложения пустыни и недоступна для поверхностных методов исследований. По данным поверхностных геологических наблюдений рудовмещающие породы представлены покровами андезитов, риолитов и их туфов, которые прорваны субвулканическими телами и жерловыми фациями базитов. Толща разбита многочисленными крутопадающими и субгоризонтальными разломами, интенсивно изменена поствулканическими гидротермальными процессами кислотного ряда (аргиллизация, окремнение). Наземные геологические, минералого-петрографические исследования показали, что рудная минерализация локализуется в экзоконтактах субвулканических тел (силлы, штоки) в ореолах интенсивного кремнистого и глинисто-кремнистого метасоматоза.

Объект изучения – сильно разрушенная вулканическая структура центрального типа с гидротермальным оруденением в зонах интенсивного кремнисто-гидрослюдистого метасоматоза вокруг крутопадающих субвулканических тел кислого состава (риолитов, фельзитов). Полученное в ходе работ объемное распределение сопротивления среды и результаты анализа геологических наблюдений показали, что рудовмещаю-

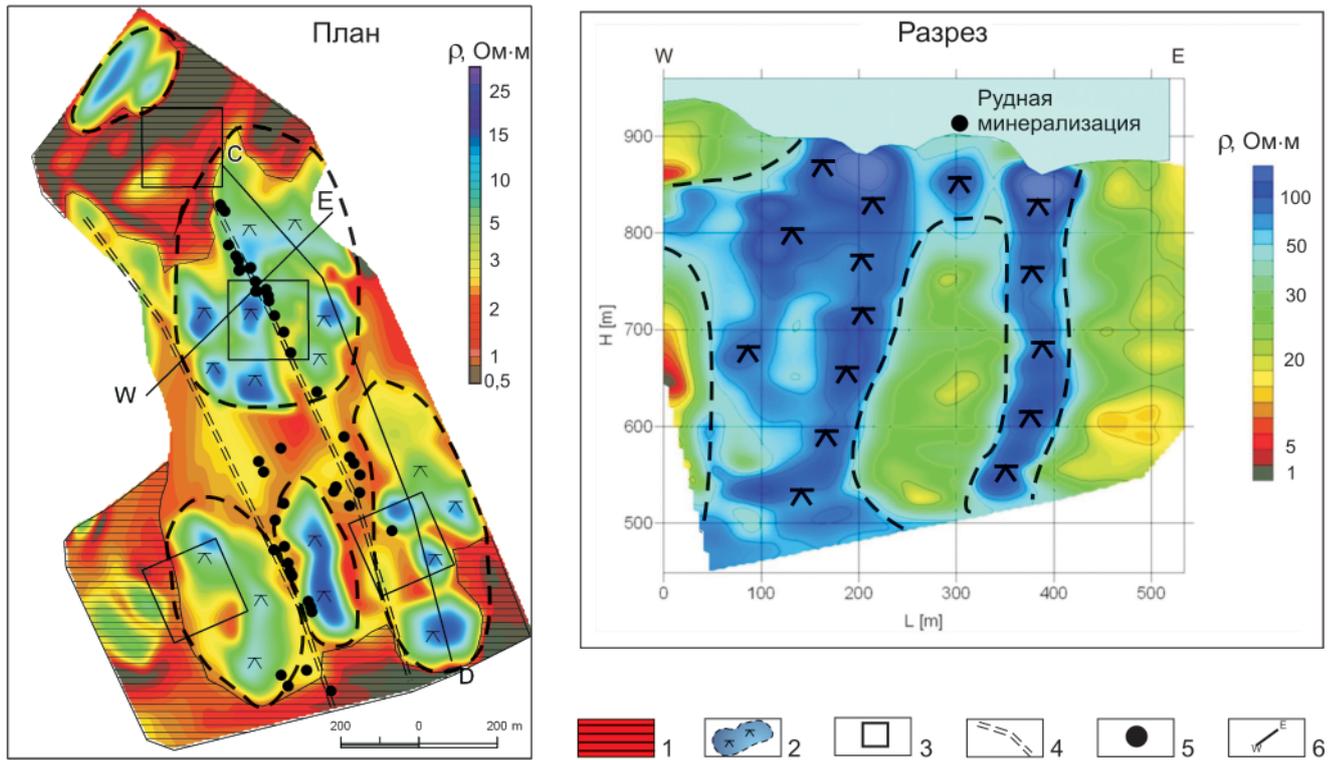


Рис. 10. План распределения удельного электрического сопротивления на глубине 50 м и глубинный разрез до 400 м
 1 – песчано-щебенистые отложения пустыни; 2 – субвулканические тела риолитов с зонами окварцевания; 3 – генераторные петли; 4 – зоны тектонических разломов; 5 – проявления рудной минерализации на поверхности; 6 – линии геоэлектрических разрезов

