

На правах рукописи

ТАТАРКИН
Алексей Викторович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ПРИ
РЕШЕНИИ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В УСЛОВИЯХ
СОЛЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

(на примере Верхнекамского месторождения калийных солей)

Специальность 25.00.16 - Горнопромышленная и нефтегазопромысловая
геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Пермь - 2004

Работа выполнена в Горном институте Уральского отделения Российской академии наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор В.Л.Колесников

Официальные оппоненты:

доктор технических наук М.С. Ладаев

кандидат геолого-минералогических наук, доцент В.Е.Петряев

Ведущая организация: ОАО "Уральская геологосъемочная экспедиция"
(г. Екатеринбург)

Защита состоится « 16 » июня 2004 в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 004.026.01 при Горном институте Уральского отделения Российской академии наук (614007, Пермь, ул. Сибирская 78-а).

Пермь, 614007, ул. Сибирская 78-а, Горный институт УрО РАН.
Факс: (3422) 16-75-02; e-mail: arc@mi-Perm.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного института УрО РАН.

Автореферат разослан «14» мая 2004

Ученый секретарь диссертационного совета



Б.А. Бачурин

Общая характеристика работы.

Геофизические методы исследований играют важную роль в современном горном производстве как на стадии поисков и разведки полезных ископаемых, так и на стадии эксплуатации месторождений, доразведки и обеспечения безопасности ведения горных работ. Особое внимание уделяется соляным месторождениям, которые в силу специфики физико-геологических условий требуют нестандартных подходов к методикам геофизических измерений и приемам истолкования получаемой информации. В связи с этим, повышение эффективности одного из основных геофизических методов - метода электрометрии применительно к условиям Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС), представляется актуальным и имеет большое практическое значение.

Перспективность применения электрометрии в условиях ВКМКС определяется в первую очередь тесной зависимостью электрических свойств пород от целого ряда факторов, связанных с изучением физических свойств и обеспечением безопасности ведения шахтных работ: трещиноватости, газо- и влаго-содержания соляных пород, их состава, структуры и текстуры, напряженно-деформированного состояния, а также высоким информационным потенциалом электрометрии, основанным на использовании различных по своей природе электромагнитных полей, разнообразием методов и методик их возбуждения и регистрации. Немаловажное значение играет и относительно высокая производительность в сочетании со сравнительно низкой стоимостью - проведения таких работ.

Вопросам применения электрометрии для решения горно-геологических задач уделяли внимание многие исследователи: ВЛСХмелевской (1964, 1984, 1994), В.А.Шевнин, И.Н.Модин, И.Д.Игнатова, Е.ВЛерваго (1995), В.С.Титлинов (1996), Р.Б.Журавлева (1992), Э.Х.Вишняков, О.В.Косарев, Е.И.Леонкин (1990), В.Ю.Задорожная (1992), Kessels (1985), Rach (1989), Yaramanci (2000), В.П.Колесников (1987, 1989, 1997-2004) и др.

Впервые наземные электроразведочные работы на территории ВКМКС были выполнены методом ВЭЗ в 1936 году А.М.Пылаевым. В дальнейшем изучением строения пород надсолевого комплекса с помощью методов ВЭЗ и СЭП занимались в различные года И.А.Комиссаров (1940, 1942), Г.П.Касаткин (1940), ШШовиков (1949), Ф.И.Жалыбин (1950), К.П.Иванов, АЛ.Зудин, Р.И.Гескин (1955), В.Д.Ловгородов (1965), И.М.Скумбин (1966), БЮ.Букин (1972), А.Г.Мелехов (1975), ВЛКолесников, В.А.Поносов, И.Н.Королев (1986), В.П.Беляев (1989), Т.В.Харитонов (1992). Кроме того, проводились опытно-методические работы по оценке эффективности методов 43 (В.С.Титлинов, Р.В.Журавлева, 1987), ЗСБ (МГ.Фролович, А.В.Кавин, В.ДЛСарпов, 1964; ВЛОЗадорожная, 1991).

Шахтные электроразведочные работы на рудниках ВКМКС начались в 1986 году с момента образования геофизического участка подземной геологоразведочной партии ПО «Уралкалий». Используемый набор методов включал метод срединных градиентов (СГ), и его модификацию - съемку установкой (АНВ)fixM (Э.Х.Вишняков и др., 1992), метод естественного поля (ЕП), которые сначала использовались в комплексе с ~~дипольным, осевым зондированием~~

БИБЛИОТЕКА

С.Петербург

09 300 4шт

443

(ДОЗ), а в последствии вытеснили его как более дешёвые.

