

Семинар «ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ»

**ОПЫТ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОИСКОВ МЕЛКИХ КОЛЧЕДАННЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ (на примере Левобережного месторождения)**

С.В. Бушарина, А.М. Виноградов, И.А. Угрюмов -

Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

История открытия Левобережного медно-колчеданного месторождения (Оренбургская область) приводится по фондовым материалам и публикациям авторов статьи. При этом историю открытия объекта невозможно отделить от обсуждения истории изучения региона и выявления других месторождений. Цель статьи - обратить внимание на необходимость формирования и перехода на новые технологические подходы при прогнозировании и поисках. Как нам представляется, они вытекают из предыдущего не всегда позитивного опыта исследований и работ. Вместе с тем подчеркивается достаточно типовая ситуация длительного, сложного и трудоемкого процесса открытия и разведки любого из известных месторождений, доведенного до промышленного освоения.

На Урале известны десятки (около 60) месторождений. Одно уникальное, 6 - 9 крупных, десятки мелких и средних, первые сотни (300 – 500) рудопроявлений, многие сотни точек обогащенной минерализации, геофизических и геохимических аномалий. Основная часть перечисленных объектов, в силу особенностей строения и географической приуроченности, включая степень изученности, расположена на Южном Урале. Очевидна, подтвержденная практикой, стратегия организации геологоразведочного процесса для наращивания запасов руд в регионе на основе работ, обеспечивающих перевод объектов от низкого ранга в более высокий. Это происходит при прогнозировании, поисках и разведке колчеданных месторождений, и главная задача в сложившейся ситуации - повысить эффективность отмеченного процесса.

Выделяются геологические, геохимические и геофизические методы решения поставленных задач. Наиболее трудоемки геологические и буровые работы, далее следуют геохимические исследования, и наименее трудоемки методы геофизики. Геологические и геохимические методы неразрывно связаны с буровыми работами и определяют результаты прогнозирования и разведки месторождений. При поисках же колчеданных месторождений, геофизика в силу физико-геологических предпосылок – ведущий метод, и это подтверждено всей историей открытия месторождений [1, 2]. Однако скрытая приоритетность затратных подходов в организации, в общем-то единого геологоразведочного процесса, расставляет приоритеты в другом порядке и, как это не парадоксально отрицательно влияет на эффективность процесса выявления новых месторождений. Так при открытии мелкого Левобережного месторождения ранее, на первом этапе, были получены геофизические данные, свидетельствующие о наличии крупного аномалия образующего объекта. Запланированы и, естественно, выполнены объемы проверочного бурения по определенной сети скважин. Хотя, можно было бы обойтись и одной скважиной. Затем, не получив запланированный результат, начались поиски признаков объекта меньших размеров. Задействована схема сгущения сети буровых работ, сохранив объемы затрат на достигнутом уровне. Хотя, можно было бы, после детальных геофизических наблюдений, обойтись лишь еще одной скважиной. Но тогда был бы нарушен затратный механизм с реальными потерями отпускаемых ассигнований даже в случае открытия месторождения. Третий раз на достигнутом уровне затрат выйти на данный участок уже было невозможно. Наступала угроза, связанная с «переизученностью объекта», что выявлялось и каралось ГКЗ при подсчете запасов. Безопаснее для субъекта поисков в существующей системе перейти на другие участки и «успешно» продолжить работы. После всего отмеченного, участок выявленного Левобережного рудопроявления при дальнейших прогнозных оценках был списан как не пер-

спективный. Изложенная схема типовая, и её можно прописать для многих и многих перспективных (?) участков и площадей Урала.

Эйфория обеспеченности прогнозными и разведанными запасами медно-колчеданных руд на Урале кончилась в начале этого столетия. В новых условиях решать проблему начали по известной программной схеме ВМСБ (восполнение минерально-сырьевой базы) за счет средств и силами заинтересованных уже частных предприятий (ОАО «ГОКов»). Через эту схему прошла история дальнейших поисков месторождений в Домбаровском районе. Так для её реализации Институт геофизики УрО РАН по договору с ОАО «Гайский ГОК» в 2000 году приступил к тематическим и опытно-производственным работам по переоценке перспектив на колчеданное оруденение Акжарско-Домбаровской площади Оренбургской области. За основу была принята ревизия комплексных геофизических и геохимических аномалий, известных точек обогащенной минерализации рудопоявлений с использованием современных аппаратных технологий.

В результате на этой достаточно хорошо изученной и детально опоискованной ранее площади были выделены десятки локальных участков, заслуживающих дальнейших, и

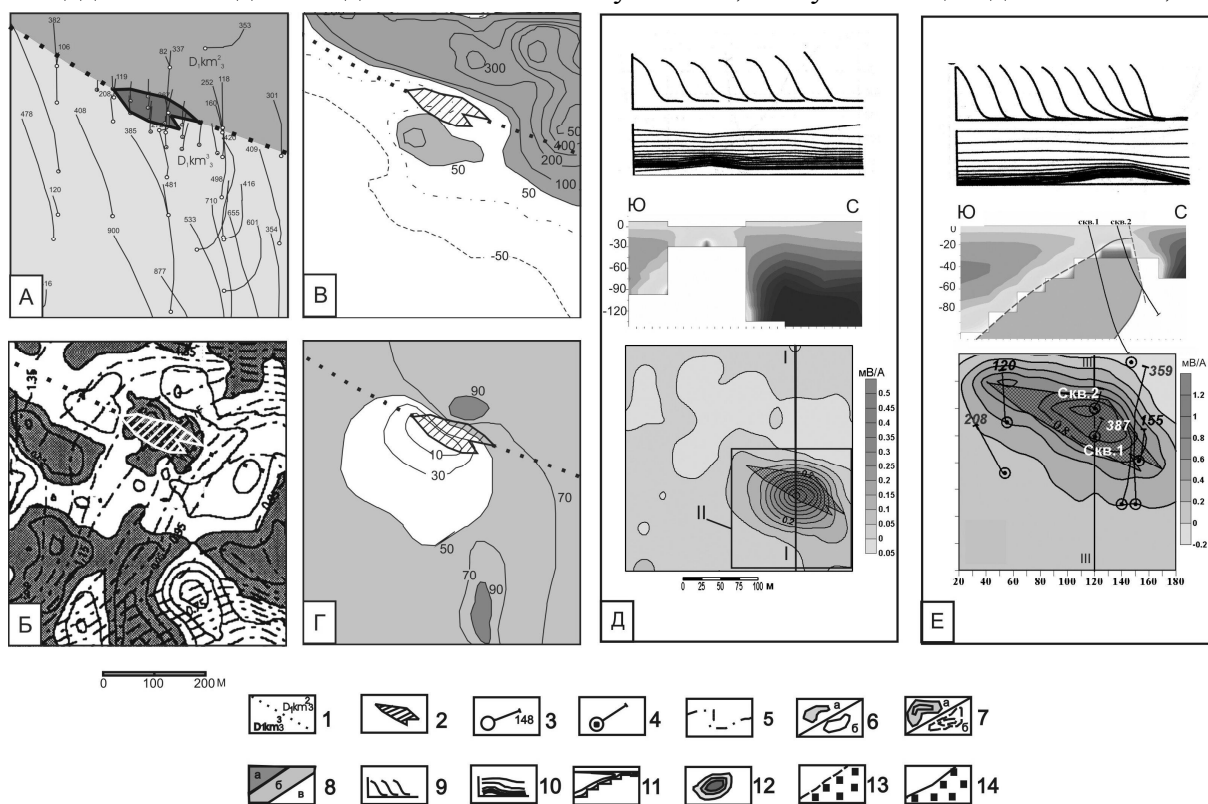


Рис. 1. Результаты геолого-геофизических исследований участка рудного поля Левобережного месторождения: А – схема геологического строения и положения скважин; Б – план остаточных аномалий силы тяжести; В – план магнитного поля; Г – план естественного поля; результаты детализации автономным датчиком в генераторной петле 400х400 м. (Д) и петле 200х200 м. (Е); 1- надрудная и подрудная толща; 2 – контуры выхода рудного тела на эрозионный срез по данным разведки; 3 – проекции скважин с отметками глубин, пробуренные в 1978 - 1990гг.; 4 – скважины, пробуренные при проверке аномалии в 2001 г. (скв. 1 и 2 – (Е)) и при разведке месторождения в 2001 - 2002гг.; 5 – изолинии региональной составляющей поля силы тяжести; 6 – изолинии остаточных аномалий относительно повышенного (а) и пониженного (б) поля; 7 – изодинамы магнитного поля с выделением относительно повышенных (а) и пониженных (б) значений; 8 – изолинии естественного поля с выделением повышенных (а), фоновых (б) и пониженных (в) значений; 9 – переходные характеристики по профилям наблюдений с автономным датчиком; 10 – годографы значений переходного поля; 11 – схематические геоэлектрические разрезы; 12 – планы значений переходных характеристик на задержках 3 мс; 13 – граница рудного тела по данным МПП; 14 – то же по данным бурения

прежде всего, геофизических исследований. Была разработана схема экспрессной оценки этих участков с использованием современного аппаратурно-методического комплекса импульсной электроразведки. Планомерное изучение участков было начато с наиболее перспективных. На одном из них – участок рудопроявления Левобережного, в результате геофизических исследований масштаба 1 : 2000 – 1 : 5000 была выявлена локальная геофизическая аномалия (рис. 1). С одной стороны, аномалия имела откровенно рудные характеристики, с другой - она была расположена на участке известного детально изученного рудопроявления, а с учетом всего комплекса ранее выполненных работ, участок был оценен как бесперспективный. Однако заданная скважина вскрыла в интервале 15 – 92 м. богатые массивные медно-колчеданные руды. Объект был оперативно разведан силами ОАО «Гайский ГОК» и подготовлен для отработки карьерным способом [3].

В заключение, с учетом происходящей в настоящее время [4] реанимации поисковой службы, следует обратить внимание на нижеследующее:

1. Оптимизация поисков колчеданных месторождений на Урале и в провинциях сходного строения должна исходить из объективно существующих предпосылок, определяющих приоритет геофизики при минимально возможных затратах на буровые работы.

2. Заверка геофизических аномалий должна осуществляться единичными скважинами, положение и глубины которых определяются детальными геофизическими съемками масштаба 1 : 2000 – 1 : 5000, а каждая последующая скважина на аномалии задается с учетом результатов работ (включая ГИС) на предыдущей.

3. Выявление мелких, в том числе неглубокозалегающих месторождений (рудных тел), еще только начинается. Их экспрессное вовлечение в карьерную отработку [3] приносит, вероятнее всего, экологический ущерб несравнимо больший прибылей частных компаний, обрабатывающих объекты.

4. Выявление крупных месторождений на глубинах до 300 – 500 м является главной стратегически, экологически и экономически оправданной наукоемкой задачей. Её успешное решение предопределено высоким уровнем предыдущей изученности рудных районов Уральского региона и прогрессом аппаратурно-методической обеспеченности геофизических исследований. Для решения этой задачи целесообразно формирование специализированной программы, настроенной на целевые, а не на затратные, принципы освоения выделяемых средств.

Литература

1. Первооткрыватели отечественных месторождений // Отечественная геология, 2002, № 5-6, с. 63 - 92.
2. *Виноградов А.М.* Геополя и колчеданы Южного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 184 с.
3. *Кузнецов С.И.* Итоги геологического поиска и разведочных работ Гайского ГОКа в 2006 году // Новые методы геологического изучения, добычи и переработки руд цветных и благородных металлов. Сборник. Челябинск: Цицеро, 2006, с. 182 - 187.
4. *Михайлов Б.К.* Об основных итогах геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые в 2005г. и планах на 2006г. // Разведка и охрана недр, 2006. № 1, с. 3 - 10.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНОГО СИГНАЛА, ВЫДЕЛЯЕМОГО ИЗ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ ОТ ТЯГОВОЙ СЕТИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

В.С. Вишнев - Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Ранее было установлено, что из электромагнитных импульсных помех, создаваемых тяговой сетью железной дороги (ЭЖД), можно выделять однотипные по структуре источника (полезные) сигналы. Они возникают при изменении режима энергопотребления электровозов, проходящих в различные моменты времени по одному и тому же отрезку пути, легко регистрируются серийной аппаратурой на расстояниях от рельсов вплоть до двух и более десят-

ков километров и являются весьма перспективными для использования в электроразведке.