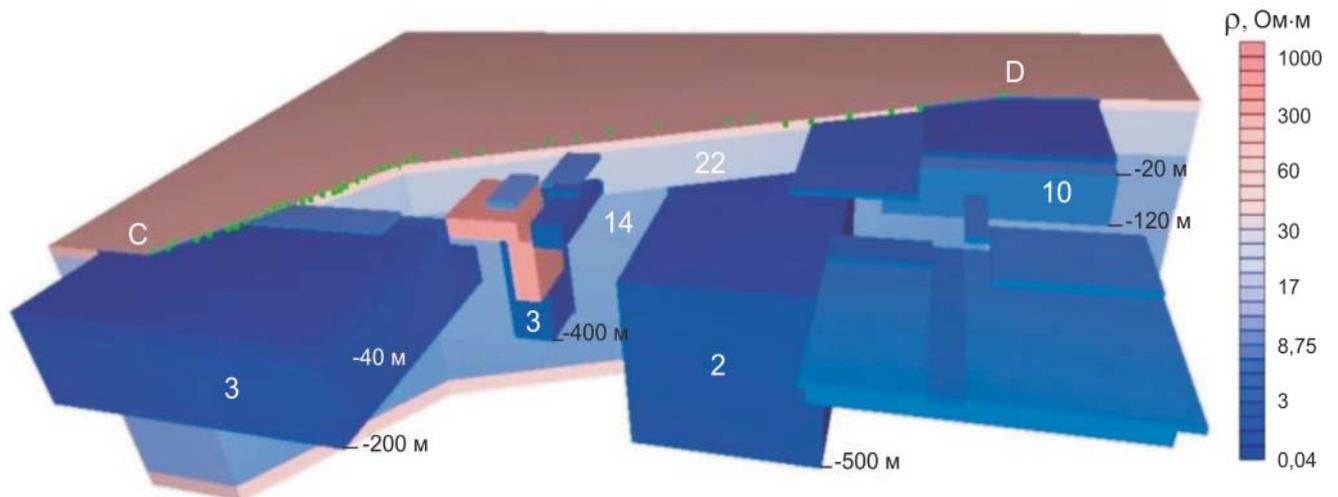


Рис. 11. Объемная реконструкция среды вдоль профиля CD

щая структура представляет собой небольшую (2×3 км) вулканотектоническую кальдеру проседания, выполненную субгоризонтально залегающими вулканогенно-осадочными породами. В центральной части кальдера прорвана несколькими субвулканическими штоками кислых вулканитов (вероятно, жерла вулканов), в экзоконтактах которых развиты зоны кремнисто-гидрослюдистого и кремнистого метасоматоза. Оруденение локализовано на выклинивании зоны кремнистых метасоматитов в проницаемых туфах кислого состава (рис. 10).

3D-интерпретация с учетом положения всех источников дала объемное изображение всего массива (рис. 11). Сопоставление распределения сопротивления в толще вулканитов с участками развития рудной минерализации показывает, что оруденение приурочено к экзоконтактовым зонам с кремнистыми метасоматитами вокруг субвертикальных штоков риолитов. Рудовмещающими являются интенсивно брекчированные туфы силлого состава в зонах тектонических разломов. Рудная минерализация сопровождается повышенным содержанием минералов редкозе-



мельной группы (до 1 %) и аномально высокими содержаниями марганца (20–25 %).

Реконструкции геоэлектрической среды на участке № 2

По данным редкой сети геологических наблюдений предполагалось, что рудная минерализация локализуется в глинисто-гидрослюдистых метасоматитах на контакте туфов кислого состава и рвущего их пологозалегающего силла базальтов. С целью изучения этой толщи и характера распределения метасоматитов вокруг него выполнены детальные профильно-площадные зондирования М-ЗСБ с генераторной петлей 50×50 м (32 расстановки) по сети точек измерения через 5 м внутри каждого генераторного контура (рис. 12).

