

О ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СКВАЖИНАХ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НИКЕЛЯ НА ВОРОНЕЖСКОМ КРИСТАЛЛИЧЕСКОМ МАССИВЕ (Часть 2. МЕТОДЫ СКВАЖИННОЙ ГЕОФИЗИКИ)

А. А. Аузин

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 6 октября 2008 г.

Аннотация: проблемы с восполнением минерально-сырьевой базы металлургической промышленности России, особенно обострившиеся в последнее время, способствовали возобновлению практического интереса к никеленосному району на юго-востоке Воронежского кристаллического массива (ВКМ). В такой ситуации приобретает актуальность ретроспективная оценка геологической эффективности геофизических исследований, направленных на поиски и разведку месторождений никелевых руд ВКМ, чему и посвящена данная работа.

Ключевые слова: скважинная геофизика, Воронежский кристаллический массив, руды никеля, рудные тела.

Abstract: the problems which caused by depletion a mineral base of Russia is roused the interest to nickel considered area in a southeast of Voronezh crystal massif (VCM). In the given situation the estimation of geological efficiency of geophysical prospecting for investigation of deposits of nickel ores on VCM is very urgency. This article is devoted to the analysis of productivity of borehole geophysics.

Key words: borehole geophysics, Voronezh crystal massif, nickel ores, oresbody.

Как уже отмечалось в первой статье данного цикла [2], с середины XX века в пределах юго-восточной части Воронежского кристаллического массива (ВКМ) с целью решения вопросов, связанных с поисками и разведкой месторождений никелевых руд, широко применялись геофизические исследования в скважинах, среди которых важное место занимали методы скважинной геофизики, анализу геологической результативности которых и посвящена настоящая статья.

Методы скважинной геофизики, обладающие значительным радиусом исследования, применялись для решения следующих основных задач:

- выявление рудных тел в околоскважинном и межскважинном пространстве и определение их геометрических параметров – пространственного положения, элементов залегания, формы и размеров;
- межскважинная корреляция рудных подсечений;
- определение структурно-текстурных характеристик оруденения.

При этом применялись: скважинная магниторазведка; различные варианты метода заряда; скважинные варианты методов вызванной поляризации и

естественного электрического поля; радиоволновое просвечивание; скважинное дипольное электромагнитное профилирование; контактный способ поляризационных кривых; поляризационный метод вертикального сейсмического профилирования.

Скважинная магниторазведка

Основными целями применения скважинной магниторазведки (СМ) являются определение геологической природы наземных магнитных аномалий и опосредованное обнаружение околоскважинного пространства с целью выявления нескрытых скважинами геологических объектов повышенной намагниченности, каковыми на месторождениях и рудопроявлениях сульфидного никеля ВКМ обычно бывают обогащенные пирротином рудные тела.

В пределах Воронежской никеленосной провинции СМ проводилась в двух основных модификациях: на ранних этапах исследований выполнялись измерения только вертикальной составляющей вектора магнитной индукции (Z_v), а начиная с 80-х годов XX века стала проводиться так называемая, трехкомпонентная скважинная магниторазведка (ТСМ).

Известно, что наиболее информативными являются трехкомпонентные векторные измерения,

позволяющие определять важнейшие геометрические параметры магнитовозмущающих объектов – элементы их залегания, форму, размеры и положение в пространстве [6]. Причем такого рода информация может быть получена по результатам исследований в единичной скважине.

Кроме того, по результатам векторных исследований возможно определение элементов залегания пересекаемых скважиной контактов пород, различающихся по намагниченности, в частности – рудных тел и вмещающих пород [6]. В качестве примера можно рассмотреть результаты интерпретации данных трехкомпонентной скважинной магниторазведки, проведенной в скв. 9012 на Ёлкинском месторождении (рис. 1), результаты которой позволяют уточнить залегание не только самого рудного тела, но и секущей его диоритовой интрузии.

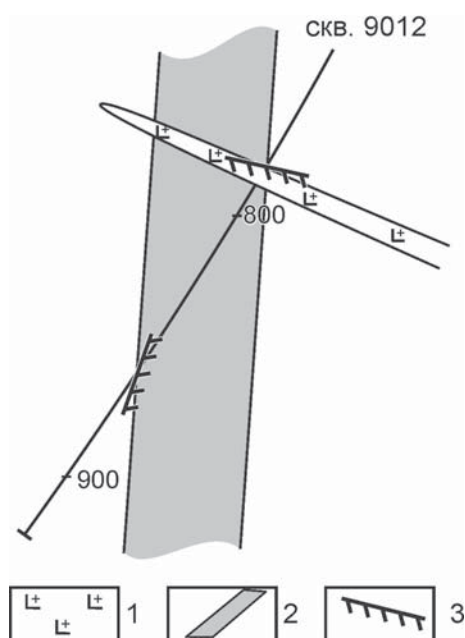


Рис. 1. Определение элементов залегания контактов рудного тела по данным трехкомпонентной скважинной магниторазведки: 1 – диориты; 2 – рудное тело; 3 – контактные поверхности

Метод заряда

Метод заряда (МЗ) проводился в вариантах электрической корреляции (МЭК), дипольной электрической корреляции (МДЭК), мелкомасштабного заряда (ММЗ) и заряда с измерением магнитного поля (МЗМП). При этом наибольший объем исследований был выполнен методом электрической корреляции, существенно меньший – методом мелкомасштабного заряда. Применение МДЭК и МЗМП носило опытно-производственный характер и имело целью оценить их возможности.

По результатам работ были сделаны выводы о неэффективности этих методов в условиях никелевых месторождений ВКМ.

Метод электрической корреляции

МЭК проводился в значительном количестве рудных скважин на всех месторождениях и некоторых рудопроявлениях сульфидного никеля ВКМ. Основной целью его применения была классическая межскважинная корреляция рудных подсечений. Кроме того, метод позволяет выявлять неподсеченные рудные тела в межскважинном и околоскважинном пространстве, с возможностью оценки их геометрических параметров – формы, размеров и пространственного положения [4].

Некоторые материалы МЭК, проведенного в скважинах Еланского месторождения, с элементами их интерпретации приведены на рис. 2. Поскольку эти исследования выполнялись параллельно с работами скважинным вариантом метода вызванной поляризации (ВП-С), то там же показаны и материалы МЭК ВП, анализ результатов которых можно найти в следующем разделе.

Данные МЭК указывают на связь рудного подсечения в скв. 7613, куда помещалось зарядное заземление № 8, с интервалами оруденения, вскрытыми скважинами 7823 и 7931. Причем характер потенциальных кривых, зарегистрированных при взаимной корреляции между скважинами 7613 и 7931, позволяет прогнозировать наличие достаточно обширной слабонаклонной вытянутой зоны сульфидизации в межскважинном пространстве, а вид потенциальной кривой, зафиксированной в скв. 7931 от зарядного заземления № 5, осуществленного в скв. 7614, характерен для случая, когда в межскважинном пространстве находится субвертикальный хороший проводник, непосредственно не связанный с этим зарядным заземлением. Результаты МЭК между скважинами 7822 и 7823 указывают на наличие пластообразного проводника, пересекаемого скв. 7823 и приближающегося к скв. 7822 в районе (или несколько выше) зарядного заземления № 19.