В работе приведено обоснование модели источника, дан вывод математических формул, выполнены и проанализированы расчеты площадных и профильных распределений электрических и магнитных составляющих этих сигналов для случая, когда рельсовый путь прямолинейный, равномерно заземленный и неветвящийся, геологический разрез горизонтально-слоистый, слои однородные, режим возбуждения поля установившийся.

Расчеты показали:

1. Несмотря на сложное строение тяговой сети ЭЖД, горизонтальные магнитные (ΔH_x , ΔH_y) и электрические (ΔE_x , ΔE_y) составляющие изучаемого сигнала на расстояниях свыше 2 км от железнодорожного полотна создаются в основном лишь токами утечки рельсов. Вертикальная магнитная составляющая (ΔH_z) практически везде – только токами, проходя-

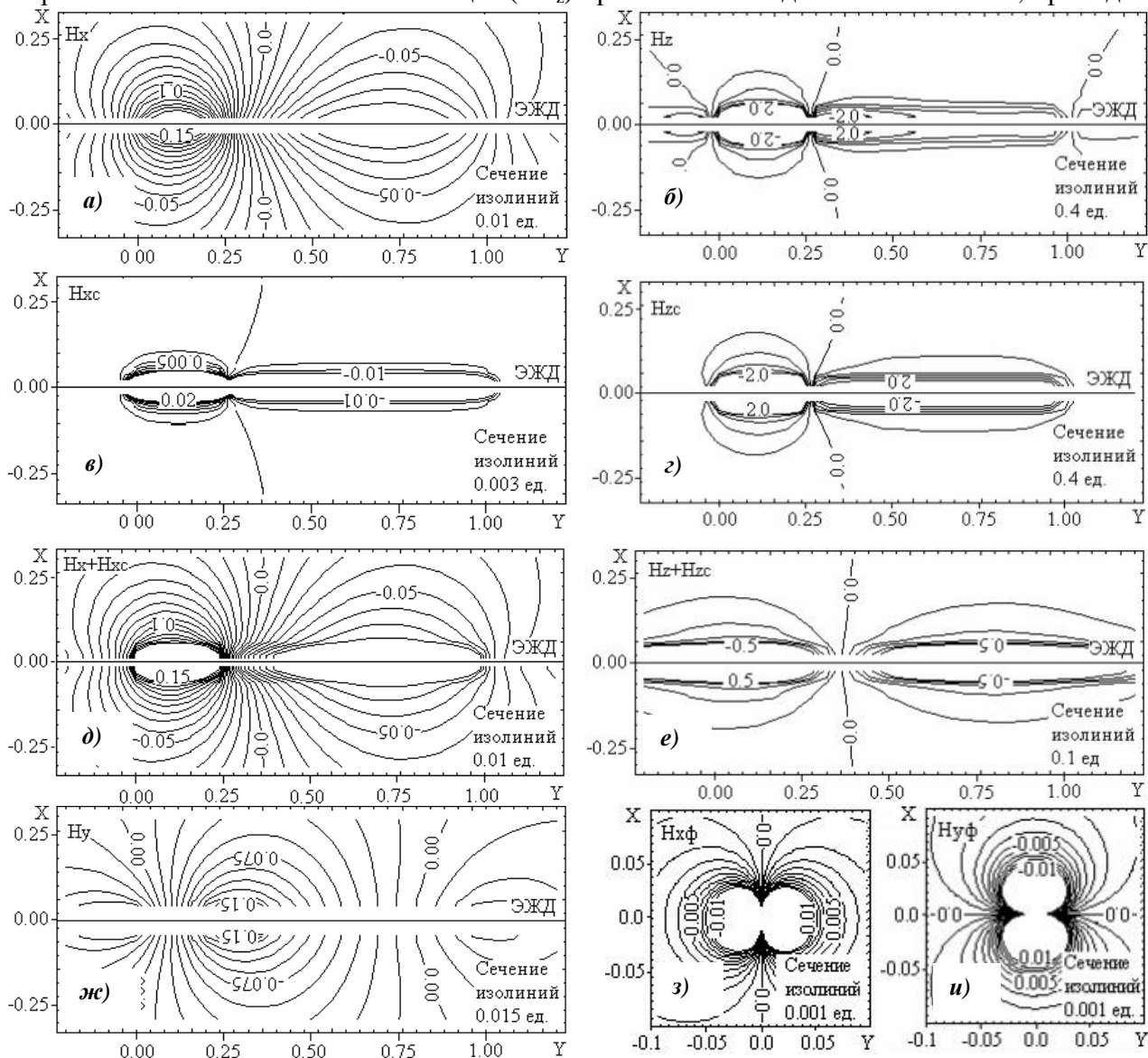


Рис. 1. Результаты расчета магнитных составляющих поля токов тяговой сети ЭЖД: *a, ж* – поле токов утечки рельсового пути, *в, з* – поле секции контактного провода, *з, и* – поле вертикального фидера (при нормированном значении тока, равном единице), *б* – поле токов, текущих по рельсам, *д, е* – поле токов железнодорожного полотна и секции контактного провода. Ось *X* - перпендикулярна, *Y* – параллельна дороге. Длина секции контактного провода $L = 20$ км. Приведенная координата места изменения тяговой нагрузки электровоза $l_0/L = 0,25$. Значение параметра, характеризующего условия заземления рельсов $kL=2,8$. Высота подвеса контактного провода $h/L = 0,0003$. Приведенная длина фидера $D/L = 0,0003$

щими по рельсам и ближайшей к точке измерения секции контактного провода. Вклады остальных токоведущих элементов дороги в амплитудные значения сигналов на расстояниях свыше двух километров от соответствующего электровоза и питающих его тяговых подстанций незначительны и ими можно без ущерба точности пренебречь.

2. В пунктах местности, расположенных в непосредственной близости к дороге, абсолютные значения ΔN_x , ΔN_y в несколько раз меньше, чем ΔN_z (рис. 1). Следовательно, амплитуды ΔN_z , измеренные в этих пунктах, не должны сильно зависеть от электропроводности горных пород при любом реальном геологическом разрезе. И по их распределениям можно, вероятно, вычислять значения параметров тяговой сети, величины которых заранее неизвестны, в частности, амплитуды токов утечки с различных участков пути, вызвавшие импульсы ΔE_i , ΔN_j и др.

А это означает, что источник полезных сигналов, выделяемых из импульсных помех от ЭЖД, по своей сути детерминирован и его можно использовать для получения как качественных, так и количественных геоэлектрических характеристик.

МАЛОГЛУБИННАЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА ПО МЕТОДУ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Ю.М. Гуревич - Геологическая служба Израиля, Иерусалим, yugur@hotmail.com

Оценка возможностей различных установок профилирования

Использование многоканальной и многоэлектродной аппаратуры в сочетании с автоматическими методами интерпретации результатов измерений обеспечивают высокую производительность работ, что способствует широкому распространению этой технологии при малоглубинных геофизических исследованиях. Методика работ сочетает традиционные методы профилирования и зондирования, а интерпретация результатов измерений основана на автоматическом подборе сопротивления одновременно для многих графиков. Существует несколько названий этой технологии: многоэлектродные зондирования, сплошные электрические зондирования, электротомография (<http://www.geoelectric.ru/publ.htm>) и др.

Излагаемые ниже результаты могут показаться тривиальными и неполными. Поэтому к ним следует относиться как к заметкам, которые могут оказаться полезными при проведении малоглубинной электроразведки с помощью метода сопротивлений.

Существует множество вариантов взаимного расположения питающих и измерительных электродов, называемых установками, для выполнения профилирования и зондирования. В докладе рассмотрены две из них, наиболее часто используемые в практике работ: симметричная установка и установка срединного градиента.

Для анализа работы этих установок использован метод математического моделирования. В качестве тел, создающих аномальные поля, будем брать прямоугольные параллелепипеды. Сопротивление тела будем характеризовать относительной величиной: отношением удельных электрических сопротивлений тела к окружающей среде. Для симметричной установки рассмотрено моделирование при исследовании прямоугольного параллелепипеда с ребром 20 м и расположенного на глубине 25 м. Относительное сопротивление тела взято равным 0.1. Размер установки (расстояние между электродами А и В) при моделировании был неизменным и равным 150 м.

Показано, что при использовании симметричных установок с заданным разносом электродов А и В, наибольшую глубину разведки обеспечивают установки с минимальными значениями расстояний между электродами М и N.

Установки, у которых разнос АВ превышает расстояние MN в десять раз, будем называть градиентными. Применение установок с малыми значениями расстояний MN ограничивается не только затруднением измерений наблюдаемых при этом разностей потенциалов, но и некоторыми другими причинами. Так, начиная с некоторых разносов АВ, превышающих глубину

залегания изучаемого тела, графики кажущегося сопротивления становятся мало различимыми между собой и потому не несут дополнительную информацию. В этом случае графики ВЭЗ над центром ограниченного по размерам тела имеют вид двухслойных кривых.

Установка Веннера обладает меньшей глубинностью, однако характеризуется другим полезным свойством – большей разрешающей способностью. Значения кажущегося сопротивления над центром тела вначале растут с увеличением АВ, а начиная с некоторого расстояния, зависящего от глубины залегания неоднородности, уменьшаются (графики ВЭЗ имеют вид трехслойных кривых). Для градиент-установок этот эффект мог быть получен при значительно больших разносах.

Еще один существенный недостаток градиент-установки выявляется при сравнении аномалий от глубинных и приповерхностных неоднородностей. Представлен следующий вычислительный эксперимент. Одно тело размером 15x15x5 м вблизи дневной поверхности (глубина до его центра 3 м) и второе тело размером 30x30x10 м, залегающее в интервале глубин от 20 до 30 м. Расчет графиков электропрофилей выполнен для каждого из тел в отдельности. При этом разнос питающих электродов сохранялся неизменным (АВ = 200). Менялось расстояние между центральными электродами М и N. Сделанные расчеты свидетельствуют о том, что зондирование разреза в глубину можно осуществлять не только путем изменения расстояния между крайними электродами, но и путем изменения расстояния между центральными электродами, сохраняя разнос внешних электродов неизменным.

Проведено сопоставление возможностей стандартной (предыдущей) установки и установки срединных градиентов. Графики изменения кажущегося сопротивления по профилю для обеих установок очень похожи. Так же, как и в предыдущем случае, изменение расстояния между приемными электродами приводит к изменению глубины исследований. Этот фактор, наряду с изменением разносов АВ, можно так же использовать для зондирования различных глубин разреза.

В методе срединных градиентов внешние (питающие) электроды неподвижны, а приемные электроды М и N перемещаются в средней части линии АВ от одного из питающих электродов к другому. Существует мнение, что глубина исследований в разных точках профиля различна. Предполагается, что она максимальна в центральной части профиля и уменьшается по мере приближения к каждому из питающих электродов. Однако моделирование показывает, что это не соответствует действительности: величина аномалии при малых разносах М и N существенно не изменяется, а при больших даже несколько возрастает.

Работа с установкой срединных градиентов в полевых условиях менее трудоемка, чем с симметричной. При необходимости продолжить профиль следующее положение питающей линии должно быть таковым, чтобы несколько точек измерений (при наибольшем размере MN) были общими для предыдущей и новой установки.

Решение обратной задачи в классе тел с заданной геометрией

Малоглубинные геофизические исследования проводятся, как правило, с целью поиска различных полезных ископаемых, включая стройматериалы и воду, участков загрязнения окружающей среды и археологических захоронений. Такие объекты часто представляют собой ограниченные в пределах профиля тела с отличными от окружающей среды сопротивлением и поляризуемостью, что является необходимым условием для применения электрических методов разведки.