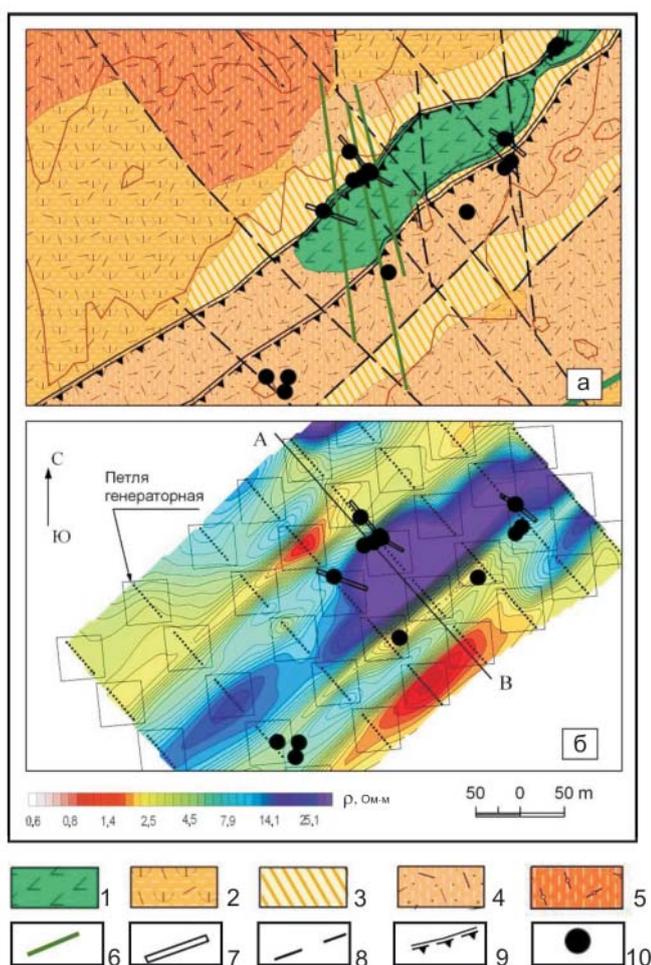


Рис. 12. Геологическая и геоэлектрическая модели: а – геологическая карта; б – план распределения удельного электрического сопротивления на глубине 10–15 м
1 – базальт; 2 – туфогенно-осадочные породы; 3 – метасоматиты глинисто-гидрослюдистые; 4 – туфы дацитов; 5 – риолиты; 6 – дайки базальтов; 7 – траншеи экскаваторные; 8 – вертикальные разломы; 9 – субпластовые разломы; 10 – проявления рудной минерализации

Анализ распределения сопротивления позволил оконтурить рудоконтролирующее тело базальтов и выделить предполагаемые зоны глинисто-гидрослюдистых метасоматитов с электриче-

ским сопротивлением более 14 Ом·м и 1–2,5 Ом·м соответственно. Силлообразное тело базальтов (синий цвет) имеет вытянутую форму с погружением в юго-западном направлении (см. рис. 12). 3D-параметризация объектов на глубину показала пологое (10–15°) залегание слоистой толщи туфов с несколькими субпластовыми телами базальтов мощностью 20–30 м, которые по вертикальным разломам погружаются на глубину. Между силлообразными телами базальтов в зонах с низким электрическим сопротивлением залегают глинисто-гидрослюдистые метасоматиты.

При проходке трех экскаваторных траншей (глубиной 4–6 м и протяженностью 30–70 м) и одной картировочной скважины геолого-структурная обстановка подтвердилась.

Реконструкция геоэлектрической среды на участке № 3

Выполнены работы с применением двух систем наблюдений: профильно-площадные зондирования М-ЗСБ и ЭМ-сканирование. Площадь работ – сильно эродированная вулканотектоническая кальдера, сложенная полого залегающими вулканитами среднего и кислого состава. В ее центральной и северной частях расположены небольшие вулканические постройки центрального типа с жерлами, трубками взрыва, вблизи которых, в зонах интенсивных глинисто-кремнистых метасоматитов, локализована рудная минерализация. Сопоставление распределения проводимости на глубине 50 м с геологическими данными (рис. 13) показывает, что участки со слабой проводимостью ($S < 3$ См) соответствуют зонам интенсивного кремнистого метасоматоза в туфах разного состава, развитых вокруг субвулканических тел. Рудная минерализация локализуется в интенсивно глинизированных туфах (содержание монтмориллонита и каолинита более 50 %) на выклинивании кремнистых метасоматитов.