Метод мелкомасштабного заряда

Метод мелкомасштабного заряда (ММЗ) применяется с целью изучения рудного поля как единого целого, выявления, прослеживания и определения морфологии его отдельных крупных ветвей, а также опоискования флангов и глубоких горизонтов месторождений [9]. От стандартной методики проведения работ методом заряда (в классическом его по-

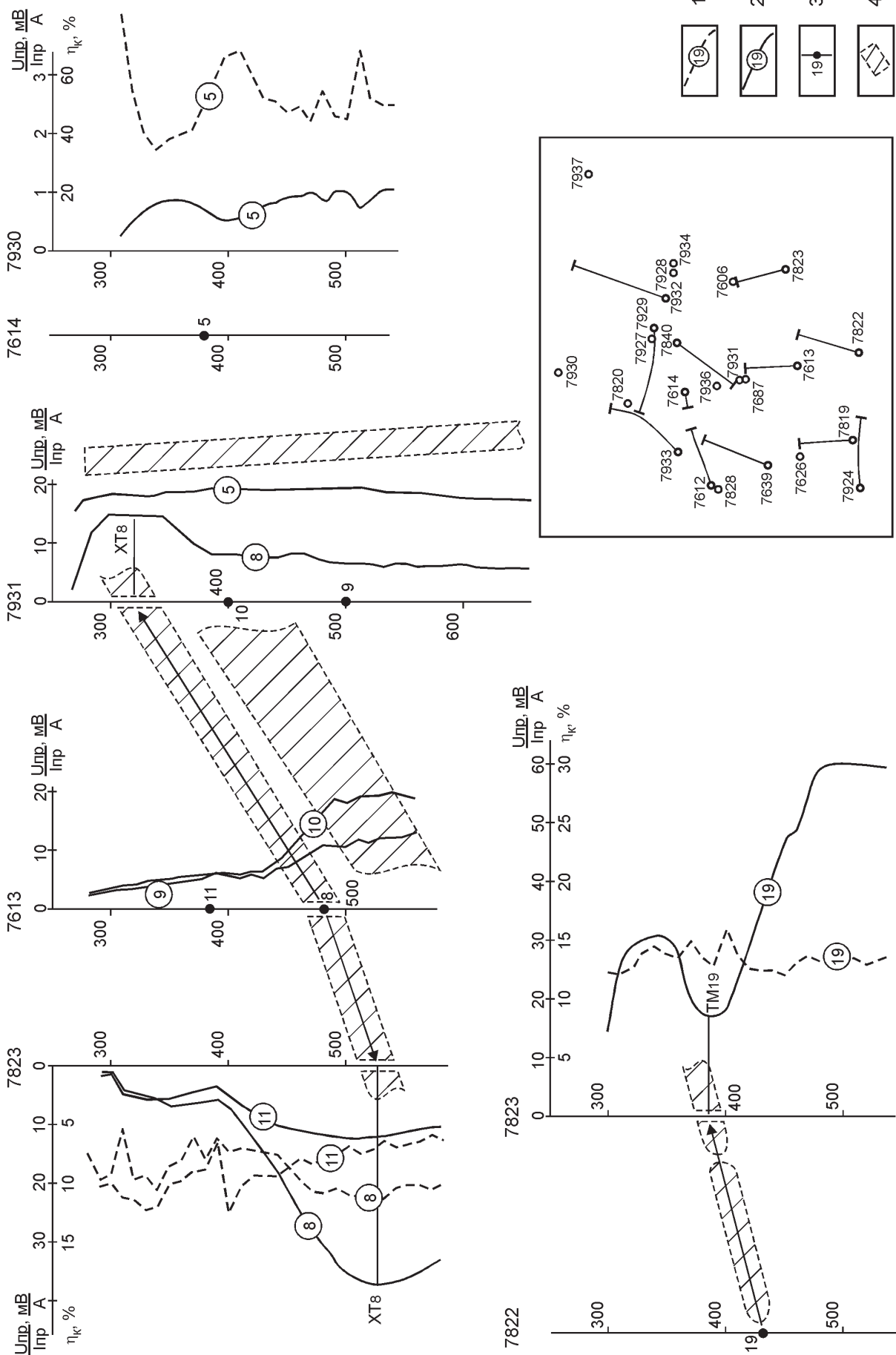


Рис. 2. Результаты МЭК и МЭК-ВП в скважинах Еланского месторождения: 1 – кривые η ; 2 – кривые приведенного потенциала; 3 – положения зарядных заземлений; 4 – контуры предполагаемых зон высокой проводимости

нимании), ММЗ отличают гораздо большие размеры съёмочных планшетов, площади которых часто достигают десятков квадратных километров.

Наибольший объем работ ММЗ был выполнен в пределах Еланского месторождения и на его флангах. Заряды осуществлялись как в рудные, так и безрудные скважины, а также в одно общее заземление, осуществленное параллельно в три скважины. В целом исследования были выполнены при 6 различных зарядах.

Достаточно определенно Еланское месторождение отразилось лишь в поле приведенного потенциала (U/I) от заряда, помещенного относительно неглубоко в безрудную скважину 7907, распо-

ложенную приблизительно в 1 км от месторождения (рис. 3).

Вместе с тем при заряде в рудную скважину 7823 наблюдалось отчетливое смещение эпицентра аномалии к север-северо-западу (рис. 4), а при заряде в безрудную скважину 7937 – к юго-западу. Этот эффект объясняется втягиванием тока в область распространения хорошо проводящих массивных руд.

Очевидный поисковый интерес представляют аномальные области, проявившиеся в поле заряда помещенного в скважину 7823 (рис. 4). Подобные аномалии, как правило, бывают обусловлены обладающими хорошей проводимостью локальными