Применение методов электротометрии в условиях соляных шахт сопряжено с немалыми трудностями как в методическом плане, так и в плане истолкования полевых измерений, оказывающими влияние на эффективность использования традиционных наземных методов электроразведки. Слабая изученность физических свойств солей нередко приводят к противоречивым толкованиям результатов наблюдений и порождают массу вполне правомерных вопросов относительно информативности и достоверности получаемых материалов, касающихся природы выделяемых аномалий, определения глубинности исследований, влияния верхних и нижележащих толщ пород относительно штрека в формировании электрических полей, влияния локальных неоднородностей (луж конденсата, повышенной проводимости штыба, возможного наличия пленки конденсата на поверхности штрека), выработанного пространства, зависимости электрических свойств от времени проходки штрека и др.

Ответы на многие из этих вопросов, в силу специфики объекта исследований, весьма затруднительны и часто практически невозможны без выяснения природы и особенностей проводимости солей в условиях естественного их залегания, количественных оценок электрических свойств, слагающих разрез пород и изучения особенностей распространения электрического тока, накопления определенного параметрического материала, необходимого для повышения однозначности истолкования результатов электротометрии, что определило цели и задачи данной работы

Целью исследований являлась разработка теоретического и методического обеспечения электроразведочных работ в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей направленного на решение широкого спектра горно-геологических задач, повышение достоверности, информативности и геологической содержательности получаемых результатов.

Основные задачи работы:

1. Составить физико-геологическое обоснование к применению методов электротометрии на ВКМКС.

2. Выполнить численное моделирование электрических полей для обоснования методик наблюдений в условиях ВКМКС и оценки влияния искажающих факторов (горных выработок, луж конденсата, металлического оборудования, электромагнитных помех и т. д.) на результаты электроразведочных измерений.

3. Разработать способы определения количественных параметров основных пачек соляных пород при изучении поля во внутренних точках среды.

4. Разработать методики, основанные на использовании многоканальных и векторных наблюдений при выполнении работ в условиях ограниченного пространства при наличии помех.

5. Изучить возможности использования техногенных электромагнитных полей для получения оперативной информации о геоэлектрических особенностях геологической среды.

6. Разработать оптимальный комплекс наземных, подземных и наземно-подземных электроразведочных методов для изучения надсолевых и солевых

отложений.

Основные защищаемые положения:

1. Разработанные способы определения количественных параметров анизотропных геологических моделей пластового типа с использованием аналитических методов расчета электрического поля во внутренних точках среды, повышают информативность и достоверность результатов шахтной электрметрии.

2. Предложенные и обоснованные на основе математического моделирования и экспериментальных работ методики наземных, подземных и наземно-подземных электроразведочных наблюдений изучения физических свойств водозащитной толщи (ВЗТ) и околоштрекового пространства расширяют возможности и качество решаемых задач по обеспечению безопасной отработки Верхнекамского месторождения калийных солей.

3. Разработанные помехоустойчивые способы выявления аномалиеобразующих объектов в околоштрековом пространстве, основанные на применении многоканальных установок и методов численного моделирования повышают точность количественных оценок физических и геометрических параметров среды.

4. Спектральные векторные измерения электромагнитного поля неконтролируемых (техногенных) источников и приемы их интерпретации обеспечивают получение оперативной информации о физических свойствах геологической среды.

Научная новизна работы заключается в том, что в ней впервые в условиях соляных месторождений:

- на основе изучения физико-геологических особенностей разреза, натурального физического моделирования и разработанного способа расчета электрического поля во внутренних точках среды дано научное обоснование механизма электропроводности основных комплексов соляных пород и с помощью разработанной технологии определены количественные значения их электрических свойств, включая анизотропию;

- выполнено развитие векторного способа определения пространственного положения аномалиеобразующего тела для случая измерений в анизотропной вмещающей среде;

- предложена и реализована методика наземно-подземного просвечивания массива пород с целью прямой оценки состояния водозащитной толщи;

- разработан помехоустойчивый метод опережающей разведки проходки штрека в условиях горизонтальной неоднородности разреза, основанный на использовании многоканальных наблюдений и эмпирических соотношений, полученных с помощью численного моделирования для определения положения аномальных объектов впередиабойного пространства;

- показаны возможности использования спектров электромагнитных полей неконтролируемых (техногенных) источников для изучения свойств геоэлектрического разреза на разных эффективных глубинах и экспресс оценки состояния геологической среды;

- адаптированы к геоэлектрическим условиям ВКМКС программно-изме-

рительный комплекс импульсной электроразведки становлением поля в ближней зоне TEM-FAST и компьютерная технология интерпретации результатов электрического зондирования ЗОНД, позволившие получить новую геолого-геофизическую информацию о геологическом строении месторождения и наличии зон потенциально опасных для ведения горно-технических работ.