Анализ распределения удельного сопротивления по разрезу АВ до глубины 350 м (рис. 14) позволил спрогнозировать крупное субвулканическое тело андезитов, которое является рудоконтролирующим. Предполагается, что внедрение андезитов сопровождалось рудными флюидами с высоким содержанием металлов. Объект осложнен крутопадающими разломами и залегает на глубине 100–200 м.

Кровля субвулканического тела выходит на поверхность в средней части разреза, где траншеями вскрыты рудные зоны под маломощными покровами кислых лав. Кислые вулканиты (риолиты) были своеобразной «покрышкой», под которой локализовалась богатая рудная минерализация в ореолах интенсивных кремнисто-глинистых метасоматитов. Для оконтуривания таких рудоконтролирующих тел проведено ЭМ-сканирование, позволившие детально картировать участки развития риолитов и кремнисто-глинистых метасо-

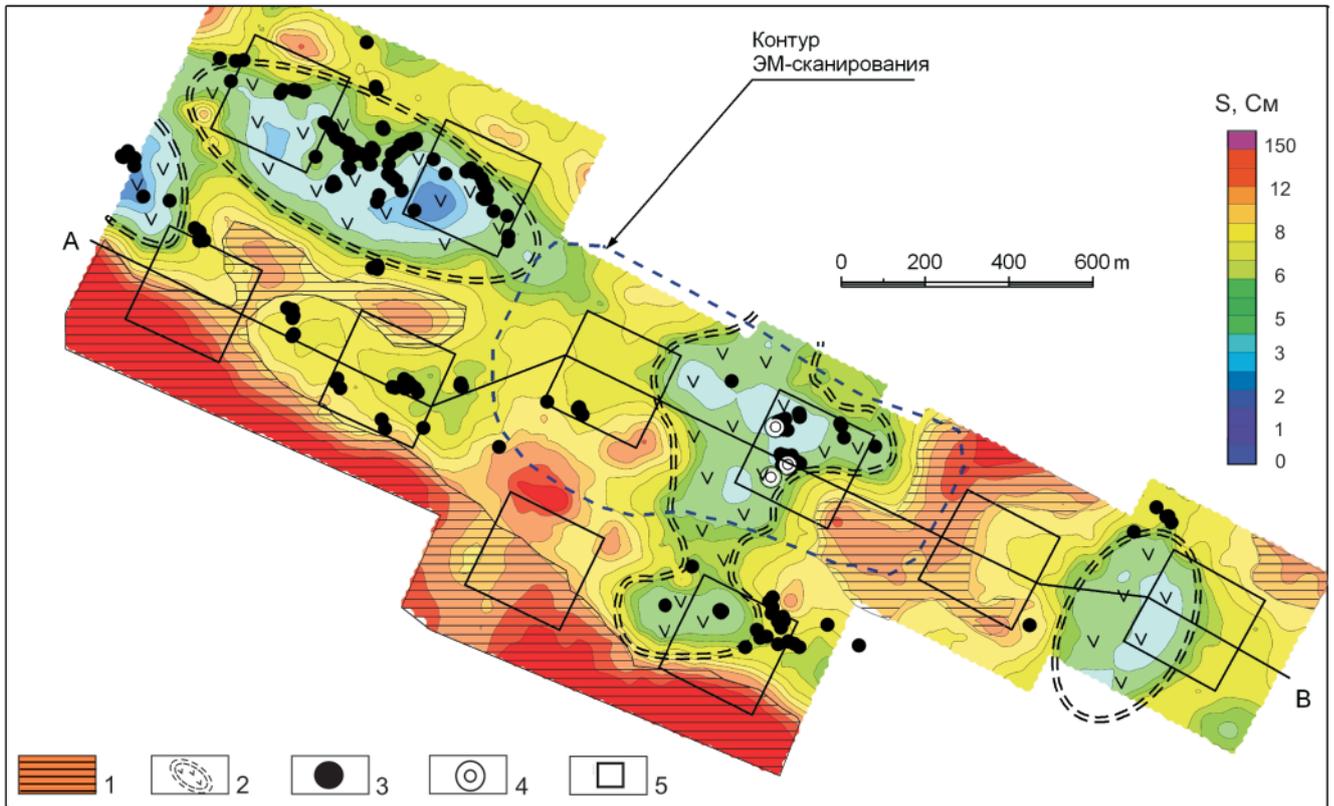


Рис. 13. План распределения интервальной продольной проводимости на глубине 50 м

1 – песчано-щебенистые отложения пустыни; 2 – субвулканические тела сложного состава с зонами кремнистого метасоматоза; 3 – проявления рудной минерализации на поверхности; 4 – скважины колонкового бурения глубиной более 100 м; 5 – генераторные петли