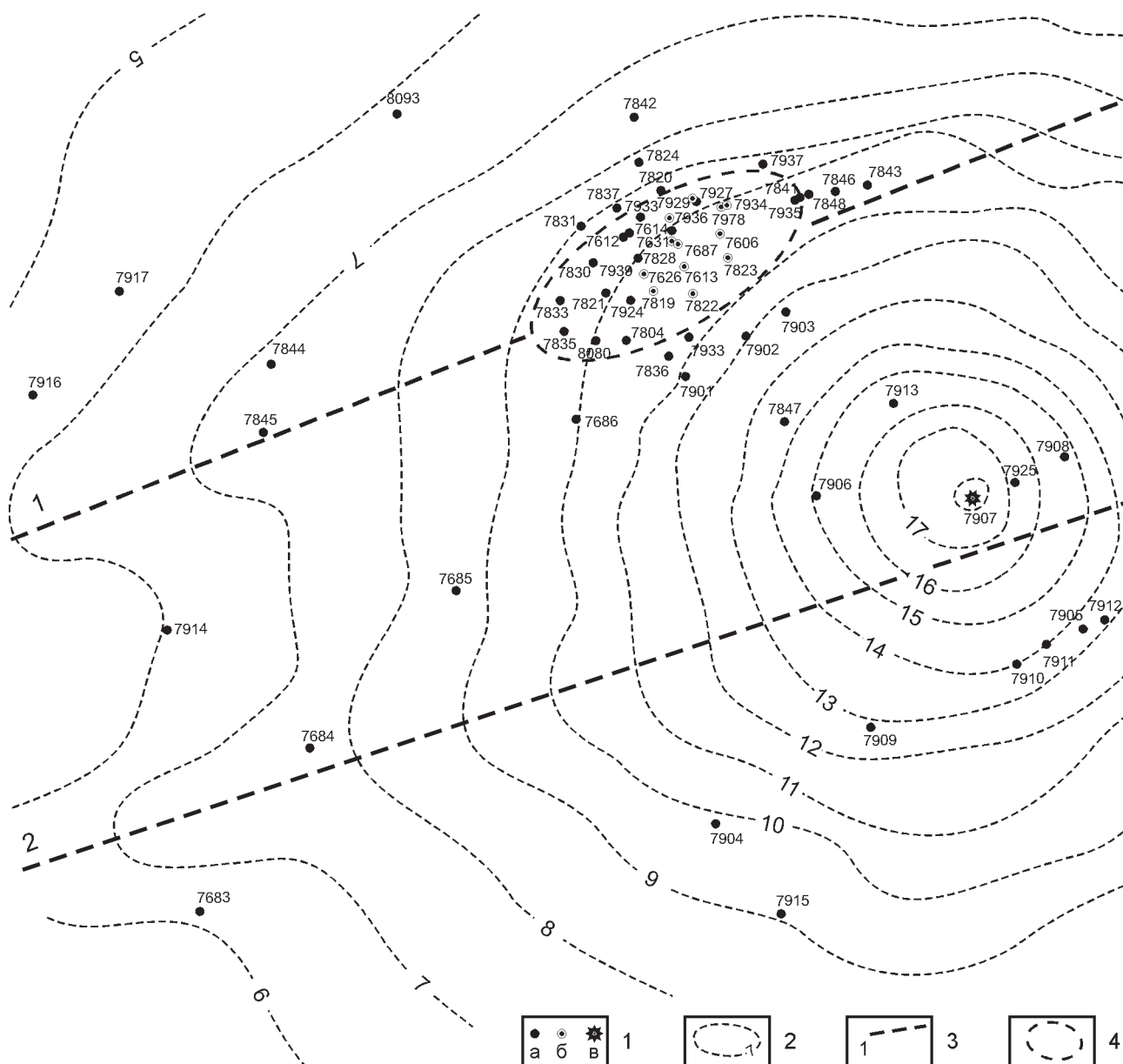


Рис. 3. Результаты исследований методом ММЗ на Еланском месторождении и его флангах: 1 – скважины (а – безрудные, б – рудные, в – зарядные); 2 – изолинии приведенного потенциала (U/I , мВ/А), проведенные через 1 мВ/А (нулевой потенциал выбран условно); 3 – оси проводимости; 4 – контуры областей высокой проводимости

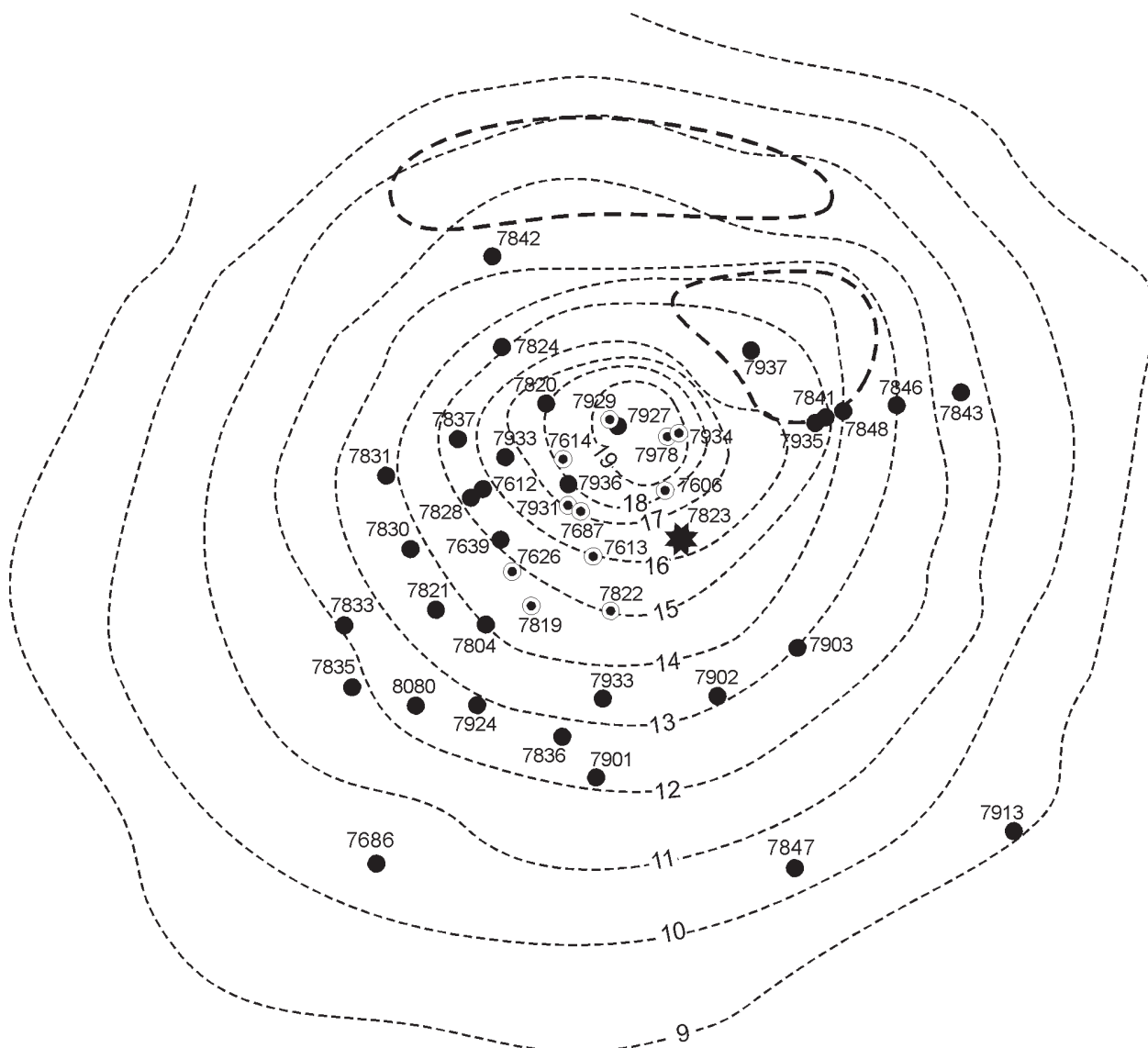


Рис. 4. Аномальные участки в поле приведенного потенциала от заряда в скв. 7823 (усл. обозн. см. на рис. 3)

объектами и могут отвечать участкам оруденения, которые, судя по структуре поля приведенного потенциала, электрически не связаны как между собой, так и с основной рудной залежью. Кроме того, геологический интерес могут представлять и другие локальные аномалии, отмечаемые в полях других зарядов, а также обширная проводящая зона, четко проявившаяся существенно южнее Еланского месторождения в полях заряда, осуществленного в скв. 7915, и общего заряда в скважины 7613, 7822 и 7828.

Анализируя материалы ММЗ в целом, можно отметить, что весьма протяженные линейные зоны проводимости (в пределах одной из них находится Еланское месторождение), которые можно отождествить с зонами разрывных нарушений или иными линейными геологическими объектами

относительно высокой электропроводности, достаточно уверенно отражаются в полях большинства глубинных зарядов. Характерно, что все они имеют восток-северо-восточное простирание, близкое к $55-60^\circ$ (см. рис. 3). Как это и должно следовать из общезначимых представлений, максимально четко подобные объекты хорошей проводимости проявляются в полях зарядов, помещаемых в скважины, расположенные на линии их простирания.

Обращает на себя внимание то, что наиболее дифференцированные потенциальные поля были получены от зарядов, помещенных относительно неглубоко, что может быть обусловлено преимущественным вкладом в формирование аномальных полей, объектов, непосредственно выходящих на эрозионную поверхность кристаллического фундамента.

Скважинный вариант метода вызванной поляризации

Скважинный вариант метода вызванной поляризации (ВП-С) проводился в модификациях метода электрической корреляции (МЭК ВП), азимутальной съемки и вертикального профилирования.

Применение ВП-С преследовало следующие основные цели:

- выявление и локализация в околоскважинном пространстве рудных тел, определение их геометрических параметров;
- корреляция рудных подсечений;
- определение структурно-текстурных особенностей аномалиеобразующих объектов.