Практическая ценность и значимость результатов исследований:

Разработанный комплекс методов электрметрии внедрен в ОАО «Уралкалий» и включен во «Временную инструкцию по проведению наземных и подземных электроразведочных работ с целью обеспечения безопасной отработки Верхнекамского месторождения калийных солей». В результате применения комплекса впервые получены количественные характеристики и коэффициенты анизотропии основных пачек пород, выявлен ряд зон, представляющих опасность для ведения горнотехнических работ.

Публикация и апробация работы.

По теме диссертации опубликовано 18 работ. Основные результаты исследований и положения диссертационной работы докладывались с 1999 г. на конференциях и семинарах различного уровня: региональные научные конференции «Геология и полезные ископаемые Западного Урала» (Пермь, 2000, 2001), 1-я, 2-я, 3-я и 5-я Уральские молодежные научные школы по геофизике (Екатеринбург, 2000, 2002, 2004, Пермь, 2001); международных конференциях "Проблемы безопасности и совершенствования горных работ". (Пермь, 1999), «Проблемы комплексного освоения месторождений солей» (Соликамск, 2000); 1-ой Всероссийской школе-семинаре по электромагнитным зондированиям Земли (Москва, 2003), научных сессиях Горного института УрО РАН с 1999 по 2004 годы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения. Объем работы - 147 страниц текста, включая 33 рисунка, 2 таблицы и список использованной литературы из 129 наименований.

Исходные материалы и личный вклад автора. Диссертация отражает результаты исследований, проводившихся с 1999 года по госбюджетной и договорной тематике в Горном институте Уральского отделения РАН. Постановка и выполнение теоретических и экспериментальных исследований, изложенных в диссертации, проведены при непосредственном участии автора.

Автор выражает глубокую признательность и благодарность своему руководителю профессору В.П.Колесникову за профессиональную помощь при постановке задач, решении вопросов связанных с научной деятельностью и моральную поддержку, оказанную на всем протяжении написания работы.

Автор благодарен профессору Б.К.Матвееву и профессору В.М.Новоселицкому за дискуссии, обсуждение тематики работы и проявленное к ней внимание.

В процессе выполнения исследований автор ощущал поддержку и инициирование работ со стороны начальника геолого-маркшейдерского отдела ОАО «Уралкалий» НВ.Кузнецова, главного геолога СП УПБиГРР С.Ю.Квиткина. Весьма полезными были обсуждения производственных вопросов с главным геологом ОАО «Сильвинит» Ю.В.Мынкой. Активное творческое

участие при выполнении экспериментальных работ принимали сотрудники структурных геофизических подразделений ОАО "Уралкалий" и ОАО «Сильвинит» Е.М.Ефимов, С.А.Миронов, В.П.Матвеев, А.П.Сальников, В.Г.Шронин, Е.З.Шарифьянова и др. Всем указанным лицам автор выражает искреннюю благодарность.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Физико-геологическое обоснование применимости методов электрометрии в условиях соляных шахт

В первой главе рассмотрены возможности применения электрометрии в условиях соляных месторождений и даны методики определения количественных параметров соляных образований.

Соляные породы - уникальный и в геологическом, и электрическом отношении объект исследования. В чистом виде соль, как известно, является диэлектриком - изолятором для квазипостоянного электрического тока, но в то же время обеспечивает хорошую проникающую способность для высокочастотных электромагнитных волн. С другой стороны, например, при высоком содержании в ней поровой влаги, она ведет себя как хороший проводник и дает обратную картину для распространения в ней постоянных и переменных полей, то есть по характеру электропроводности ее можно рассматривать как своеобразную неустойчивую систему.