Объекты поисков в общем случае могут иметь довольно сложную геометрическую форму, которая, впрочем, часто не отражается в наблюдаемых аномальных полях, особенно с увеличением их глубины залегания. Эти аномальные поля хорошо описываются полями простых геометрических тел, размеры которых и электрические свойства близки к электрическим параметрам и основным размерам искомым тел. Поэтому при расчетах в качестве аппроксимирующего тела взят прямоугольный параллелепипед. Ниже покажем

на ряде примеров, что данная аппроксимация может иметь место.

Для решения обратной задачи в рамках модели с заданной геометрией созданы две программы **InvRPSGrad** и **InvRPSimD** на языке системы MatLab. С помощью этих программ осуществляется подбор графиков кажущегося сопротивления (R_k) симметричной установки и установки срединного градиента полями тел в форме прямоугольного параллелепипеда. Обе программы работают в интерактивном режиме. При этом вначале интерпретатором задаются предполагаемые соотношения размеров параллелепипеда вдоль его главных осей, и для этой модели в автоматическом режиме ищутся размеры модели, положение ее центра, угол наклона и удельные электрические сопротивления модели и окружающей среды. Критерием для оценки правильности решения обратной задачи является степень совпадения графиков профилирования, полученных экспериментальным путем (данные), с соответствующими графиками, сосчитанными в результате работы программы (результат). Предполагается, что параметры геологического тела определены, если графики заданного поля и полученные в результате решения обратной задачи совпадают с требуемой точностью. При неудовлетворительном совпадении заданных графиков с подобранными интерпретатор меняет нулевое приближение и повторяет подбор в автоматическом режиме. Подбор осуществляется одновременно для нескольких графиков, полученных с разными размерами установок одного типа.

Рассмотрены ряд теоретических примеров: тело сложной геометрии, неоднородное в электрическом отношении тело, два или более тел с различной геометрией и различными электрическими характеристиками.

Рассмотренные основные примеры, указывают на возможность использования данного способа интерпретации графиков электропрофилирования. Представленный способ не претендует на всеобщность. Он может быть применен на участках с относительно однородным по сопротивлению разрезом, а так же при целенаправленных поисках рудных тел, даек, воды, археологических исследованиях, поисках инженерных сетей и др. При этом можно обойтись значительно меньшим количеством измерений (меньшим набором типов и размеров установок). Следует так же отметить, что каждый раз при подборе определялись размеры тела не только вдоль, но и поперек профиля. Наконец, способ можно применить при отсутствии других, более универсальных, инструментов интерпретации. Возможны так же случаи применения рассмотренного способа в качестве еще одного аргумента для выяснения ситуации при получении противоречащих априорным данным результатов электротомографической интерпретации.

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛИТОСФЕРЫ СЕВЕРНОГО УРАЛА

А.Г. Дьяконова, В.С. Вишнев - Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Урал является одним из признанных мировых эталонов складчатых поясов с полным циклом динамического развития. Однако вопрос о его происхождении и глубинной структуре до сих пор вызывает оживленные дискуссии. Отсутствие единого суждения среди ученых по этой проблеме показывает, что мы имеем дело со сложно построенным геологическим объектом, объяснение внутреннего строения которого встречает трудности и ограничения в рамках той или иной из сложившихся в настоящее время гипотез.

Неоднозначность структурных и геофизических построений требует привлечения новой объективной и независимой информации, а также дополнительных экспериментальных исследований. В последние годы в связи с появлением современной широкополосной геофизической аппаратуры нами впервые в практике электромагнитных исследований

предложен и опробован новый подход, позволяющий получать информацию об электрических параметрах среды на глубинах от 10 метров до сотен километров, в зависимости от решаемых задач: региональных, разведочных или поисковых. Это значительно расширяет возможности традиционной электроразведки, направленной на поиски проводящих объектов лишь в верхних частях коры, поскольку позволяет проследить структурно-тектонические и флюидные связи с глубинными особенностями строения изучаемых территорий. Как показали наши исследования, выполненные в Южном секторе Урала, геоэлектрика, как наиболее глубокий геофизический метод, существенно дополняет информативность одного из наиболее представительных в мире сейсмопрофилей через складчатые пояса - «Уралсейс-95» [1]. Начиная с 2004 года, подобные региональные исследования проводятся по серии опорных, субширотных геотраверсов через Северный и средний Урал, что позволяет построить геоэлектрические модели без привноса априорной информации о разрезе и тем самым получить объективную информацию о расслоенности коры и верхней мантии по электрическим параметрам. Это оказалось наиболее существенным моментом, поскольку имелась возможность сопоставления полученных данных в верхних слоях коры с результатами других независимых методов электроразведки (ВЭЗ, каротаж и др.).

В настоящей работе рассматриваются результаты комплексных электромагнитных исследований с искусственным (ИЭМЗ) и естественным (АМТЗ-МТЗ-ГМТЗ) источниками поля в расширенном диапазоне частот ($160 \text{ кГц} \div 10^{-4} \text{ Гц}$) по двум геотраверсам Северного Урала (широты $\approx 61^\circ 20'$ и $59^\circ 20'$).

Северный Урал, учитывая его отдаленность от основных промышленных районов Среднего и Южного секторов, а также специфические климатические и природные условия – почти полное бездорожье, гористый рельеф и заболоченность территории, является до сих пор сравнительно малоизученным регионом. В связи с этим, получение нового экспериментального материала о расслоенности коры и верхней мантии по электрическим параметрам позволяет дополнить, а в ряде случаев уточнить, имеющуюся геолого-геофизическую информацию.

В построенных моделях (от 10 м до 300 км) наряду с вещественным составом пород в верхней части разреза, включая кору выветривания, прослеживаются структурно-тектонические связи между геологическими объектами (комплексами, разломами) и особенностями глубинного геоэлектрического разреза. Получена важная информация о расслоенности литосферы по электрическим параметрам на различных уровнях. В верхних частях разреза (до глубин 10-20 км) – это субвертикальные или круто наклонные проводящие вставки, маркируемые зонами тектонических нарушений, выявленными на земной поверхности. В большей части из них прослеживается связь с протяженным коровым проводником, по нашему мнению имеющим флюидную природу. Выявлены особенности глубинного структурно-тектонического строения западной части Восточно-Европейской платформы, Предуральского прогиба, «открытого» Урала и глубинных разломов: Салатимского, Главного Уральского (ГУГР), Платиноносного, Серовско-Маукского, а также границы «открытого» Урала с Западно-Сибирским мегабассейном. Принципиальные результаты получены в интервале астеносферных глубин (60-120 км).

Здесь выделено два типа геоэлектрических разрезов, с наличием и отсутствием слоя повышенной проводимости в центральных зонах Северного Урала (Центрально-Уральское поднятие, Тагильская мегазона и Восточно-Уральское поднятие). Существенное различие электропроводности вещества на этих глубинах в полосе 230 километров хорошо увязывается с пониженными значениями теплового потока в данном сечении и с большей долей вероятности может быть связано с особенностями Уральского тектогенеза в палеозое. Наличие «безастеносферной» мантии в центральных зонах се-

верного сектора Урала свидетельствует о том, что состояние ее в настоящее время соответствует смене режима аномально разогретой мантии (вероятно, доордовикский возраст) на «холодный» режим пострифтового этапа.

Литература

1. Геоэлектрический разрез литосферы Южного Урала по геотраверсу Камышла – Стерлитамак – Николаевка / А.Г. Дьяконова, П.Ф. Астафьев, В.С. Вишнев и др. // Геология и металлогения ультрамафит – мафитовых и гранитоидных интрузивных ассоциаций складчатых областей: Мат-лы научн. конференции (X Чтения А.Н. Заварицкого). Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2004. с. 26 - 29.

НОВЫЙ СПОСОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ В ГАРМОНИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОЗБУЖДЕНИЯ СТРУКТУРЫ

Р.Б. Журавлёва - Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Теоретические исследования [1 - 3] показали, что наиболее информативной при исследовании субгоризонтальных структур является величина

$$G=(1+cr)e^{-cr} = ReG + iImG = \begin{cases} (3e_{jz} - h_{zz})/2 & \text{ВМД} \\ (3h_{ze} - h_{zz})/2 & \text{ВМД+ГЭД} \\ 3-(3h_{xx}+h_{zz})/2 & \text{ВМД+ГМД,} \end{cases} \quad (1)$$

где e_{jz} , h_{zz} - электромагнитные числа в поле вертикального магнитного диполя (ВМД); h_{ze} - в поле горизонтального электрического диполя (ГЭД); h_{xx} - в поле горизонтального магнитного диполя (ГМД) с моментом вдоль оси x . Зондирование может выполняться в частотном, дистанционном и в изопараметрическом варианте (при фиксированном r).

Для определения волнового параметра $\chi r_{ef} = \chi r / e_f e^{ia}$ разработана программа на основе метода итераций, либо этот параметр можно определять с использованием специально рассчитанной номограммы. При использовании амплитудных измерений интерпретация производится в рамках модели эффективного однородного полупространства, при этом $a = \pi/4$ и вычисляется $\rho_{ef} = \omega \mu r^2 / \chi r_{ef}^2$. На рис. 1 представлены результаты такой интерпретации для типичного для Урала 4-х слойного разреза. Для сравнения штриховой линией показана величина ρ_{ef} при измерении отношения h_z / h_r в поле ВМД.

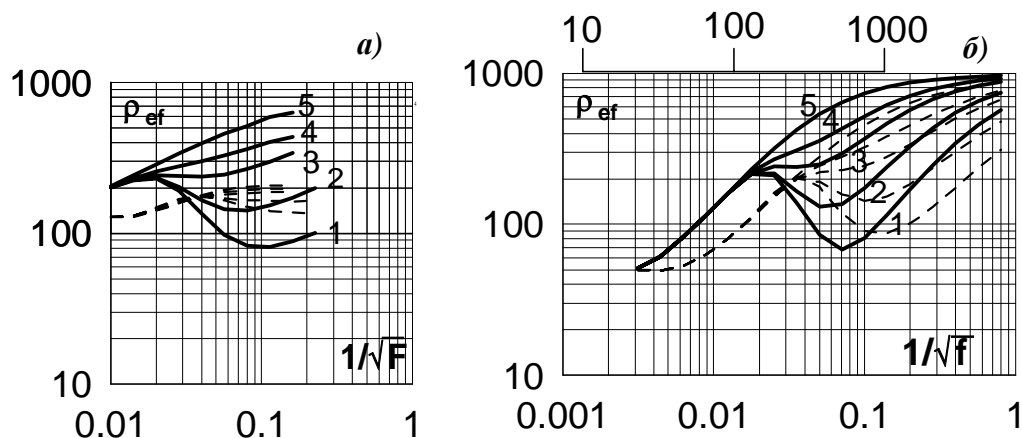


Рис. 1. Изменение ρ_{ef} при использовании в качестве информационного параметра h_z/h_r (прерывистая линия) или G (сплошная линия); а - частотное зондирование, $r = 200\text{м}$; б - изопараметрическое зондирование, \sqrt{f} $r = 8000$

Таблица. Данные расчетов к рис.1

ρ , Ом·м	50	1000	var	1000
h , м	20	200	50	∞

Var=	1	2	3	4	5
ρ_3 , Ом·м	10	20	50	100	1000

Видно, что использование величины G обеспечивает более высокую разрешающую способность по сравнению с традиционными методиками, например, с измерением вертикального импеданса либо h_z/h_r в поле ВМД, и позволяет выявлять глубинные объекты при меньших разносах и более высоких частотах, что очень важно, т.к. с увеличением разноса и понижением частоты величина измеряемого сигнала уменьшается.