Метод электрической корреляции ВП

Исследования МЭК ВП проводятся по схеме «скважина–скважина» установкой, формула которой имеет вид $A_{\text{скв1}} B_{\infty} M N_{\text{скв2}}$. Поскольку реализация МЭК ВП и МЭК осуществляется по единой методике, то на практике исследования МЭК, как правило, сопровождают МЭК ВП. При этом для вычислений основного интерпретируемого параметра МЭК – приведенного потенциала (U/I), из результатов МЭК ВП заимствуются значения потенциала электрического поля $U_{\text{пр}}$, регистрируемые в момент пропускания поляризующего тока, на величину которого ($I_{\text{пр}}$) они и нормируются.

На Еланском месторождении в большинстве случаев (см. рис. 2) МЭК ВП не позволил получить четких корреляционных связей между рудными подсечения по параметру кажущейся поляризуемости (η_k). Геологической причиной такой ситуации могут являться очаговый характер оруденения и его очень высокая структурно-текстурная неоднородность. Негативную роль сыграло и то, что для повышения производительности работ массовые измерения параметров ВП осуществлялись на относительно небольших временах, когда поляризуемость среды определяется, прежде всего, вкрапленным оруденением и, в меньшей степени, зависит от присутствия в разрезах массивных руд.

Однако в некоторых скважинах были получены отчетливые интенсивные аномалии ВП, свидетельствующие о присутствии в окрестностях коррелируемой и зарядной скважин зон сульфидного оруденения. В качестве примера могут выступать приведенные на рис. 2 материалы МЭК ВП, выполненного в паре скважин 7614–7930. Здесь, несмотря на то, что данные МЭК не обнаруживают никаких признаков наличия электрических связей между вскрытыми скважинами разрезами, в скв.

7930, при заряде в скв. 7614, на глубинах около 300 и 400 м фиксируются интенсивные аномалии вызванной поляризуемости, указывающие на присутствие вблизи них оруденения (резкое нарастание вызванной поляризации к отметке 300 м могло быть вызвано влиянием обсадной колонны). Более определенные суждения о характере оруденения можно было бы сделать из совместного анализа результатов МЭК ВП при помещении питающего заземления на другие глубины зарядной скважины и по материалам взаимной корреляции.

Азимутальная съемка ВП

Азимутальная съемка ВП осуществляется по схеме «поверхность–скважина» установками, имеющими формулу $A_{\text{пов}} B_{\infty} M_{\text{скв}} N_{\text{пов}}$ (при измерениях потенциала электрического поля) или $-A_{\text{пов}} B_{\infty} M N_{\text{скв}}$ (при измерениях градиента потенциала), с целью поисков рудных тел в околоскважинном пространстве и определения их пространственного положения, формы и параметров залегания.

В качестве примера рассмотрим имеющие практический интерес результаты азимутальной съемки ВП, выполненной вокруг одной из скважин на Новопокровском участке, который расположен в 8 км к северу от Еланского месторождения (рис. 5).

Эта скважина, пройденная в юго-западной части Новопокровского массива, вскрыла нориты с маломощными (до 1 м) интервалами сульфидной минерализации. В пределах глубин 588–603 м каротажем ВП с зондом В1А5М1N была зафиксирована аномалия поляризуемости, интенсивность которой достигала 69 %, сопровождающаяся, по данным КС, понижением удельного электрического сопротивления до 200 Ом·м на фоне 2–5 тыс. Ом·м в остальной части разреза. С увеличением длины применявшейся зондовой установки ВП, росли протяженность и интенсивность аномалии, причем интенсивность последней достигала 70–100 %. Анализ переходных характеристик ВП в аномальных интервалах позволяет предполагать наличие в околоскважинном пространстве зон сульфидной минерализации прожилково-вкрапленной текстуры.

Для определения положения аномального объекта была выполнена азимутальная съемка ВП. При этом электрод «А» заземлялся вдоль 8 лучей на удалении 400, 800 и 1200 м от устья измерительной скважины (рис. 5). Результаты исследований показали, что перемещение питающего электрода вдоль лучей 4 и 5, с увеличением удаления с 400 до 800 м, сопровождается интенсивным ростом значений

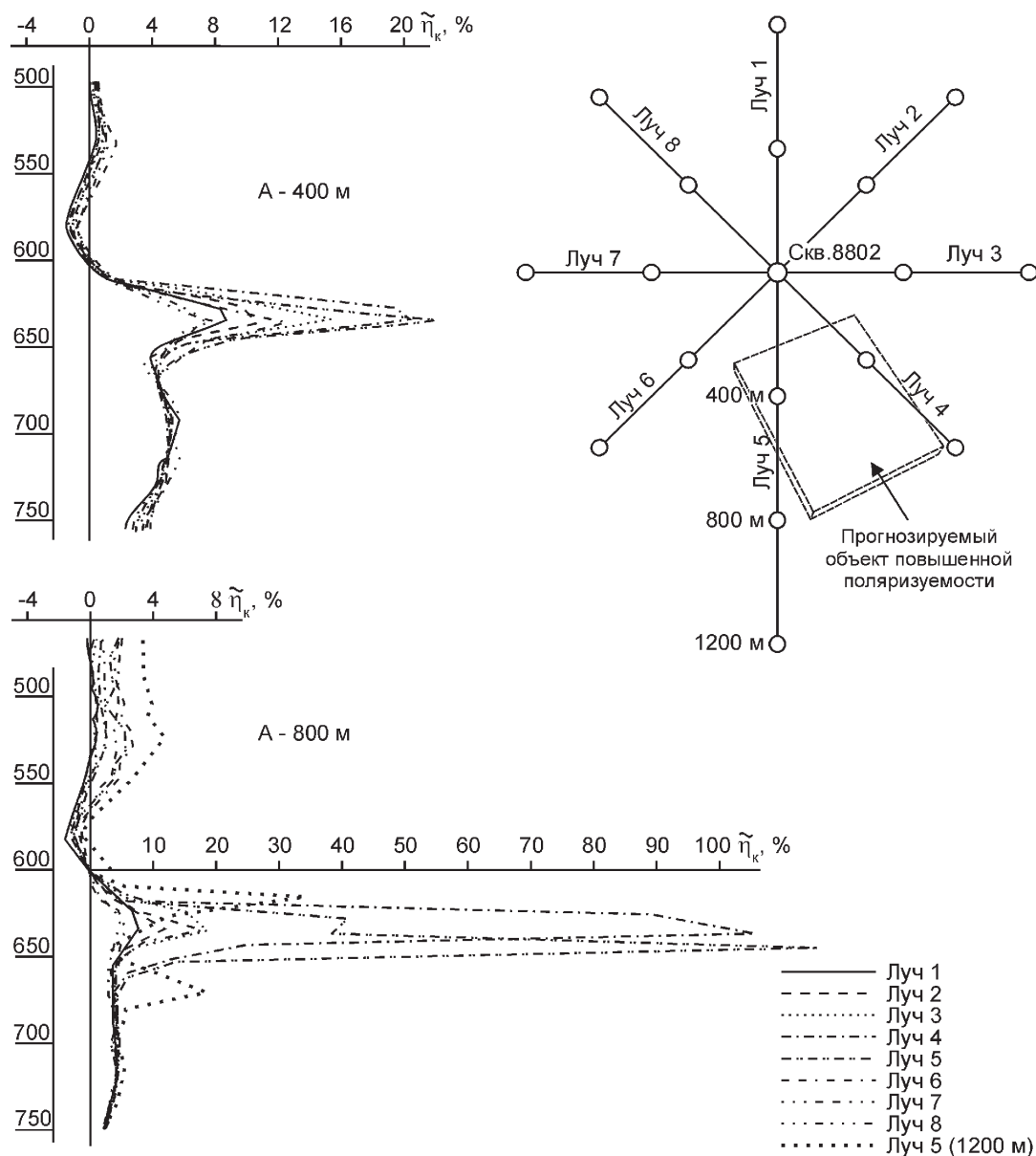


Рис. 5. Результаты азимутальной съемки в пределах Новопокровского участка (по данным ГПП «Воронежгеология», с уточнениями)

кажущейся дифференциальной поляризуемости $\tilde{\eta}_k$ вплоть до 100 % и более, которое сменяется резким спадом с тенденцией к изменению знака аномалии при удалении до 1200 м.