В условиях естественного залегания электрические свойства соляных пород определяются достаточно большим числом факторов: составом пород, наличием примесей, структурой и текстурой пород, степенью трещиноватости, флюидонасыщенности, содержания влаги, ее минерализацией, характером напряжения, определяющих широкий диапазон возможных значений проводимости и анизотропных свойств среды.

С целью обоснования применимости электрометрии в этих условиях проанализированы публикации многих исследователей (П.И.Преображенский, 1934; В.И.Копнин, 1995; А.А.Иванов, МЛВоронова, 1975; А.Е.Ходьков, 1989; В.И.Раевский, МЛ.Фивег, 1973; СЮ.Квиткин, 1991; Ю.ШЛорошкина, 1999). Современные представления о данном месторождении, обобщающие огромный геологический материал, накопленный за период его освоения, отражены в монографиях Н.М.Джиноридзе (2000) и А.К.Кудряшова (2001).

Соляные породы Верхнекамского месторождения представлены каменной солью (NaCl), сильвинитами (KCl) и карналлитовыми породами ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Анализ физико-геологических особенностей строения и состояния соляных пород данного месторождения, процессов флюидодинамики показал, что электропроводность солевых отложений обусловлена наличием низкоомных прослоев соленосных глин, межзерновых границ, макро- и микротрещин, образовавшихся в результате тектонических подвижек, гидроразрыва, выщелачивания, образования полостей отслоения, по которым происходит конвективный массоперенос вещества. При этом, как известно, незначительные

изменения влагосодержания, пористости и трещиноватости пород сопровождаются существенными изменениями их электросопротивления. Вместе с тем, полифазность, наличие тонкослоистости среды, может рассматриваться как фрактальная система, обладающая целым рядом аномальных электрических свойств.

В формировании электропроводности солевых пород определенную роль играют и процессы ионизации вещества, обусловленной наличием эманации радия (^{222}Rn – радон, ^{220}Rn – торон), проникающих с больших глубин по системе капилляров (так называемое "дыхание Земли"). Содержание их в подземных условиях примерно на три порядка выше, чем в слое атмосферы, вследствие чего проводимость почвенного воздуха более чем в 30 раз превышает проводимость атмосферного воздуха. Еще более высокий радиационный фон в данных условиях обеспечивает ^{40}K , имеющий повышенную концентрацию в соленой толще.

Все это предопределяет электрическую проводимость солевых отложений, наличие их микроанизотропных свойств и является физической предпосылкой для получения информации о строении и физических свойствах соляных пород по данным электрометрии.

С целью физического обоснования особенностей распространения электрического тока и оценки количественных параметров электрических сопротивлений соляных толщ были выполнены специальные экспериментальные наблюдения и анализ подземных параметрических зондирований (рисунок). Результаты анализа показали, что распространение тока соответствует теоретическим представлениям для объемной среды. Сопоставление теоретического и экспериментального распределения напряженности электрического поля вдоль штрека, не выявило заметного влияния предполагаемой пленочной проводимости, обусловленной наличием конденсата на стенках штрека. Соляные породы обладают существенной дифференциацией по электрическому сопротивлению основных пачек соляной толщи пород. Наиболее высокими сопротивлениями ($\rho=35000-45000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) обладают породы с преобладающим содержанием каменной соли, наименьшими ($\rho=1500-1700 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) – карналитовые породы. Удельное электрическое сопротивление сильвинитовой пачки ($\rho=14000-17000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) занимает промежуточное положение относительно отмеченных выше пород. Выделенные геоэлектрические горизонты и по мощности, и по сопротивлению достаточно уверенно отождествляются с геологическими пачками пород верхнего относительно штрека полупространства. Значения коэффициентов анизотропии составили: для сильвинита и каменной соли – 1,4, для карналита – 1,3, для толщи соляно-мергельных отложений – порядка 1,07.

Установлено, что на результаты подземной электрометрии решающее значение оказывают два благоприятных фактора, во первых, относительная однородность состава нижнего полупространства, представленного в основном подстилающей каменной солью большой мощности, что обеспечивает его влияние в виде фоновой составляющей поля, и, во-вторых, относительно высоким сопротивлением подстилающей каменной соли, во много раз