При выполнении амплитудно-фазовых измерений выполняется интерпретация по модели эффективной 2-х слойной среды с определением её параметров ρ_1 ; h_1 ; ρ_2 . При этом полагаем $\rho_{1k} = \rho_{ef}$, а ρ_2 и h_1 определяем, используя соотношения:

$$ZZ = |\chi r|_{ef} e^{i(\alpha - \pi/4)}; \quad T = \arctan_{CTH} \frac{TH}{CTH} \quad ZZ = \chi_1 h_1 + ar_{CTH}^{TH} \sqrt{\rho_2 / \rho_1} = \text{Re } T + i \text{Im } T;$$

$$\rho_{2k} = \rho_{1k} \cdot \begin{cases} TH^2 (\text{Re } T - \text{Im } T) \\ CTH^2 (\text{Re } T + \text{Im } T) \end{cases}, \quad h_{1k} = \delta \sqrt{2|\text{Im } T|}, \quad \text{где } \delta = r \sqrt{2} / |\chi r|_{ef} \quad (2)$$

На рис. 2 приведены зависимости $\rho_{1k}(h_{1k})$, $\rho_{2k}(h_{1k})$ для 4-х слойного разреза с меняющейся глубиной погруженного проводника. Видно, что привязка к глубине с использованием (2) даёт достоверную оценку глубины центра проводника, соответствующей ρ_{min} .

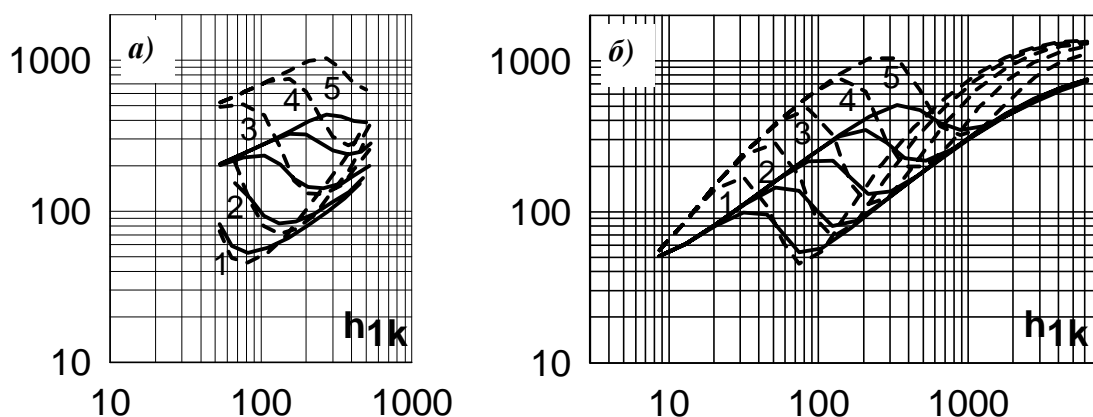


Рис. 2. Зависимость ρ_{1k} и ρ_{2k} от h_{1k} ; а - частотное зондирование, $r = 200\text{м}$; б - изопараметрическое зондирование, $\sqrt{f} r = 8000$

ρ , Ом·м	50	1000	20	1000
h , м	20	var	50	∞

Var=	1	2	3	4	5
h_2 , м	50	100	200	400	800

В докладе будут приведены результаты расчётов кривых зондирования для двух, трех и четырех слойных структур при использовании в качестве информационного параметра величины G . Кроме того, будет определён критерий выбора параметра $\sqrt{f} r$ при изопараметрическом зондировании в зависимости от предполагаемых параметров изучаемой структуры.

Литература

1. Журавлёва Р.Б. О повышении информативности величины эффективного сопротивления

при зондированиях с контролируемым источником // Теория и практика геоэлектрических исследований. Екатеринбург: УрО РАН, 2000, с. 182 - 188.

2. Журавлёва Р.Б., Миронов Д.Г. Новый вариант зондирований с комплексированием измерений при магнитном и электрическом возбуждении поля // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей. Пермь: УрО РАН, 2005, с. 86 - 88.

3. Журавлёва Р.Б. Новый способ электромагнитных зондирований и его информационные возможности // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей. Екатеринбург: УрО РАН, 2006, с. 114 - 117.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПО ПРОФИЛЮ КОШ - АГАЧ - САГЛЫ

Д.И. Карюкин, А.А. Карюкина –

Красноярский научно-исследовательский Институт геологии и минерального сырья,
Красноярск

Данная работа интересна тем, что в ней исследуется геоэлектрический разрез до глубины 60 км по профилю Кош-Агач-Саглы, проходящий над двумя действующими очагами землетрясений Шапшальским и Алтайским. Разрез был построен на основе экспериментальных электромагнитных исследований. Изучая результаты магнитотеллурического зондирования (МТЗ) по другим профилям, в совокупности с данными, полученными с помощью сейсморазведки, можно выделить зоны возможных очагов землетрясений.

Алтае-Саянская горная область занимает промежуточное положение между горноскладчатыми системами Средней Азии (Тянь-Шанем и Памиром) и околоплатформенными системами Байкальского рифтогенеза, входя в состав трансасиатского сейсмического пояса. В целом Алтае-Саянская область по степени сейсмичности находится на четвертом месте в России после Дальнего Востока, Прибайкалья и Северного Кавказа [1].

Методика измерений данных МТЗ заключается в регистрации компонентов естественного переменного электромагнитного поля земли - магнитотеллурического поля [2]. Профиль Кош-Агач-Саглы имеет общую протяженность около 200 км и проходит по юго-западной части Алтае-Саянской складчатой области (АССО) вдоль границы с Монголией и пересекает следующие зоны (слева - направо): Ануйско-Чуйский прогиб, зона Курайского глубинного разлома, Хемчикская структурно-формационная зона, зона Шапшальского глубинного разлома, зона Тувинской впадины. Следует отметить, что данная область относится к зоне с сейсмичностью в 8 - 10 баллов, в соответствии с картой общего сейсмического районирования Российской Федерации, и включает в себя два действующих очага землетрясения Алтайский и Шапшальский [3].

При проведении работ использовались станции SGS-E, предназначенные для проведения электромагнитных зондирований без использования внешней синхронизации сигнала. На протяжении всего профиля применялась Г-образная схема установки с длиной измерительных линий 50 - 100 метров, в зависимости от ландшафтных условий [4]. Положение точек МТЗ и ГМТЗ по маршруту было максимально приближено к спрямленной линии регионального геофизического маршрута. В среднем расстояние между точками составило: АМТЗ - 1.5 км, МТЗ - 3 км, ГМТЗ - 9 км. Маршрут пролегал в сложных горных условиях, районам населенных пунктов и железных дорог, на таких участках профиля наблюдения не проводились или расстояния между физическими точками отличается от проектного.

При работе со станцией SGS - E используются специализированные программы, разра-

ботаные А.В. Поспеевым и А.М. Пашевиним (ГИЦ ГФУГП «Иркутскгеофизика»): SGS - Registration, SGS - Processing, LineInterMT. Программа SGS - Registration выполняет задачи визуального контроля за работой станции одновременно с управлением ею. Программа обработки MT-поля SGS - Processing: использует стандартные алгоритмы узкополосной фильтрации и решения переопределенной системы уравнений. При малых шагах дискретизации производится вычитание помехи с частотой 50 Гц, для решения переопределенной системы используется схема Дулитла с вычислением коэффициента совместимости системы. Интерпретационный комплекс LineInterMT предназначен для проведения профильной интерпретации MT-данных в интерактивном режиме, позволяет находить решения, развернутые по главным направлениям импеданса, и проводить одномерную инверсию.

В конечном итоге было построено три геоэлектрических разреза: до глубины 2, 20 и 60 км (рис. 1). На малоглубинном разрезе видно, что на фоне общих весьма высоких сопротивлений выделяется ряд преимущественно приповерхностных зон с относительно более низкими сопротивлениями 30 – 150 Ом·м.

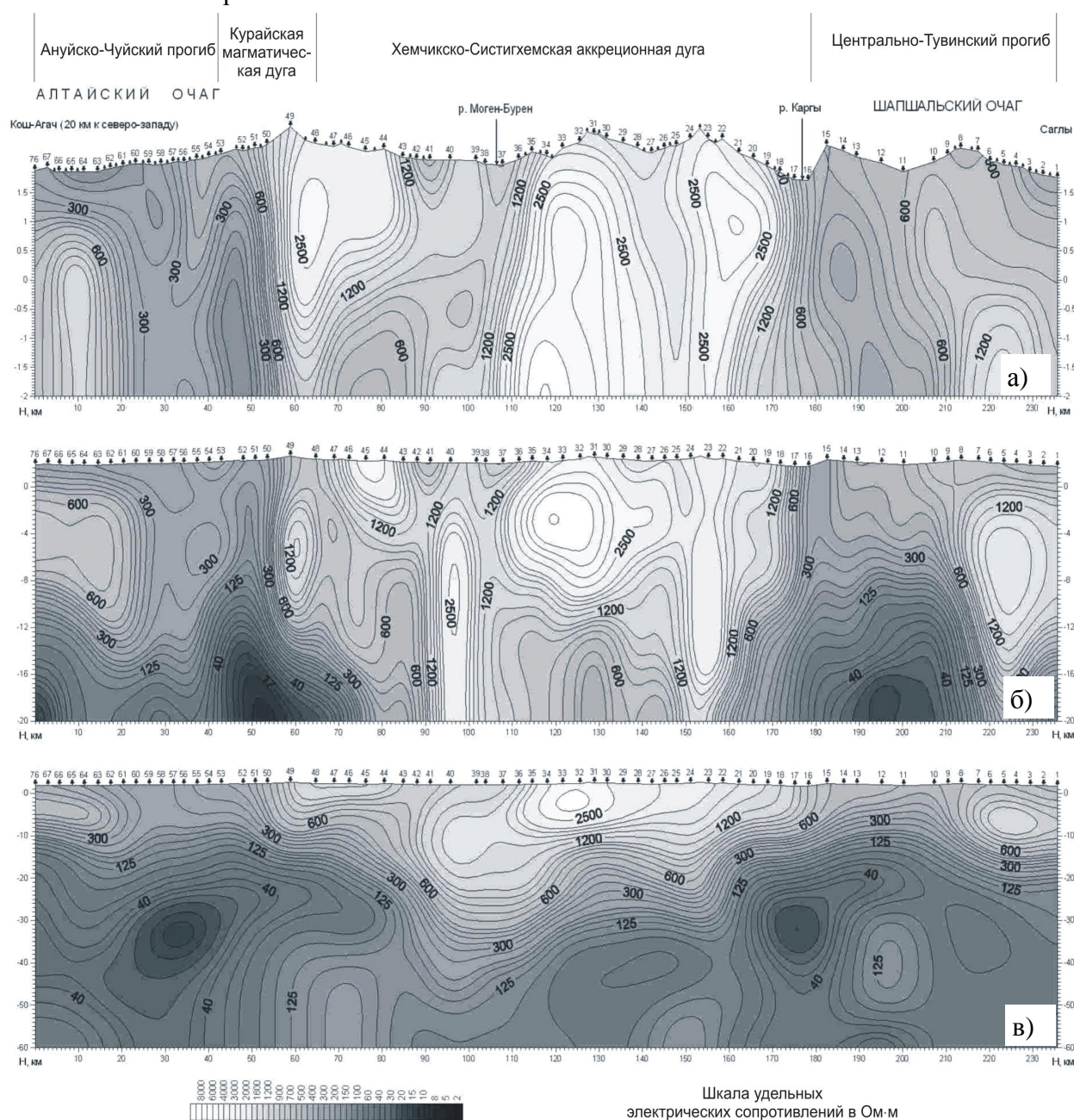


Рис. 1. Геоэлектрические разрезы по профилю Кош-Агач-Саглы до глубин 2 км (а), 20 км (б), 60 км (в)

На разрезах до глубины 60 км оценивается мощность высокоомных консолидированных образований, выделяемых на верхних уровнях геоэлектрических разрезов. Подошвой высокоомных объектов служит кровля так называемого «корового проводящего слоя», являющегося планетарной особенностью и выделяемого практически повсеместно за исключением областей с высокой проводимостью верхней части разреза, экранирующей все нижежащие объекты.