Характерной чертой исследований скважинным вариантом метода ВП является зависимость интенсивностей и знаков экстремумов аномалий ВП, а также последовательности их чередования, от взаимного расположения источника тока, линии наблюдения и аномалиеобразующего объекта, а также формы последнего. Анализ всего комплекса аномалий ВП, полученных при различных положениях электрода «А», выполненный с этих позиций, позволяет предложить на-

иболее вероятный вариант интерпретации, в соответствии с которым, пластообразный (или близкий по форме к пластообразному) аномалиеобразующий объект, имеет наклон в сторону исследованной скважины, залегание нижней части в пределах глубин 550–650 м, а его верхняя кромка находится на расстоянии, несколько превышающем 800 м, и может располагаться существенно выше нижней.

Анализ временных характеристик вызванной поляризации позволяет оценить структурно-текстурные параметры сульфидной минерализации. Полученные в лабораторных условиях на образцах керна из скв. 8100 (Еланское месторождение)

зависимости дифференциальной кажущейся поляризуемости от логарифма времени показали, что максимумы производных для прожилково-вкрапленных руд приходятся на времена 100–1000 с. При наличии в разрезе массивного сульфидного оруденения, максимум дифференциальной поляризации смещается по шкале времени в сторону тысяч и десятков тысяч секунд.

Вертикальное профилирование ВП

Вертикальное профилирование ВП осуществляется скважинными установками, имеющими формулу $AMN_{\text{скв}}V_{\text{пов}}$, которые аналогичны установкам каротажа ВП, но имеют существенно большие (до нескольких десятков метров) размеры. Основной целью исследований являются поиски рудных тел в околоскважинном пространстве и, по форме и чередованию знаков аномалий, определение их геометрических параметров.

В качестве примера можно рассмотреть результаты вертикального профилирования ВП, выполненного в скважинах на Жердевском (Козловском) участке, находящемся вблизи южного замыкания Жердевского кольцевого массива габбро-долеритов трапповой формации новогольского комплекса. Бурение скважин в пределах этого участка имело целью определение источников аномалий проводимости, выявленных наземной электроразведкой, для чего, в числе прочего, в этих скважинах было проведено профилирование ВП установками N5M20A, A20M1N и N10M60A и каротаж ВП зондом A5M1N (рис. 6).

Практический интерес представляет наблюдаемая на кривой профилирования, выполненного в одной из скважин с установкой N10M60A, довольно интенсивная отрицательная аномалия ВП, которая ниже по разрезу переходит в положительную. Подобные аномальные поля характерны для наклонных пластообразных объектов, находящихся относительно исследуемой скважины с противоположной стороны от поверхностного заземления «В». Таким образом, поскольку электрод «В» был заземлен в 800 м к юго-востоку от скважины, рудное тело должно находиться к северо-западу от нее. Область исследования зонда N10M60A ориентировочно составляет величину порядка 65 м и, так как подобной картины аномального поля не наблюдается при проведении исследований с 20-ти метровыми зондами, можно предполагать, что аномалиеобразующий объект достаточно ограничен по падению, имеет пластообразную форму и залегает на расстоянии, не превышающем 60 м, но и не менее

20–25 м, от скважины. Возможным источником аномалии ВП может быть фрагмент или приближенная к исследованной скважине кромка достаточно протяженного рудного тела. Пространственное положение и геометрические характеристики объекта могли бы быть установлены более определенно, если бы вокруг скважины была выполнена как минимум азимутальная съемка.

Отметим, что скважинной магниторазведкой в это скважине на глубинах 440–670 м были зафиксированы аномалии вертикальной составляющей магнитного поля интенсивностью до 1 мкТл, обусловленные боковым влиянием.

Скважинный вариант

метода естественного электрического поля

Исследования скважинным вариантом метода естественного электрического поля (ЕП-С) позволяют выявлять в околоскважинном пространстве рудные тела и определять их элементы залегания, а также, ориентируясь на результаты исследований верхних горизонтов оруденения, прогнозировать его развитие на глубину.

Необходимым условием существования аномалий естественных электрических полей, изучаемых ЕП-С, является присутствие в геологических образованиях объемных электронных проводников – скоплений электропроводящих минералов. Причем эти минеральные агрегаты должны быть связаны между собой, то есть иметь вполне определенную текстуру – массивную, прожилковую,

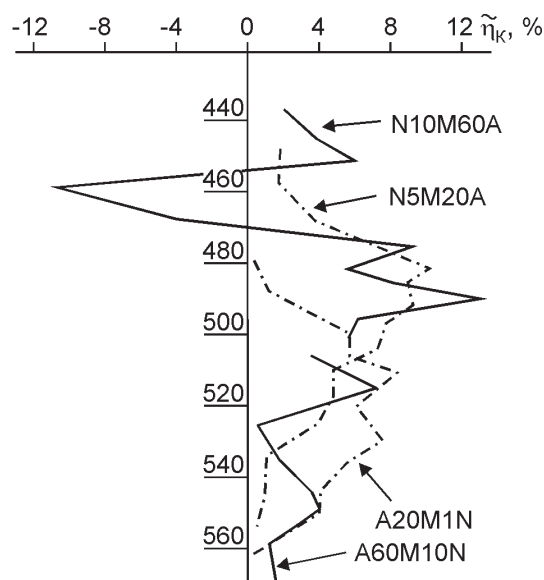


Рис. 6. Результаты профилирования ВП, выполненного на Жердевском участке (по данным ГГП «Воронежгеология»)

полосчатую и т. п. Зоны вкрапленных, электрически разобленных руд, аномалий естественных электрических полей, как правило, не создают [10].

В пределах ВКМ работы методом ЕП-С проводились на ранних этапах исследований. В частности, они ставились в ряде скважин на Нижнемамонском месторождении в 60-е годы прошлого века. При этом рудные тела, в том числе и неподсеченные скважинами, достаточно уверенно проявились в материалах ЕП-С. Однако для полноценной реализации возможностей метода, исследования следует проводить в существенно больших объемах – в максимально возможном количестве скважин. Такой подход дает возможность осуществления реконструкции объемного распределения естественного электрического поля в пределах значительных участков пространства, анализ структуры которого позволяет установить пространственное положение и элементы залегания, а в некоторых случаях и форму его источников.

Несомненным достоинством метода ЕП-С является относительная простота его реализации, не требующая применения мощных источников искусственных электромагнитных полей, как это обычно бывает необходимо при проведении исследований другими методами скважинной электроразведки.

Радиоволновое просвечивание

Основными целями применения межскважинного радиоволнового просвечивания (РВП) являются: выявление рудных объектов в межскважинном пространстве (или определение его безрудности), пространственная локализация выявленных объектов и выяснение их геометрических параметров.

На месторождениях никелевых руд ВКМ РВП достаточно успешно применялось начиная с самых первых этапов их разведки – 60-х годов прошлого века. В частности, исследования тех лет позволили детализировать строение рудных зон на Нижнемамонском месторождении. Они показали, что рудные тела с промышленным содержанием никеля, приуроченные к общей зоне сульфидной минерализации, достаточно локальны и имеют линзообразную форму [11]. Однако объем таких работ был весьма ограничен.