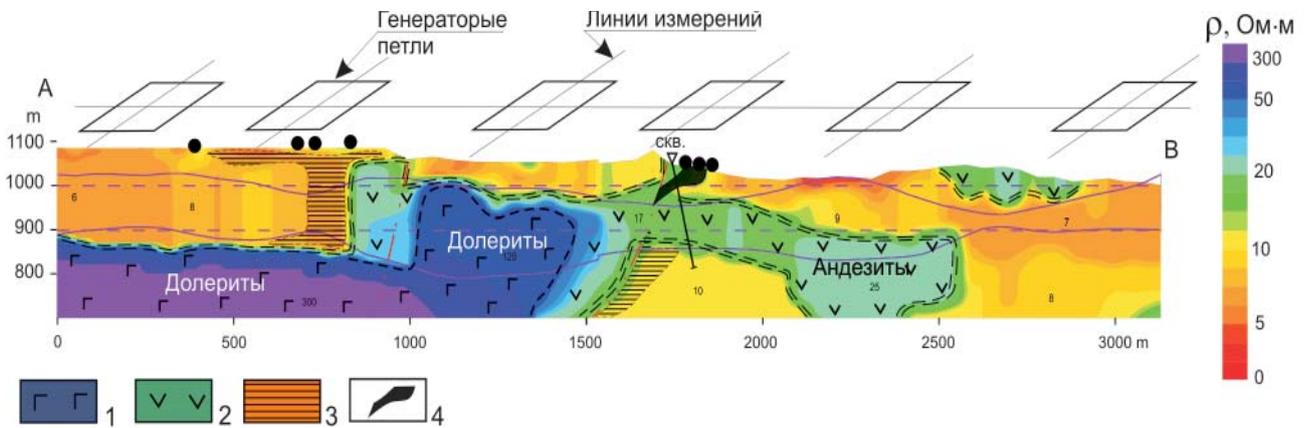


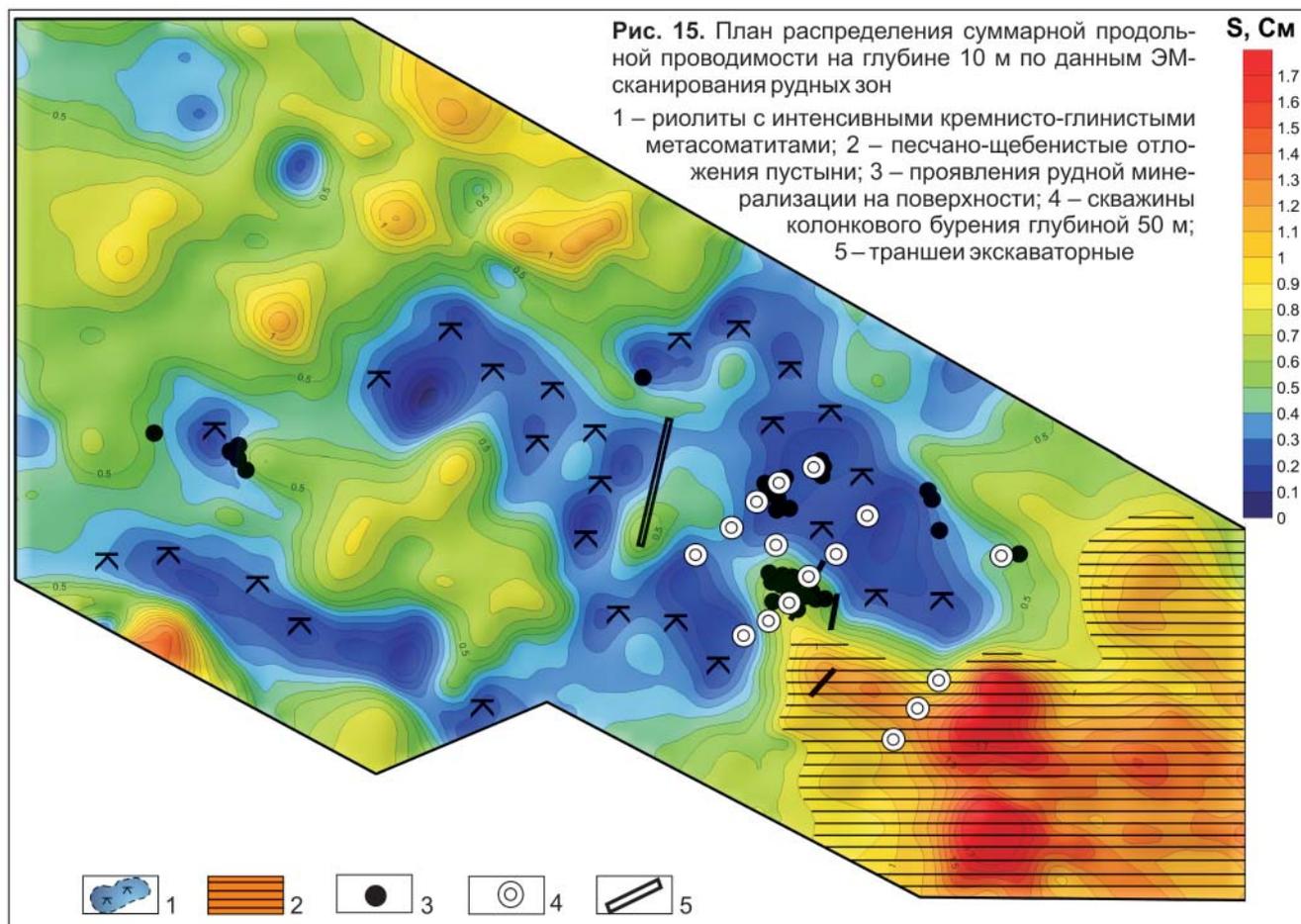
Рис. 14. Распределение удельного электрического сопротивления до глубины 350 м по профилю АВ

Субвулканические тела: 1 – долериты, 2 – андезиты окварцованные; 3 – предполагаемые зоны с рудной минерализацией; 4 – зоны с рудной минерализацией, вскрытые скважинами

матитов на глубине до 50 м. На рис. 15 показаны изолинии суммарной продольной проводимости и элементы геологической интерпретации, подтвержденные горными работами и скважинами колонкового бурения.

Сопоставление данных детального ЭМ-сканирования с горными выработками показывают, что в приповерхностном слое рудная минерализация локализована в кремнистых метасоматитах с суммарной проводимостью $S = 0,2-0,4$ См (см. рис. 15) и приурочена к смене кремнистых фаций метасоматитов на кремнисто-глинистые (зона $S = 0,2-0,6$ См).

Учитывая почти полное перекрытие коренных пород песчано-щебенистыми образованиями пустыни, проследить рудоконтролирующие границы метасоматитов по данным геологических наблюдений практически невозможно. В условиях полного выноса железа в процессе интенсивной поствулканической аргиллизации магнитометрия слабо эффективна при детальном расчленении вулканогенной толщи. Поэтому электромагнитные исследования М-ЗСБ и ЭМ-сканирование – практически единственный метод структурных исследований в сложных геолого-структурных и ландшафтных обстановках. Результаты электрораз-



ведки позволили с высокой точностью корректировать заложение поисковых скважин.