Проводимость верхней части разреза на данном профиле, в целом, достаточно невелика, особенно в областях развития высокоомных образований, что позволяет повсеместно оценить параметры «корового проводящего слоя», который уверенно прослеживается на протяжении всего профиля Кош-Агач-Саглы. Высокоомные глыбы, как бы «плавающие» на «коровом проводящем слое», имеют мощность, в среднем от 10 - 20 до 30 - 40 км.

На профиле Кош-Агач-Саглы выявлены две высококонтрастные аномалии с резким понижением удельных электрических сопротивлений до первых десятков и единиц Ом·м.

Одна из аномалий приурочена к зоне Алтайского очага землетрясений (точки с 46 по 67). Здесь находится приподнятая зона проводимости, наблюдается понижение удельного сопротивления до значения 12 Ом·м.

Вторая аномалия приурочена к зоне Шапшальского очага землетрясения. Профиль Кош-Агач-Саглы проходит непосредственно над ним (точки с 1 по 10). Здесь зона проводимости приподнята до 10 км и удельное сопротивление понижается до значения 20 Ом·м.

Между двумя данными аномалиями находится горный массив, который на данном разрезе отображается в виде высокоомной части (удельное сопротивление достигает 5000 Ом·м), уходящая корнями до глубины 40 км.

При наложении профиля на геологическую карту были сделаны следующие выводы: от точки 76 по точку 53 профиль проходит по территории Ануйско-Чуйского прогиба, геоэлектрический разрез характеризуется довольно низким удельным сопротивлением приповерхностной области (200-400 Ом·м). С 52 по 43 точку – позднедевонская гранитная интрузия, характеризуемая высоким удельным сопротивлением (2000 Ом·м) и небольшой глубиной корней (около 4000 м). В районе точек 39 - 36 проходит зона Курайского глубинного разлома, она протягивается в юго-восточном направлении и погружается под структуры девонского наложенного прогиба. Представляет собой сложную систему разломов. В региональном магнитном поле данный разлом выражен резкой градиентной зоной с развитием слабодифференцированных слабоинтенсивных аномалий.

Новейшие деформации очень хорошо выражены у подножья Курайского хребта на счленении его с Курайской и Чуйской впадинами, вдоль зоны длительно живущего разлома. Здесь выделен активный в настоящее время сейсмический Алтайский очаг с $M = 7.3$.

С 36 по 18 точку располагается Хемчикская структурно-формационная зона (в том числе с 35 по 29 - силурийская гранодиоритовая интрузия), характеризуемая объектом высокого удельного сопротивления (до 4000 Ом·м). С 18 по 15 точку проходит зона Шапшальского глубинного разлома, характеризуема вертикально расположенными изолиниями удельного сопротивления. Участок с 15 по 1 точку относится к зоне Тувинской впадины, удельное сопротивление около 400 Ом·м (невысокое сопротивление характерное для любого прогиба).

Литература

1. Геолого-геофизическое изучение восточной части Алтае-Саянской сейсмической зоны с целью оценки сейсмотопасности особо опасных объектов (ГЭС, ГХК, промышленные агломерации). Сейсмологические исследования в районе Дивногорска-Красноярска для уточнения карты сейсмического районирования / В.В. Ружич, А.Г. Кореневский и др. Красноярск: КНИИГиМС, 2001. 413 с. (Отчет о НИР).
2. Якубовский Ю.В., Ляхов Л.Л. Электроразведка. М.: Недра, 1973, с. 196 - 230.
3. Линд Э.Н. Региональные сейсморазведочные и электроразведочные работы для изучения

глубинного строения земной коры Алтае-Саянской геосинклинальной области по маршруту МТЗ «Тээли-Ак-Дуруг-Саяно-Шушенская ГЭС», МОВЗ «Танзыбей-Кызыл-Эрзин». Отчет. Красноярск: КНИИГиМС, 2004. Кн. 1. 109 с.

4. *Ваньян Л.Л.* Электромагнитные зондирования / Отв. ред. А.М. Порай - Кошиц. РАН. Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова. М.: Науч. мир, 1997, с. 208 - 216.

ЯВЛЕНИЕ ИНВЕРСИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СВОЙСТВ С \leftrightarrow Mg, КАК ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОСНОВА ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГЕОМЕТРИИ ЗАЛЕГАНИЯ РУД НА САТКИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ МАГНЕЗИТОВ

А.В. Тимохин, Ю.В. Лантев, Р.С. Титов -
Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург

Для горно-геологических подразделений ООО «Комбинат Магнезит» чрезвычайно актуально решение проблемы по обеспечению динамичного прироста запасов различной степени подготовленности и проведение разномасштабных геолого-разведочных работ (ГРП). Поиск альтернативы традиционному комплексу ГРП (бурению и опробованию керна) велся в области применения электрометрии (глубинной и латеральной электроразведки по методу сопротивлений). Первые модельные признаки имеющего место контраста сопротивлений между доломитом (MgO - 17.7÷21.9 %) и магнезитом (содержание магнезии MgO-45÷47.7 %) были получены с помощью анализа и петрофизического моделирования свойств катионов (элементов Ca, Mg). Установлено (вопреки определенной части петрофизических закономерностей) инверсионное явление усиления металлических свойств от кальция к магнию.

ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Электропроводность I-го рода, как характеристика чистых элементов, а в минералах, рудах и породах характеристика твердой фазы минеральных скелетов, зависит от свойств электронных оболочек элементов (катионов). Например, сопротивление (ρ , Ом·м) элементов [1] изменяется от $\sim 2 \times 10^{-9}$ (Ag) до $\sim 10^{-6}$ (Mn). Носителями тока являются валентные, более подвижные электроны, так как электроны внутренних оболочек прочно связаны с ядром. В соответствии с этим, при равенстве строения электронных спектров от Mg к Ca с синхронным увеличением суммарного заряда протонов ядра должно наблюдаться усиление металлических свойств.

Действуют два механизма с участием энергетических зон: ближней к ядру зоны проводимости и удаленной зоны валентности. При этом сопротивление, во-первых, обратно пропорционально степени заполнения электронами зоны проводимости (металлический механизм проводимости); во-вторых, обратно пропорционально относительному размеру потенциальной для заполнения области в зоне валентности, равно степени ее «незаполненности» (полупроводниковый, «дырочный» p-механизм, проводимости).

Кроме чистых элементов класс проводников I-го рода представлен рядом природных химических соединений, то есть минералов. Действие связующих кулоновских сил (имеющий место отток электронов от катиона к аниону (так называемая «локализация») и их обездвиживание («связывание») в валентной зоне) не препятствует сохраняемой (хоть и значительно уменьшенной) подвижности электронов и их качества носителя электричества.

Способность элементов (катионов) в минералах обеспечивать электронную природу иллюстрирует зависимость сопротивления (ρ , Ом·м) от нормального электронного потенциала E_0 , который является показателем активности элемента по отношению к водороду ($E_{0H} = 0$). Наиболее высокие значения E_0 имеют следующие элементы: золото, серебро,

ртуть, медь, свинец, соответственно: 1,5; 0,8; 0,75; 0,38; -0,13 вольт. Эти же элементы наиболее часто встречаются в самородном виде. Их первые окислы и сульфиды сохраняют металлическую форму связи (структуры), поэтому, чем больше E_0 катиона, тем ниже сопротивление минерального скелета.

Поскольку считается, что в механизмах электропроводности роль локализованных валентных электронов ничтожна, то минералы с иными формами связи (ионно-металлической и ионно-ковалентной, переходной к ковалентной форме) характеризуются различным действием электронной природы и характеризуются высокими сопротивлениями полупроводников и диэлектриков, которые сопоставимы с сопротивлением химических соединений для катионов с низкими значениями E_0 . Например, в равных условиях: валентности и состава аниона для кальция, магния и алюминия E_0 равно -2,9; -2,38; -1,68 вольта, соответственно [2]. Данным соотношением косвенно подтверждается инверсионное усиление металлических свойств от Ca к Mg, что впоследствии проверялось при параметрических вертикальных электро-зондированиях (ВЭЗ) в рудной зоне месторождений [3].

Поскольку равные гипсометрические условия (равенство степени влажности и минерализации подземных вод) обеспечивают идентичное действие на контактах руда-порода для ионной (II-го рода) природы электропроводности, изменчивость сопротивлений руда-порода возможно интерпретировать, как действие природы и механизмов проводимости I-го рода. Контрасты сопротивлений обусловлены рудными содержаниями глинозема (Al_2O_3) и магнезии (MgO), замещающими в карбонатных породах кальцит (CaO) (см. таблицу).

Таблица. Истинные сопротивления пород, руд и минералов (фракций)

Рудник	СУБР	ОАО «Комбинат Магнезит»		СУБР
Порода, руда	Известняк	Доломит	Магнезит	Боксит
Химическая формула	$CaCO_3$	$Ca, MgCO_3$	$Ca, MgCO_3$	Ca, Al_2O_3
Сопротивление породы, Ом·м	12000	4700 (3840)	1300 (984)	240 (200)

Рудник	ОАО «Комбинат Магнезит»	СУБР
Минерал (фракция)	Магнезия	Глинозем
Химическая формула	MgO $MgO = 100 \%$	Al_2O_3 $Al_2O_3 = 100 \%$
Сопротивление, Ом·м	$400 - 10^{2.6}$	$20 - 10^{1.3}$

Сопротивление породы, имеющей биминеральную структуру скелета, рассчитывается с использованием уравнения [4], моделирующего в заполнителе рудных включений с различными: формой (от эллипса до сферы) и отношением сопротивлений:

$$\rho_n = \frac{3\rho_{зан}ABC}{3ABC + 2(1 - w_{зан})\Delta\rho(AB + AC + BC)}, \quad (1)$$

где ρ_n - удельное электрическое сопротивление равномерной биминеральной смеси, $\rho_{зан}$ - сопротивление заполнителя, $w_{зан}$ - объемное содержание заполнителя; $\Delta\rho = \rho_{зан} - \rho_{вкл}$, где $\rho_{вкл}$ - электрическое сопротивление эллипсоидальных включений; $A = abcA(0)w_{зан}\Delta\rho + 2\rho_{вкл}$, $B = abcB(0)w_{зан}\Delta\rho + 2\rho_{вкл}$, $C = abcC(0)w_{зан}\Delta\rho + 2\rho_{вкл}$, где a, b, c - длины полуосей эллипсоида; $A(0), B(0), C(0)$ - функции эллиптических интегралов 1-го и 2-го рода и тригонометрических функций.

Для смеси сферических включений бесконечного сопротивления в заполнителе будет справедливо соотношение (2), как частный случай уравнения (1) [5]:

$$\rho_n = \rho_{зан} \frac{3 - w_{зан}}{2w_{зан}} \quad (2)$$

Эмпирический прогноз сопротивлений доломит-магнезит был в основном направлен на вычисление сопротивления фракции MgO. Имеющиеся параметрические данные по СУБРу (изменчивость сопротивлений за счет инверсии составов CaO-Al₂O₃) были интерполированы для определения нормальных электронных потенциалов (E_0) для кальция, магния, алюминия и инверсионным составам кальцит-магнезия-боксит. Далее, с использованием уравнения (1), был получен прогнозный показатель $\rho_{Дм} / \rho_{Мг} = 2 \div 5$. Параметрические измерения на массивах горных пород с известным залеганием контактов доломит-магнезит на Карагайском и Мельнично-Паленихинском карьерах и встречное моделирование позволили теоретически полученные данные уточнить. На основании полученного соотношения $\rho_{Дм} / \rho_{Мг} = 4 \div 4.7$ было составлено петрофизическое обоснование для полного карбонатного ряда Ca- Mg- Al. С учетом полученных результатов в 2006 году методами электротриемрии были выполнены работы по доразведке фланга Волчьегогорского карьера (Степной участок) ОАО «Комбинат Магнезит».