Наиболее значительные исследования методом радиоволнового просвечивания были проведены сотрудниками ЦНИГРИ на рубеже конца 80-х – начала 90-х годов XX века (В. А. Истратов, 1989, 1992), когда в пределах Еланского месторождения они были выполнены в 9 парах скважин. Опытные

работы показали, что рудные объекты Еланского месторождения по своим электромагнитным свойствам являются хорошими электромагнитными экранами и достаточно благоприятны для своей локализации в межскважинном пространстве с помощью РВП. В 92–94 % случаев они отмечаются значениями коэффициентов экранирования, превышающими 10 (то есть проходящее через рудное тело электромагнитное поле ослабляется более чем в 10 раз), при этом безрудным участкам в 74 % случаев отвечают коэффициенты экранирования менее 10 (В. А. Истратов, 1992).

На рис. 7 приведены результаты РВП между скважинами 9112, 9116 и 8507. По геологическим данным скважина 9112 в интервалах 410–452 м, 515–633 м и 676–689 м вскрыла прожилково-вкрапленные сульфидные руды. Аналогичная картина наблюдается и в скв. 9116, где на глубинах 393–395 м, 488–505 м, 565–615 м, 650–667 м, 690–738 м и 779–789 м вскрыты зоны сульфидной минерализации различной интенсивности. По данным опробования керна скв. 9112 в интервалах 400–452 м, 470–490 м и 540–633 м, а в скв. 9116 в интервалах 370–395 м и 435–760 м содержание никеля в рудах было не менее 0,3 %. Сульфидная минерализация норитов, вскрытых скв. 8507, оказалась незначительной.

Радиопросвечиванием зафиксированы две области экранирования, которые оконтурены по изолинии коэффициента экранирования равной 10. Верхняя из них подсечена скв. 9112 и выклинивается в непосредственной близости от скв. 9116, а нижняя, являющаяся наиболее мощной, подсекается скважинами 9116 и 9112 и выклинивается между скважинами 9116 и 8507. Выходы этих областей в скважины совпадают с участками наиболее интенсивной сульфидной минерализации, а значения коэффициентов экранирования, достигающие 5000 и более, свидетельствуют о наличии мощных хорошо проводящих объектов, сложенных массивными или прожилково-вкрапленными рудами. При этом оси проводимости, выделенные по РВП (их можно идентифицировать как относительно тонкие, хорошо поглощающие электромагнитное излучение пласты с высоким содержанием сульфидов) выходят в скважины именно там, где опробованием зафиксированы наибольшие содержания никеля (до 2 и более %).

Однако, несмотря на несомненно благоприятные предпосылки, однозначно положительно результаты именно этих работ оценивать не следует. В целом ряде случаев просвечиванием не удалось

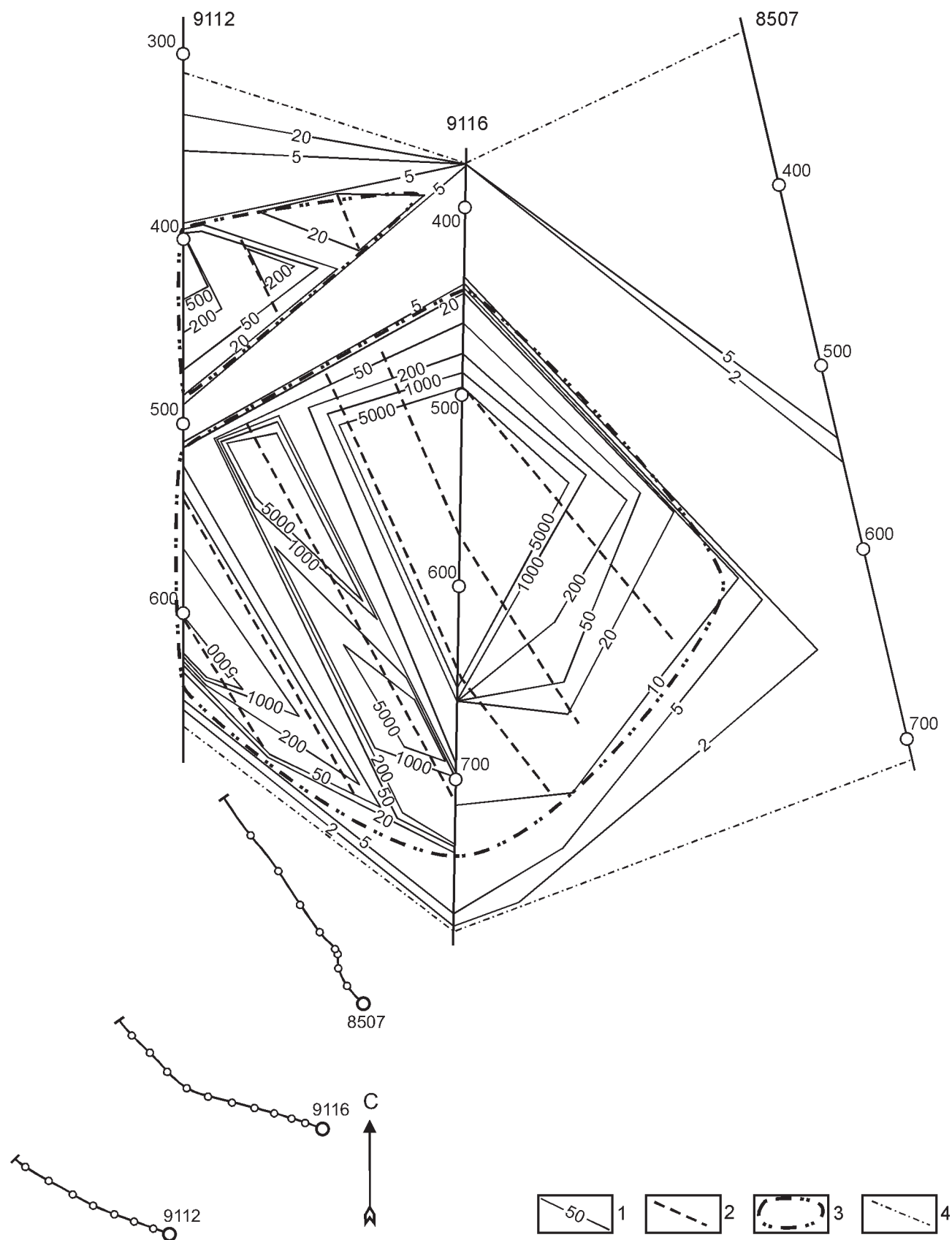


Рис. 7. Результаты РВП между скв. 9112, 9116 и 8507 (по В. А. Истратову, 1992): 1 – изолинии коэффициентов экранирования; 2 – оси проводимости; 3 – контур зоны проводимости; 4 – границы области РВП

зафиксировать зон оруденения, надежно установленных бурением, а в других – высокими значениями коэффициентов экранирования были отмечены заведомо безрудные интервалы разреза.

Столь противоречивые результаты, на наш взгляд, были обусловлены целым рядом факторов, как объективного, так и субъективного свойства. Среди первых следует отметить высокую неоднородность оруденения и отсутствие резких границ между рудами и вмещающими породами, а также сложное строение рудных залежей, представленных, как правило, крутопадающими, относительно маломощными, осложненными складчатостью телами.

В числе обстоятельств субъективного характера, негативно сказавшихся на эффективности РВП, необходимо отметить выбор слишком низкой основной рабочей частоты – 61 кГц, что, конечно, объяснялось желанием обеспечить возможно большую дальность просвечивания. Однако увеличение дальности, достигаемое таким способом, неминуемо приводит к ухудшению разрешающей способности метода, которое не может быть компенсировано никакими математическими процедурами, используемыми в процессе обработки.