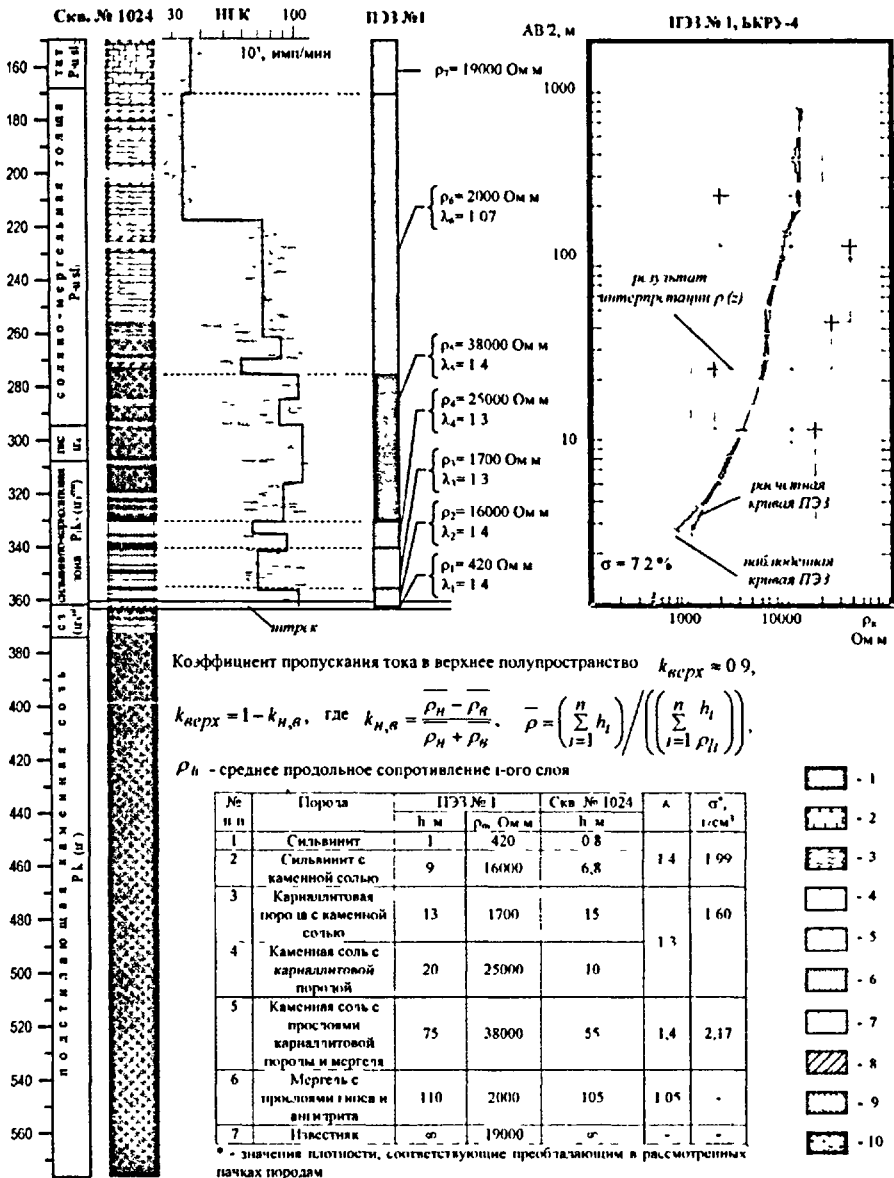


Рис. Результаты количественной интерпретации подземного параметрического зондирования (БКРУ-4, пласт ЛВ, 1 СВП, 2 восточный блок, панельный конвейерный штрек)

1 - глина; 2 - известняк; 3 - мергель; 4 - гипс; 5 - ангидрит; 6 - карналлитовая порода; 7 - сильвинит пестрый; 8 - сильвинит полосчатый; 9 - сильвинит красный; 10 - каменная соль.

превышающим среднее продольное сопротивление пород верхнего полупространства.

Оценочные расчеты, выполненные на основе результатов интерпретации по формулам, приведенным на рисунке, показывают, что коэффициент пропуска тока в верхнее полупространство в данном случае почти на порядок выше, чем в нижнее.

С целью получения более строгих количественных оценок электрических свойств солей с учетом нижнего полупространства разработан способ количественной интерпретации подземных электрических зондирований методом подбора. Реализация способа выполнена путем решения прямой задачи для слоистой модели с расположением источника поля во внутренней точке среды. Численная реализация метода выполнена Н.Н.Серебренниковой. Подобные способы решения приведены в работах А.Г. Яковлева, И.Н.Модина (1988), С.В.Волкова (1999), Н.К.Sato (2000). Отличительной особенностью использованного способа является возможность задания конечных значений сопротивления опорных горизонтов. Выполненные с помощью его расчёты, показали что, в рамках эквивалентности уточненные значения сопротивлений вполне сопоставимы с результатами количественной интерпретации для модели полупространства ограниченного высокоомными породами подстилающих каменных солей.