Литература

1. Дортман Н.Б. Петрофизика. М.: Недра, 1992. 280 с.
2. Устинов С.Н., Тимохин А.В. Моделирование электросопротивления горных пород при получении данных о геолого-тектоническом строении // Проблемы геотехнологии и недроведения (Мельниковские чтения): Тез. докл. Междунар. конф. В 4 т. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1998, с. 43 -50.
3. Электрическое зондирование геологической среды. М.: МГУ. Часть I, 1988. 175 с.; Часть II, 1992. 199 с.
4. Овчинников И.К. Теория поля. М.: Недра, 1978. 327 с.
5. Семенов А.С. Влияние структуры на сопротивление агрегатов // Геофизика, 1948. № 12, с. 43 - 61.

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ ГРУНТОВЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Р.В. Улитин, О.И. Федорова - Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

При длительной эксплуатации грунтовых инженерных объектов (плотин, дамб, насыпей автодорог и др.) на отдельных их участках происходит переувлажнение материала, что приводит к потере прочности сооружения. Для контроля состояния объектов предложено использовать геоэлектрические методы. Оптимальный вариант – применение дифференциальных установок (электропрофилирование, электротзондирование) и вертикального электротзондирования. Указанный комплекс позволяет установить размеры аномальных участков и оценить электрофизические характеристики насыпных грунтов. Предложенная геоэлектрическая методика опробована на двух протяженных грунтовых плотинах, а также на дамбах, ограждающих накопители промышленных отходов. Большинство выявленных аномалий проверялось заверенным бурением, подтвердившим геофизические данные.

Грунтовые инженерные сооружения (плотины, ограждающие дамбы, насыпи автодорог и др.) являются объектами, требующими контроля их технического состояния. Так, плотины находятся под постоянным гидравлическим напором. В процессе эксплуатации таких гидротехнических сооружений возможно просачивание воды из водохранилища, разжижение насыпного грунта и снижение его прочностных свойств с последующим разрушением инженерного объекта. Сквозь дамбы, ограждающие накопители промышленных

отходов, в случае наличия в теле дамбы участков со слабой гидроизоляционной стойкостью, токсичные промстоки просачиваются сквозь дамбу, попадают в геологическую среду, загрязняя подземные воды. При строительстве насыпных автодорог нередко возникают случаи, когда возводимая насыпь пересекает участки, в пределах которых подземные воды подходят к земной поверхности (напорные воды). В этих областях насыпной грунт в основании насыпи переувлажняется, выдавливается в стороны от сооружения, что вызывает разрушение насыпи и, естественно, автодороги.

Из перечисленных примеров следует необходимость контроля состояния грунтовых сооружений. Для этих целей перспективно применение геофизических методик. Так как в большинстве случаев к нарушению сплошности насыпного материала приводит его переувлажнение, то предпочтительнее при контроле состояния сооружений использовать геоэлектрические методы. Электропроводность горных пород обладает, по сравнению с другими петрофизическими характеристиками, уникальной чувствительностью к влажности среды, так как электрический ток через породы проходит благодаря наличию в их объеме порово-трещинного пространства, заполненного поровым флюидом. С учетом этого при разработке методики дефектоскопии грунтовых инженерных объектов исследовалась эффективность использования электроразведочных методов.

Элементы комплексной геоэлектрической методики обрабатывались на двух протяженных грунтовых плотинах, а также на нескольких дамбах. На первом этапе исследований опробовали методы комбинированного и дипольного электропрофилирования, естественного электрического поля и токов растекания. Наиболее четко области пониженного электросопротивления в инженерных сооружениях выявляются методами электропрофилирования. Но при этом определяется проекция центра аномального участка на поверхность сооружения, а контакты его с вмещающей средой установить сложно. Для преодоления этого затруднения предложено использовать дифференциальное электропрофилирование. Установка содержит два питающих и два приемных электрода. Первое питающее заземление устанавливается в пункте измерений, а второе - относится в практическую бесконечность. Приемные электроды размещают на одинаковом расстоянии (разносе) вдоль профиля наблюдений от первого питающего. При перемещении установки над однородной или горизонтально-слоистой средой регистрируемый сигнал близок к нулю. Теоретически изучено распределение электрического поля по профилю при электропрофилировании над средой, вмещающей геоэлектрические неоднородности (вертикальный пласт, погруженная сфера). Показано, что, например, вертикальный пласт независимо от его мощности выделяется экстремумами, расположенными по обе стороны от пласта на расстояниях равных разносу. Подобные зависимости установлены и для погруженной сферы. В дальнейшем рассмотренная концепция распространена на дифференциальные электроразведочные, т.е. на измерения с удалением приемных электродов на заданные расстояния от центрального питающего электрода.

На основании теоретических и экспериментальных исследований предложен оптимальный комплекс геоэлектрических методов дефектоскопии грунтовых инженерных сооружений. Для поисковых работ применяют дифференциальное электропрофилирование, позволяющее выявить наличие областей пониженного электросопротивления в изучаемом объекте. Затем применяют дифференциальное и вертикальное электроразведочное, что дает возможность уточнить контакты аномальной области с вмещающей средой и оценить ее электрофизические характеристики.

Предложенная геоэлектрическая система является эффективным средством дефектоскопии грунтовых инженерных сооружений.

ЗОНДИРОВАНИЕ МЕТОДОМ ПОГРУЖЕННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

О.И. Федорова, Р.В. Улитин, В.П. Бакаев - Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

В скважинной геофизике для изучения околоствольного и межскважинного пространства применяется метод погруженных электродов. Сущность метода в одноэлектродном варианте заключается в создании электрического поля от одного питающего электрода, помещенного в скважину, второй электрод относится в «бесконечность». На дневной поверхности по системе профилей измеряется градиент потенциала. Чем ближе питающий электрод к геоэлектрической неоднородности, тем сильнее от нее вторичное поле и больше соотношение между полезным сигналом и сигналом-помехой от наносов и близповерхностных неоднородностей.

Для повышения эффективности исследований предлагается помещать в скважину питающий электрод на разные глубины ($H_1, H_2 \dots H_n$) и на поверхности земли измерять падение напряжения между приемными электродами для каждого положения питающего электрода, затем по полученным данным находить значения кажущегося электрического сопротивления $\rho_k(H_1) \dots \rho_k(H_n)$ по известному выражению $\rho_k = \kappa \cdot |\Delta U_{MN}| / I$, где κ – геометрический коэффициент установки; $|\Delta U_{MN}|$ – абсолютное значение напряжения между приемными заземлениями; I – ток, стекающий с питающих заземлений.

В результате исследований полученное распределение кажущегося электросопротивления на площади наблюдений и в разрезах позволит судить о наличии и положении геоэлектрических неоднородностей.

Экспериментальные исследования провели на медно-колчеданном месторождении Среднего Урала – Чусовском, которое расположено в пределах Чусовско-Поварнинской сланцевой зоны. Рудная залежь имеет пластообразную структуру с небольшой мощностью, субмеридиональным простираем и субвертикальным падением [1].

Питающий электрод погружали в скважину 82, расположенную юго-восточнее скважины 64 и не пересекающую рудную залежь. Измерения проводили при четырех положениях электрода (H_1-H_4 : 50; 100; 150; 200 м). По вычисленным значениям ρ_k построены разрезы кажущихся сопротивлений по профилям наблюдений и планы ρ_k при разных положениях точки заряда.

На рис. 1 приведен разрез кажущихся электросопротивлений по профилю 3. По вертикали отложена глубина заземления питающего электрода. От 11 пикета на запад и в глубь разреза прослеживается электропроводная зона, соответствующая хорошо проводящему участку сланцев. Выявленная электропроводная зона начинает распадаться в районе скважины 64 на две узкие зоны. Левая зона приурочена к хлорит-серицит-кварцевым сланцам, в которой находится рудная залежь, правая – к сланцам с повышенной анизотропией.

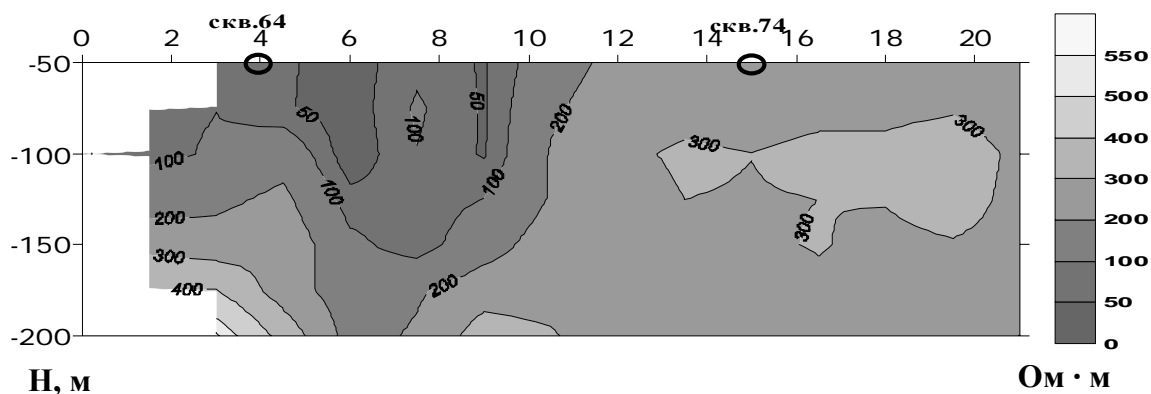


Рис. 1. Разрез кажущихся сопротивлений по профилю 3 на Чусовском месторождении. По горизонтали отложены номера пикетов

Предложенная методика позволяет получить 3D- геоэлектрические модели среды и может применяться для решения геологических и инженерно-геологических задач.

Литература

1. Семенов М.В., Сапожников В.М., Авдеевич М.М., Голиков Ю.В. Электроразведка рудных полей методом заряда. Л.: Недра, 1984. 213 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ШАХТЕ ЕСТЮНИНСКАЯ

О.А. Хачай¹, Е.Н. Новгородова¹, О.Ю. Хачай², А.В. Кононов¹, В.Г. Наседкин¹ -

¹Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

²Уральский Государственный Университет, Екатеринбург

В Институте геофизики УрО РАН разработан аппаратурно-методический и интерпретационный комплекс для изучения строения и состояния сложнопостроенной геологической среды, обладающей потенциальной неустойчивостью и способностью к перестраиванию иерархичности структуры при значительном внешнем воздействии. В основу этого комплекса положена оригинальная 3- D попланшетная методика электромагнитных индукционных исследований в частотно-геометрическом варианте, опирающаяся, с одной стороны, на программно реализованную систему интерпретации 3-D переменных электромагнитных полей (Хачай, 1994; Хачай, Новгородова, 1999; Хачай и др., 2001; Хачай и др. 2003), а с другой стороны - на разработанный д.т.н. А.И. Человечковым аппаратурный ряд для проведения индукционных исследований.

При этом задача сводится:

- к поиску и идентификации зон дезинтеграции включений в слоисто-блоковом изотропном по физическим свойствам массиве,
- к слежению за их миграцией под влиянием изменения техногенных напряжений,
- к оценке состояния массива по типу включений: контакт на границах пород различного состава, либо трещиноватая среда с различной степенью влагонасыщенности,
- к фиксации изменения состояния горного массива во времени.