Таким образом, можно считать, что вопрос об эффективности радиоволнового просвечивания на месторождениях никеля еланского типа остается пока открытым.

Скважинное дипольное электромагнитное профилирование

Скважинное дипольное электромагнитное профилирование (ДЭМПС) позволяет по результатам наблюдений в одной скважине выявлять в ее окрестностях объекты с хорошей электропроводностью и получать информацию об их размерах, форме и пространственном положении. Для подсеченных проводников метод позволяет определять углы их встречи со скважиной и места выклинивания [5].

ДЭМПС было выполнено в ряде скважин Еланского месторождения. При этом по скв. 8100 четко выделились три интервала рудных подсечений – 835–845 м, 104–1060 и 1085–1228 м. Причем все они пересекаются скважиной под углами, лежащими в пределах от 30° до 50°, а характер кривых профилирования свидетельствовал, что основная рудная масса лежит ниже скважины.

Контактный способ поляризационных кривых

Контактный способ поляризационных кривых (КСПК) состоит в последовательном возбуж-

дении электрохимических реакций на границе рудного тела с влагой вмещающих горных пород при постепенном изменении силы тока, проходящего через эту границу, и регистрации в форме поляризационных кривых электрохимических процессов, протекающих на минералах. Результаты исследований позволяют определять минеральный состав рудных тел, оценивать количество соответствующего минерала в оруденении и, сопоставляя результаты КСПК выполненного в различных скважинах участка, делать заключение о принадлежности отдельных рудных подсечений одному или различным рудным телам.

КСПК проводился в скважинах Нижнеамонского месторождения на первых этапах его изучения и позволил оценить минеральный состав и размеры отдельных рудных тел [7]. На рис. 8 показаны результаты, полученные при заземлении в рудные интервалы скважин 503 и 435. Данные КСПК по обеим скважинам отмечают наличие в рудах пирротина, магнетита, пентландита и халькопирита. Однако величины предельной силы тока соответствующих реакций невелики, что указывает на небольшие масштабы оруденения и незначительные концентрации меди и никеля в рудных интервалах. При этом предельная сила тока, зарегистрированная в скважине 435, существенно меньше, чем в скважине 503, что, с одной стороны, указывает на разобщенность этих рудных подсечений, а с другой – на весьма небольшой объем рудного объекта, вскрытого скв. 435, линейные размеры которого оцениваются как 50×50 м, против ориентировочно 78×78 м для тела, вскрытого скв. 503. Результаты исследований выполненных, в том числе и в других скважинах, позволили оценить данное оруденение как бедное, представленное, в основном, рудной вкрапленностью с отдельными сгущениями рудного материала. Радиоволновое просвечивание (В. Ф. Фриш, 1968) подтвердило полученные выводы – были выявлены локальные области радиотеней размерами около 50–70 м.

Несмотря на положительные результаты исследований методом КСПК на Нижнеамонском месторождении, его применения на Еланском месторождении оказалось малоэффективным (В. П. Михин, 1994). Причиной тому явилось сложное строение рудных зон и высокая неоднородность оруденения: если руды окружены вкрапленностью, то поляризационные кривые становятся маловыразительными и их интерпретация вызывает затруднения [8].

Поляризационный метод вертикального сейсмического профилирования

Поляризационный метод вертикального сейсмического профилирования (ПМ ВСП) реализуется по схемам «поверхность-скважина», «скважина-поверхность» и «скважина-скважина» и предназначен для исследования около- и межскважинного пространства, в случае его дифференцированности по упругим параметрам.

Исследования ПМ ВСП, выполненные в пределах Еланского массива, свидетельствуют о значительных энергетических потерях поля прямой волны за счет рассеяния на границах в имеющем значительную скоростную неоднородность осадочном чехле и кровле кристаллических пород. Таким образом, в верхней части разреза формируется мощное поле помех, на фоне которых вклад пород кристаллического фундамента в формируемое поле оказывается незначительным [3].

Проведенные работы показали, что волновое поле ПМ ВСП имеет сложный характер и выделение сейсмических эффектов, связанных с границей и внутренней структурой Еланского рудного поля, затруднено.

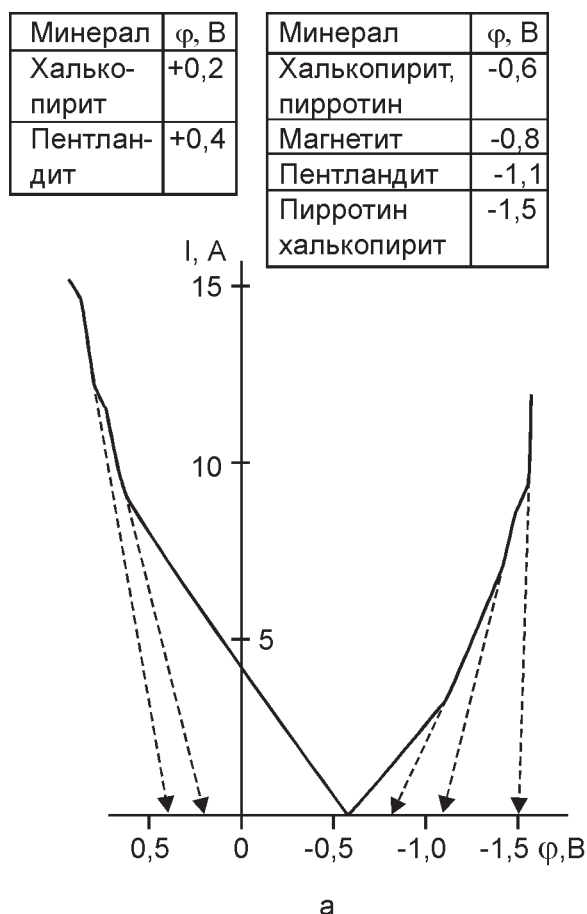
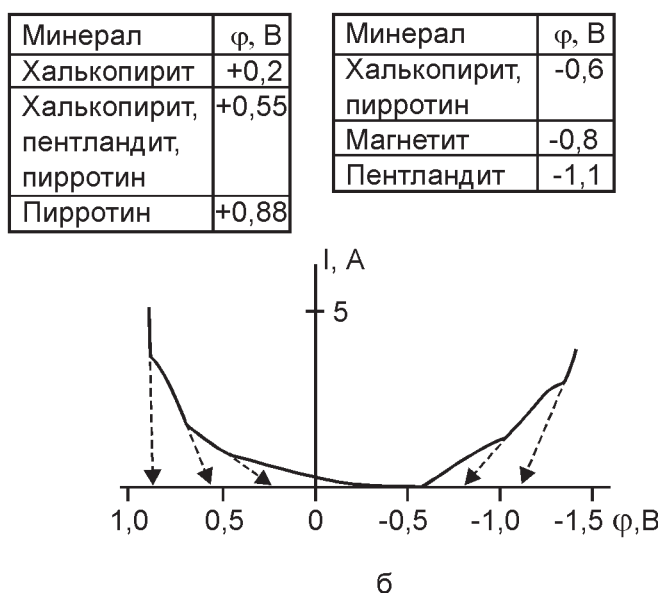


Рис. 8. Катодная и анодная поляризационные кривые, снятые при заземлениях в рудные интервалы скважин 503 (а) и 435 (б), и результаты их интерпретации [7]

Заключение

Рассматривая геологическую информативность методов скважинной геофизики в части, касающейся геометризации предполагаемых источников геофизических аномалий, необходимо отметить, что, как и у наземных методов, интерпретация их данных всегда, в большей или меньшей степени, многовариантна (неоднозначна). Кроме того, поскольку все эти методы исследований, за очень редким исключением, являются косвенными, они, сами по себе, принципиально не способны дать однозначного ответа о геологической природе источника геофизической аномалии. К прямым геофизическим методам относятся контактный способ поляризационных кривых (КСПК) и метод частичного извлечения металлов (ЧИМ). В определенном смысле, к данной категории приближается метод вызванной поляризации в вариантах, предусматривающих измерения переходных характеристик процесса ВП в широком диапазоне времен.