Анализ данных ЭМ-разведки позволил установить важную закономерность для регионов с пустынным жарким климатом. Вокруг всех горных поднятий, окруженных равнинами с песчано-щебенистыми отложениями пустыни, до глубины 50–70 м фиксируются зоны высокой проводимости. Предполагается, что таким образом проявляются пласты рыхлых отложений, насыщенные поровыми водами с высокой соленостью, которые образуются при стекании дождевой воды со склонов гор. Эти зоны высокой проводимости хорошо картируются электроразведкой, и их необходимо отбраковывать как проводники, сформированные современными природными процессами.

Перспективы дальнейшего развития метода

В связи с высокой эффективностью новых технологий ЭМ-разведки для картирования проводящих и высокоомных геологических тел, расшифровки геологического строения вулканотектонических структур, выделения и прослеживания зон кремнисто-глинистого метасоматоза в сложных геолого-структурных условиях предполагается дальнейшее широкое применение этих работ при поисках твердых полезных ископаемых (полиметаллы, золото, уран) в тех случаях, когда требуется высокое качество геофизических исследований.

Описанная технология в настоящее время развивается еще в двух направлениях: 1) поиски гидротермального оруденения в горно-складчатых областях; 2) расчленение разреза рыхлых проницаемых отложений с картированием водопроницаемых горизонтов на равнинах.

Уже получен уникальный материал при выполнении М-ЗСБ на участках с мощными толщами рыхлых отложений, где выделены перспективные водопроницаемые рудовмещающие горизонты, являющиеся объектами поисков с детальным расчленением разреза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Моделирование** нестационарных электромагнитных полей в трехмерных средах методом конечных элементов [Текст] / Ю. Г. Соловейчик, М. Э. Рояк, В. С. Моисеев, Г. М. Тригубович // Физика Земли. – 1998. – № 10. – С. 78–84.
2. **Пат. РФ № 47533.** Устройство для рабочего перемещения геофизических антенн. МПК⁷ G01V13/00 [Текст] / Г. М. Тригубович, А. П. Кулик, А. П. Лапковский / СНИИГГиМС; СибГеоТех. – Заявл. 29.12.2003; опублик. 27.08.2005.
3. **Пат. РФ № 52200.** Геофизический зонд. МПК⁷ G01V13/00 [Текст] / Г. М. Тригубович, С. Д. Саленко / СНИИГГиМС; СибГеоТех. – Заявл. 23.09.2005; опублик. 10.03.2006.
4. **Пат. РФ № 2411549.** Способ геоэлектроразведки. МПК⁶ G01V3/08 [Текст] / Г. М. Тригубович,



М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик / СНИИГГиМС ; СибГеоТех. – Заявл. 06.10.2009 ; опубли. 10.02.2011.

5. **Тригубович, Г. М.** 3D-электроразведка становлением поля [Текст] / Г. М. Тригубович, М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик. – Новосибирск : Наука, 2009. – 214 с.

6. **Тригубович, Г. М.** Площадные зондирования становлением поля для труднодоступных районов [Текст] / Г. М. Тригубович, В. П. Гаврилов, В. С. Моисеев // Российский геофизический журнал. – 1998. – № 9–10. – С. 75–78.

7. **Тригубович, Г. М.** Телеметрическое электроразведочное оборудование серии «Импульс» для 3D-электроразведки на плотных пространственно-временных сетях наблюдений [Текст] / Г. М. Тригубович, М. Г. Персова, А. Л. Балыбердин // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2006. – № 2(16). – С. 22–25.

8. **Тригубович, Г. М.** Технология электромагнитного сканирования приповерхностного слоя для решения инженерно-геологических задач [Текст] / Г. М. Тригубович, М. И. Эпов, В. В. Воевода // Тезисы докладов международной геофизической конференции и выставки EAGE. 15–18 сентября 1997. – М., 1997.

9. **Шурина, Э. П.** Устойчивые вычислительные схемы моделирования трехмерных электромагнитных полей в задачах геоэлектрики [Текст] / Э. П. Шурина, М. И. Эпов, О. В. Нечаев // Сибирские электронные математические известия. – 2010. – Т. 7. – С. 150–162.

10. **Kamenetsky, F. M.** Transient geo-electromagnetics [Text] / F. M. Kamenetsky, E. H. Stettler, G. M. Trigubovich. – Munich : Ludwig-Maximilian University of Munich, 2010. – P. 306.

© Г. М. Тригубович, А. П. Долгушин, А. А. Белая, И. И. Иванова, 2013