Полученные результаты электромагнитного индукционного мониторинга позволяют сделать выводы:

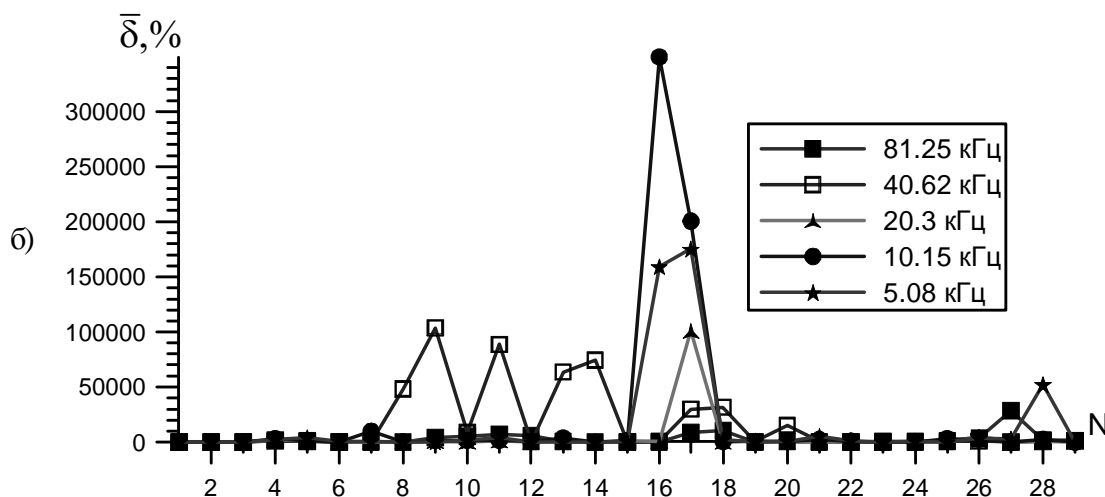
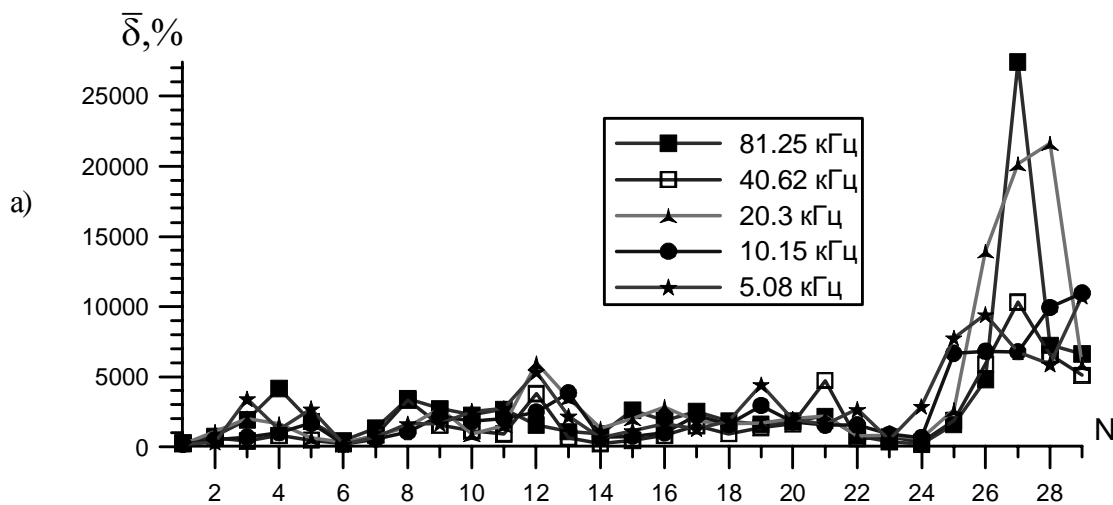
- массив горных пород представляет многогранговую иерархическую структуру, изучение динамики состояния и его структуры можно вести лишь с помощью геофизических методов, настроенных на такую модель среды;
- использование попланшетной многоуровневой индукционной электромагнитной методики с контролируемым источником и соответствующей методики обработки и интерпретации позволило проследить два иерархических уровня и выявить зоны дезинтеграции, являющиеся индикатором устойчивости массива.

По данным электромагнитного индукционного мониторинга в рамках разработанной системы мониторинга на двух удароопасных шахтах различного вещественного состава (СУБР и Естюнинская) устойчиво выявлены по морфологии концентрации зон дезинтеграции, предвестниковые признаки динамических явлений значительной интенсивности.

Полученные результаты имеют фундаментальное и прикладное значение. Впервые найден параметр косвенного геофизического мониторинга, позволяющий описывать эволюцию массива с позиции открытой динамической системы. Прикладное значение полученных результатов состоит в том, что настоящую систему мониторинга следует включить в программу работ в период крупных массовых взрывов и во время остановки шахты для

анализа переходного процесса перераспределения напряжений во время отсутствия техногенного воздействия.

Нами были совместно с электромагнитными исследованиями проведены петрофизические и геологические исследования образцов, отобранных на тех же пикетах. Этот подход был использован для анализа состояния массива полевых штреков горизонта -240 и -60. Массив полевого штрека горизонта -60 сложен в основном диоритами и монцодиоритами. Он обладает с малой частотной дисперсией упорядоченным расположением зон дезинтеграции с большими значениями Sp_{int} вблизи контура выработки (в почве). Наличие массового взрыва приводит к их перераспределению между первым и вторым интервалами. Абсолютное значение этого параметра мало и близко к соответствующему параметру для профиля висячего бока горизонта -240 (июньские наблюдения). При этом массив висячего бока горизонта - 240 сложен диабазами, порфиритами, туфами, пироксен - плагиоклазами и магнетитом. Распределение Sp_{int} для полевого штрека лежачего бока горизонта -240 отличается по морфологии от Sp_{int} для горизонта -60. Воздействие массового взрыва приводит к смещению по глубине максимумов распределения Sp_{int} . При этом имеет место частотная дисперсия изменения этой морфологии. Массив представлен типами пород, представленными на рис. 1б. Профиль пересекает контакт диорит-диабаз, имеются вкрапления сиенитов и туфов. В невозмущенном состоянии массива максимум среднего параметра геоэлектрической неоднородности приходится на зону ослабленную зону контакта (рис. 1а). Однако наиболее выраженная реакция массива на техногенное воздействие проявляется в центре профиля, обусловленная не геологическим типом пород, не плотностью и влагоемкостью, а по всей вероятности перестройкой массива, которая отражается в переменных магнитных полях (рис. 1в).



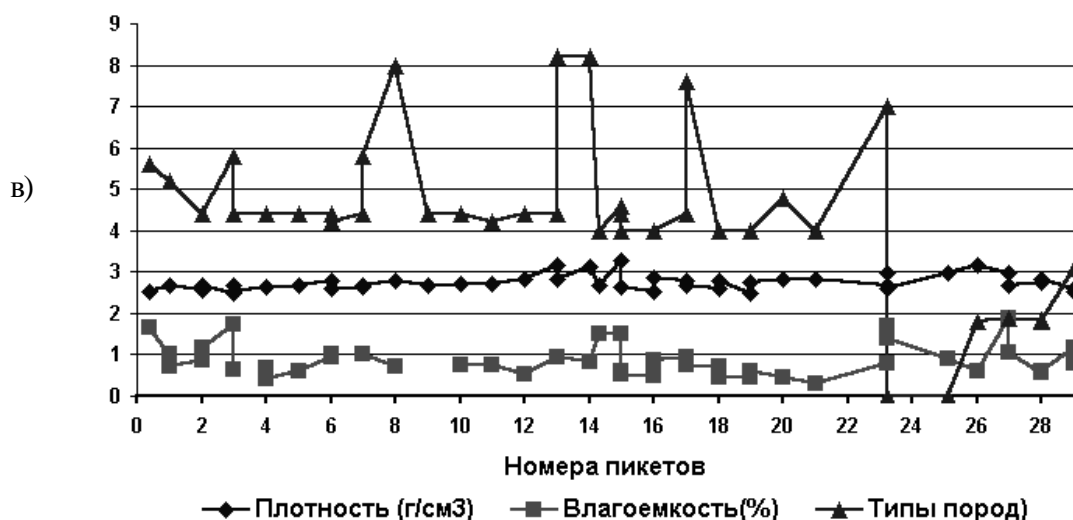


Рис. 1. Полевой штрек. Естюнинская шахта, горизонт – 240. Распределение среднего параметра геоэлектрической неоднородности для двух циклов наблюдения на пяти частотах и результаты петрофизических исследований и описание типов пород по полевому штреху: а) июнь 2005г., б) ноябрь 2005г., в) типы пород (ось ординат): 4 - 6 - диориты, 7 - 9 - монцодиориты, 0 - контакт диорит-диабаз, 2 - плагиоклазиты, 3 - сиениты

Работа выполнена по проекту «Система прогнозного мониторинга динамических явлений в удароопасных шахтах (теория, комплексная геофизическая и геомеханическая методика, натурные исследования)», координатор программы академик РАН К.Н. Трубецкой, по Интеграционным проектам с СО РАН и ДВО РАН и грантам РФФИ 07-05-00149.

Литература

- Трехмерный электромагнитный мониторинг состояния массива горных пород / О.А. Хачай, Н.П. Влох, Е.Н. Новгородова и др. // Физика Земли, 2001. № 2, с. 85 - 92.
- Хачай О.А. Математическое моделирование и интерпретация переменных электромагнитных полей в неоднородной коре и мантии Земли: Дис. ... д.ф.-м. н. Екатеринбург, 1994. 315 с.
- Хачай О.В., Новгородова Е.Н. Использование трехмерной методики электромагнитных исследований строения горных массивов // Физика Земли, 1999. № 6, с. 61 - 65.
- Хачай О.В., Новгородова Е.Н., Хачай А.Ю. Исследование разрешающей способности попланшетной электромагнитной методики для активного картирования и мониторинга неоднородных геоэлектрических сред // Физика Земли, 2003. № 1, с. 30 - 41.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВЗАИМОСВЯЗИ КОРЕННОГО ИСТОЧНИКА И РОССЫПИ АЛМАЗОВ

О.А. Хачай, О.Ю. Хачай, А.В. Кононов -

Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

В Красновишерском районе эксплуатируются два типа алмазных месторождений. Четвертичные аллювиальные россыпи, расположенные в руслах рек Большой Щугор, Большой и Северный Колчим, и древние погребенные россыпи, расположенные на повышенных участках рельефа, которые раньше рассматривались как месторождения, залегающие в эрозионных депрессиях. После отработки россыпных месторождений: Ишковский карьер, Северная Рассольная, Южная Рассольная, Волынка и проведения детальных геофизи-

ческих работ на самих объектах и вблизи них с использованием попланшетной электромагнитной 3Dметодики, геологические позиции месторождений этого типа стали более определенными.

Полученные сведения из геологии формирования уральских алмазонасных россыпей [1] показывают, что важнейшее требование к аппаратурно-методическому геофизическому комплексу и методике интерпретации геофизических данных для изучения строения россыпи и источников их питания - принципиально новая разрешающая способность методов в условиях отсутствия априорной информации об исследуемом участке. Это достигнуто в рамках разработанной в Институте геофизики УрО РАН попланшетной методики электромагнитных индукционных исследований в частотно-геометрическом варианте, которая используется для картирования и мониторинга сложно построенных геологических сред в наземном и подземном (шахтном) варианте [2 - 8] (разработчик аппаратуры МЧЗ-12 - д.т.н. А.И. Человечков). Адаптация этой методики к подземным исследованиям в шахтных выра-