Глава 2. Разработка и развитие технологий подземной электрометрии

Вторая глава посвящена исследованию возможности различных методов электрометрии (гальванических, индуктивных), с целью выбора оптимального комплекса, отвечающего задачам и технологическим процессам ведения горных работ.

Для оценки возможности различных методов, изучения влияния на результаты измерений разного рода помех, выработанного пространства использованы программы математического моделирования электрических полей (3D-Pole, IE2DL) и специальные опытно-методические работы. Прямая задача в программе IE2DL (И.Н.Модин, Е.В.Перваго, В.А.Шевнин, Д.К.Большаков, 1996) решается на основе метода интегральных уравнений. Программа трехмерного моделирования 3D-Pole (В.П.Колесников, В.А.Кутин, 2001), реализована с использованием метода конечных разностей.

С помощью численного моделирования по программе 3D-Pole исследованы возможности многоканальных и векторных наблюдений, межштрекового электрического просвечивания, которые показали возможность определения положения аномалиеобразующих тел в пространстве, получать количественную информацию об электрических свойствах соляных толщ пород, вести опережающую разведку проходки штрека. Вместе с тем, с помощью моделирования изучено влияние приповерхностных неоднородностей и выявлены критерии для их обнаружения в электрических полях. В качестве одного из способов снижения погрешностей наблюдения за счет влияния неоднородностей, находящихся

вблизи приемной линии, предложен способ нормирования кривых, суть которого сводится к тому, что кривые зондирования по профилю приводятся к единому фоновому уровню, в качестве которого в данном случае использовано среднее геометрическое всех измеренных значений $\rho_k(r)$.

Нормированное значение кривых ВЭЗ находится по формуле:

$$\rho_{k_j}(r) = C_i \rho_k(r), \quad i = \overline{1, L}, \quad j = \overline{1, n},$$

где L – число точек зондирования; n – число разносов измерительной установки, C_i – нормировочные коэффициенты, определяемые путем минимизации следующего функционала:

$$\Phi(C_1, \dots, C_n) = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^n \left[\ln \left(\frac{C_i \rho_{ij}}{\sqrt[n_i]{\prod_{i,j} \rho_{ij}}} \right) \right]^2 = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^n \left[\ln C_i + \ln \rho_{ij} - \frac{1}{nL} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^n \ln \rho_{ij} \right]^2.$$

Применяя метод наименьших квадратов, получаем

$$\ln C_i = \overline{\ln C_i} = -\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \ln \rho_{ij} + \frac{1}{nL} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^n \ln \rho_{ij},$$

отсюда $C_i = e^{\overline{\ln C_i}}$

Выполненная с помощью математического моделирования оценка влияния горной выработки пересекаемой линией наблюдений показала, что влияние боковых выработок может меняться в зависимости от их положения относительно установки в пределах от 5 до 30 % при заданных параметрах модели среды.

Особенности применения геофизических методов в подземных условиях определяются технологией ведения горных работ. В большинстве случаев при используемых на рудниках ВКМКС способах подготовки шахтных полей (панельном, панельно-блоковом), конфигурации взаимного расположения штреков и их размеры могут быть сведены к следующим двум вариантам: 1) одиночный линейный штрек (обычно разведочный, либо подготовительный, стандартная длина штрека примерно 600 м); 2) система параллельных штреков, расположенных ортогонально относительно панельного штрека (длина панельного штрека до 3000 м, длины примыкающих к нему штреков примерно 600 м).

Для получения экспресс информации применительно к данным условиям опробованы гальванические (ВЭЗ, СЭЗ, ЭП, (АНВ)fixM) и индуктивные методы (БИЭП, ЛОРЭП, ЛОРЭЗ) зондирования, электропрофилирования, а так же их модификации. С помощью численного моделирования и результатов экспериментальных опытно-методических работ показано, что наиболее оптимальной является методика трехразносного встречного профилирования (зондирования), позволяющая получать предварительную информацию об электрических свойствах пород околоштрекового пространства, до глубин залегания водозащитной толщи на всем интервале длины штрека.