Хорошо известно, что вероятность получения адекватных ответов на важнейшие вопросы, касающиеся геометрических параметров и геологической природы источников аномалий геофизических полей, повышается если они основаны на информации полученной по результатам исследований обоснованным комплексом геофизических методов, в особенности, если физические основы этих методов различны. Сказанное в полной мере касается и результатов интерпретации материалов исследований методами скважинной геофизики. В частности, высока вероятность того, что наиболее протяжен-



ные линейные зоны проводимости, выявленные по результатам исследований ММЗ и интерпретируемые как разрывные нарушения, сформировались в пострудный этап тектонического развития территории и не являются рудоконтролирующими по отношению к никелевому оруденению Елани. Однако в отношении локальных и относительно изометричных аномалий проводимости столь категоричных утверждений допускать не следует – их геологическая природа нуждается в подробном изучении с привлечением всей имеющейся на данный момент геолого-геофизической информации, а также дополнительных исследований.

В отличие от методов каротажа [2], комплекс методов скважинной геофизики может иметь большую вариативность и зависеть от целого ряда факторов, в частности – глубин залегания изучаемых объектов, количества доступных для проведения исследований скважин, расстояний между ними и пр. Однако, в обязательном порядке, в каждой вновь пробуренной скважине следует проводить трёхкомпонентную скважинную магниторазведку и ВП в модификациях вертикального профиля и азимутальной съёмки, что позволит опосредованно выявлять значительные объёмы окопоскважинного пространства. На этом этапе, для выделения среди рассеянной сульфидной вкрапленности тел сложенных массивными и прожилковыми рудами, возможно применение ДЭМПС, а также ЕП-С.

Решение вопроса о целесообразности постановки исследований методом заряда следует принимать исходя из геологической обстановки на объекте исследований, учитывая при этом результаты работ вышеперечисленными методами. Возможно, методику проведения полевых исследований следует несколько видоизменить, помещая зарядные заземления в подошву осадочной толщи, вблизи её контакта с породами кристаллического фундамента, или в верхи последнего. Такой подход может позволить выявлять выходящие в эрозионный срез фундамента хорошо проводящие рудные объекты и использовать для проведения исследований, в том числе, и относительно неглубокие безрудные скважины. Данное предложение в большей степени касается реализации исследований методом заряда в мелкомасштабном его варианте (ММЗ), применительно к изучению глубоко-залегающих месторождений и рудопроявлений типа Еланского, Ёлкинского, Центрального и их флангов. В условиях сравнительно неглубокого залегания рудных объектов, типа Нижнеамонского и Подколдновского месторождений и аналогич-

ных им рудопроявлений, где мощность осадочной толщи не превышает 100–150 м, может быть эффективен метод заряда в более простом для реализации варианте, допускающем постановку работ в пределах съёмочных планшетов существенно меньшей площади – в первые квадратные километры, при неглубоком размещении питающих заземлений и применении относительно небольших зарядных токов. Кроме того, следует рассмотреть возможность выполнения исследований методом заряда в варианте погруженных электродов, что упростит техническую сторону проведения полевых работ, поскольку отпадает необходимость в организации удаленного питающего заземления («бесконечности»), и позволит уменьшить влияние неоднородных по удельному электрическому сопротивлению отложений осадочного чехла. Наличие значительного количества скважин реализацию такого варианта МЗ вполне допускает.

Важнейшей проблемой, без решения которой невозможно существенное повышение геологической эффективности работ методом заряда в любом варианте, является определение оптимального подхода к интерпретации полевых материалов. При этом прежде всего необходимо выработать методику выделения именно тех аномалий поля приведенного потенциала, которые могут быть обусловленными целевыми рудными объектами.

При доступности для проведения работ нескольких скважин необходимо поставить МЭК, ЕП-С и, возможно, РВП на частотах порядка нескольких сотен герц, до первых МГц.

Несомненному успеху геологоразведочных работ в целом будет служить востребованность информации, получаемой в результате интерпретации геофизических данных, которую необходимо организовать в оперативном режиме, а не как это практиковалось – *post factum*, когда уже все полевые работы свернуты. Подобная организация позволит контролировать ход поисковых работ в режиме реального времени и сделает более целенаправленным и продуктивным процесс бурения на перспективных участках.

В завершение следует отметить, что повышение геологической эффективности геологоразведочных работ любого рода возможно не только оптимизацией их комплекса и совершенствованием подходов к интерпретации получаемых материалов, но и путем увеличения полноты и адекватности реализации получаемых данных. Здесь большие возможности кроются в использовании объемного представления геолого-геофизической информации на

всех стадиях исследований, начиная от пространственной локализации данных каротажа и результатов исследований керна единичных скважин, вплоть до построения трехмерных моделей не только отдельных рудных тел, но и месторождения в целом, что становится возможным на заключительных этапах исследований [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аузин А. А.* Объемное компьютерное моделирование рудных объектов / А. А. Аузин, В. В. Глазнев // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. геол. – 2001. – Вып. 12. – С. 177–184.
2. *Аузин А. А.* О геологической результативности геофизических исследований в скважинах при поисках и разведке месторождений никеля на Воронежском кристаллическом массиве (часть первая – методы каротажа) / А. А. Аузин // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. геол. – 2008. – № 1. – С. 127–133.
3. *Караев Н. А.* Методика исследования эффективности рудной сейсморазведки в условиях развития мощного покрова рыхлых отложений / Н. А. Караев, П. А. Лебёдкин // Методы рудной геофизики : сейсморазведка в рудных районах. – Л. : НПО «Рудгеофизика», 1989. – С. 55–62.
4. *Козырин А. А.* Электрическая корреляция разрезов скважин / А. А. Козырин. – М. : Недра, 1985. – 36 с.
5. *Лебёдкин Л. В.* Скважинная индукционная аппаратура СИНУС. Методические рекомендации / Л. В. Лебёдкин, Н. И. Попов, М. И. Савинова, А. Б. Шрага. – Л. : НПО «Рудгеофизика», 1990. – 224 с.
6. *Магниторазведка : справочник геофизика* / под ред. В. Е. Никитского и Ю. С. Глебовского. – М. : Недра, 1990. – 470 с.
7. *Результаты геохимических и геофизических исследований по выявлению редкометалльного и полиметаллического оруденения в районе Воронежского кристаллического массива.* – М. : Геолфонд РСФСР, 1977. – 107 с.
8. *Рысс Ю. С.* Поиски и разведка рудных тел контактным способом поляризационных кривых / Ю. С. Рысс. – Л. : Недра, 1973. – 168 с.
9. *Семенов М. В.* Электроразведка рудных полей методом заряда / М. В. Семенов, В. М. Сапожников, М. М. Авдеевич, Ю. В. Голиков. – Л. : Недра, 1984. – 216 с.
10. *Скважинная рудная геофизика* / под ред. Г. К. Волосюка и Н. И. Сафронова. – Л. : Недра, 1971. – 536 с.
11. *Фриш В. Ф.* Метод скважинного радиоволнового просвечивания / В. Ф. Фриш // Методы рудной геофизики. – Л. : ВИРГ, 1968. – С. 266–269.

Аузин Андрей Альбертович – доцент, Воронежский государственный университет. Тел.: (4732) 208-385

Auzin Andrey Al'bertovich – Associate Professor, Voronezh State University. Tel.: (4732) 208-385