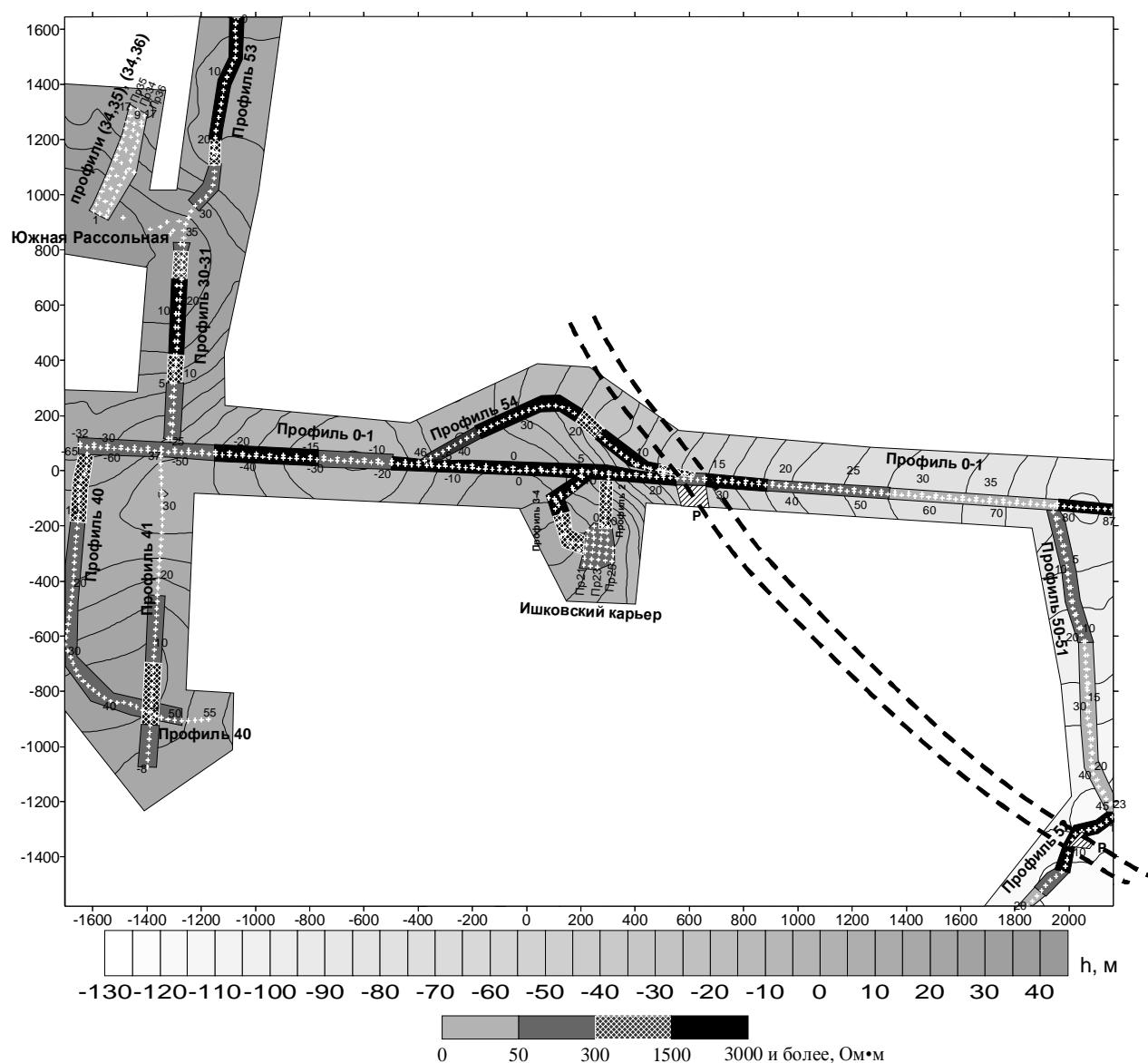


Рис. 1. Схема геолого-геофизических особенностей строения и топографический план участка алмазонасных обрабатываемых россыпей: цифрами на профилях обозначены номера пикетов, точками обозначены точки наблюдения через 25 м. Буквой Р обозначено положение разлома, картированного геофизическими наблюдениями и подтвержденного геологическими данными при его пересечении профиля 0 - 1 и профиля 52

ботках для определения структуры массивов горных пород, состояния и их динамики при техногенном воздействии позволила провести объемные геофизические исследования в геологической среде и выявить основные структурные факторы и критерии состояния геологической среды.

Полученные результаты с использованием этой технологии позволили установить важный морфологический фактор: алмазоносные площади в виде россыпных месторождений тяготеют к высокоомным структурам, которые либо сами являются питающими источниками, либо являются структурами, заграждающими распространение и дальнейшее перемещение алмазов. Эти структуры картируются до глубин 70 - 100 м и глубже (рис. 1).

Применение методов, используемых обычно для глубинных исследований, не позволяет выделить их с достаточной разрешающей способностью. Получается довольно однородный по сопротивлению разрез, который является следствием интеграции высоко и низкоомных структур.

В дополнение нами были проведены параметрические электромагнитные исследования в рамках той же технологии в кимберлитовых шахтах «Интернациональный» и «Айхал». Полученные геоэлектрические разрезы в кимберлитовых толщах являются высокоомными с сопротивлением, сопоставимым с сопротивлением высокоомных структур, контролируемых обрабатываемые россыпи. Кроме того, примененная технология позволила выявить новые депрессии, тем самым расширить область возможной добычи алмазов. Одна из них подтверждена детальной геологической скважинной заверкой. Расположена она на площади россыпи Северная Рассольная [3].

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 04-05-64136.

Литература

1. Геолого-геофизическое строение Уральских палеозойских алмазных россыпей и поиск их связи с питающими источниками / В.Н. Анфилов, О.А. Хачай, Г.Г. Кораблев и др. // Известия вузов. Геология и разведка. 2005, № 6, с. 20 - 30.
2. Хачай О.А., Новгородова Е.Н. Опыт площадных индукционных исследований резконеоднородных геоэлектрических сред // Физика Земли, 1997. № 5, с. 60 - 64.
3. Хачай О.А., Новгородова Е.Н., Бодин В.В. О проблемах малоглубинной геоэлектрики и некоторых результатах их решения // Физика Земли, 1999. № 5, с. 47 - 53.
4. Хачай О.А., Дружинин В.С. Комплексирование трехмерных методов сейсмических и электромагнитных исследований для решения задач мониторинга // Разведка и охрана недр, 2000. № 2, с. 22 - 24.
5. Хачай О.А., Новгородова Е.Н., Хачай А.Ю. Картирование трехмерных проводящих зон с использованием площадных систем наблюдения в рамках 3- D частотно-геометрической методики // Геология и геофизика, 2000. Т. 41, с. 1331 - 1340.
6. Комплексный геолого-геофизический подход к изучению процесса россыпеобразования на флангах Лобвинского месторождения платины / О.А. Хачай, В.П. Молошаг, О.Ю. Хачай и др. // Геофизический журнал НАН Украины, 2005. Т. 27. № 4, с. 53 - 62.
7. Hachay O.A. The three - stage concept of common interpretation for 3-d electromagnetic and seismic fields and some results of it's practical realization // Engineering and environmental geophysics for the 21-st century. 1997. China, Chengdu. P. 286 - 292.
8. Hachay O.A., Bodin V.V., Novgorodova E.N., Hachay A. Yu. A new complex near - surface electromagnetic and seismic technique for 3 - d research of inhomogeneous and unstationary medium // Engineering and environmental geophysics for the 21-st century. 1997. China, Chengdu. P. 181 - 189.
9. Опыт геолого-геофизического изучения строения алмазоносной россыпи и поиска первичных источников алмазов / В.Н. Анфилов, О.А. Хачай, Г.Г. Кораблев и др. // Разведка и охрана недр, 2005. № 3, с. 27 - 32.

«КВАДРУПОЛЬНАЯ» УСТАНОВКА ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ИНДУКЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Б.М. Чистосердов - Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

При проведении индукционных электроразведочных работ нередко возникают ситуации, когда чувствительности традиционных методов оказывается недостаточно. Для повышения чувствительности измерений применяют установку [1], которая позволяет фокусировать первичное магнитное поле на заданной глубине. Это позволяет уменьшить вклад верхних слоев разреза в измеряемый сигнал, в результате чего относительно возрастает доля сигнала, генерируемая исследуемым объектом. Однако, если исследуемый объект перекрыт достаточно мощным низкоомным слоем, обнаружение такого объекта представляет известные трудности.

В работе рассматривается установка (рис. 1), позволяющая с помощью частотного зондирования обнаруживать проводящие слои в разрезе, где исследуемый горизонт перекрыт низкоомным слоем.

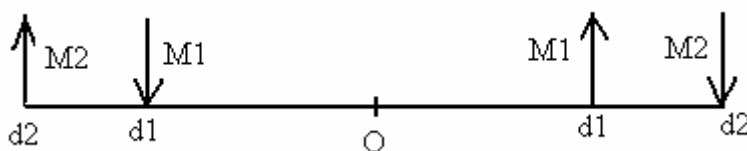


Рис. 1. Схема «квадрупольной» установки

Предлагаемая установка состоит из двух магнитных «квадруполей», имеющих общий центр в точке «О», где находится датчик измерительного прибора. Термин «квадруполь» в данном случае является условным, так как в электродинамике квадруполем называют два равных по величине и противоположно направленных магнитных момента, расстояние между которыми бесконечно мало. Магнитные моменты располагаются на одной линии симметрично относительно центра установки на расстояниях d_1 и d_2 , как показано на рис. 1. В дальнейшем эта установка будет именоваться как «квадрупольная» установка (КУ).

Основным достоинством КУ является возможность компенсировать в точке измерения магнитное поле, возбуждаемое верхними слоями. Наиболее наглядно процедуру компенсации можно проиллюстрировать на низких частотах. Рассмотрим низкочастотное приближение для горизонтальной компоненты магнитного поля, измеряемого в центре установки, тогда при соблюдении условия $M_1/d_1 = M_2/d_2$ для трехслойного разреза можно написать:

$$B_r = -\frac{i\omega\mu^2 M_1}{8\pi d_1} \left\{ \sigma_1 \left(\frac{2h_0}{((2h_0)^2 + d_1^2)^{0.5}} - \frac{2h_0}{((2h_0)^2 + d_2^2)^{0.5}} \right) + \right. \\ (\sigma_2 - \sigma_1) \left(\frac{2h_1}{((2h_1)^2 + d_1^2)^{0.5}} - \frac{2h_1}{((2h_1)^2 + d_2^2)^{0.5}} \right) + \\ \left. (\sigma_3 - \sigma_2) \left(\frac{2h_{12}}{((2h_{12})^2 + d_1^2)^{0.5}} - \frac{2h_{12}}{((2h_{12})^2 + d_2^2)^{0.5}} \right) \right\}.$$

где h_0 - вертикальная координата источника и точки измерения, h_1 и h_2 - мощности первого и второго слоя, $h_{12} = h_1 + h_2$.

На практике отношение $2h_0/d_1 < 0.01$, в результате чего влияние верхнего слоя разреза на результаты измерений оказывается ослабленным более чем в сто раз. Если необходимо уменьшить влияние второго слоя на измеряемую величину B_r , то для этого достаточно

увеличить d_1 настолько, чтобы выполнялось соотношение $2h_{12}/d_1 \ll 1$. Таким образом, рассматриваемую индукционную установку можно эффективно использовать в ситуациях, когда верхние слои разреза обладают пониженным сопротивлением. В этом случае уменьшение в измеряемом сигнале вторичного магнитного поля, генерируемого в верхних слоях разреза, приводит к относительному увеличению доли сигнала, генерируемого изучаемым объектом, т.е. чувствительность КУ оказывается выше по сравнению с установками, в которых отсутствует ослабление экранирующего влияния верхнего слоя.

В качестве примера на рис. 2 приведены частотные зависимости кажущегося сопротивления, определенные по реальной составляющей измеряемого магнитного поля.

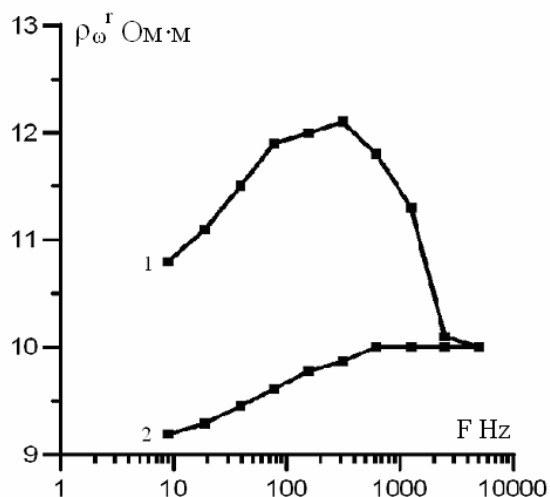


Рис. 2. Частотная зависимость кажущегося сопротивления для типичного разреза востока Курганской области

Кривая 1 получена при $d_1 = 40$ м для разреза $\rho_1 = 10$ Ом·м, $\rho_2 = 30$ Ом·м, $\rho_3 = 8$ Ом·м, $h_1 = 40$ м, $h_2 = 50$ м, а кривая 2 соответствует разрезу, в котором $\rho_2 = \rho_1$.

Литература

1. Чистосердов Б. М., Человечков А. И., Байдилов С. В. Способ индукционного вертикального зондирования. Патент № 2230341. 2004.