Для решения задач связанных с определением пространственного положения аномалиеобразующих объектов относительно линии наблюдения (штрека) исследован ряд методов векторных измерений электрического поля. С этой целью проанализированы 3 метода: метод трех составляющих, являющийся аналогом метода двух составляющих (А.Н.Боголюбов, 1972; А.А.Горбунов, 2001); метод, основанный на изучении эллипсов поляризации магнитного поля (В.С.Титлинов, Р.Б.Журавлева, 1987), метод, использующий поле вторичных источников, индуцируемых на поверхности локальных тел (В.А.Шевнин, И.Н.Модин, И.Д.Игнатова, 1995; В.П.Колесников, 2001).

Наиболее приемлемым для данных условий оказался метод вторичных источников поля, реализованный для аномалиеобразующих тел, находящихся в анизотропной среде. Основная идея способа состоит в том, что из наблюдаемого поля, представляющего сумму первичного (поля питающих электродов) и вторичного (обусловленного индуцированными зарядами) полей вычитается влияние первичного (фонового) поля.

Аномальный вектор кажущегося сопротивления определяется по формуле:

$$\vec{\rho}_A = \vec{\rho}_H - \vec{\rho}_1,$$

где $\vec{\rho}_H$ – полный вектор кажущегося сопротивления и вектор фонового значения кажущегося сопротивления.

Для анизотропной вмещающей среды минимизация функционала выполняется относительно трех величин C_x, C_y, C_z , характеризующих фоновые значения сопротивлений по трем осям координат:

$$\Phi(C) = \sum_{i=1}^N \frac{(\Delta u_{x_i} - C_x \Delta \varphi_{x_i})^2 + (\Delta u_{y_i} - C_y \Delta \varphi_{y_i})^2 + (\Delta u_{z_i} - C_z \Delta \varphi_{z_i})^2}{\Delta \varphi_{x_i}^2 + \Delta \varphi_{y_i}^2 + \Delta \varphi_{z_i}^2},$$

где N – число точек на профиле, $\vec{C}_i = \{C_x \Delta \varphi_{x_i}, C_y \Delta \varphi_{y_i}, C_z \Delta \varphi_{z_i}\}$, $\vec{C} = \{C_x, C_y, C_z\}$.

Экспериментальные работы, выполненные этим методом, показали возможность разграничения положения тела относительно вертикальной и горизонтальной плоскостей, проходящих через ось штрека.

В основу многоканальных наблюдений положено использование, так называемой, установки СЭЗ (А.А.Либерман, Б.П.Петрухин, 1981; И.Н.Модин, В.А.Шевнин, А.В.Урсова, 1994), показавшей свою эффективность при выполнении наземных работ. Применительно к условиям подземных работ расширены возможности данного метода. В частности, на его базе разработана методика ведения опережающей разведки проходки штрека в условиях повышенного уровня помех. Для оценки количественных характеристик геоэлектрического разреза при различных соотношениях послойного распределения свойств солей с помощью математического моделирования выделен ряд информативных параметров и эмпирических соотношений, использующих особенности поведения кривых зондирования и их трансформант. Выполненные опытно-методические работы по прогнозной оценке параметров зоны замещения, встреченной при проходке штрека в районе 4 ЮВП рудника БКПРУ-4 показали, что в результатах электроразведочных наблюдений находят отображение, как границы зоны замещения, так и ее электрические свойства, позволяющие идентифи-

цировать состав пород зоны замещения. Экспресс-интерпретация позволила выделить окончание первой зоны замещения и предсказать наличие второй зоны, вскрытой в дальнейшем при проходке штрека.

Для изучения анизотропных свойств среды в шахтных условиях реализованы методики, базирующиеся на измерениях с трехэлектродной линейной и с дипольной экваториальной (нелинейной) установками. Определены оптимальные параметры измерительных установок. С помощью данных методик показана возможность определения коэффициента анизотропии тонкослоистых соляных пород, изучения трещиноватости и структурных особенностей разреза.

Исследованы возможности межштрекового электрического просвечивания с элементами технологии томографии (квазитомографического отображения результатов), которая позволила выделить потенциально опасные участки по газовым явлениям на СКРУ-1.

С помощью экспериментальных работ проанализированы возможности использования метода ЗСБ в условиях шахт. Применение метода ЗСБ выявило существенное влияние на результаты измерений двух физических эффектов, связанных с частотной дисперсией свойств горных пород: суперпарамагнитного (SPM) эффекта и эффекта индукционно наведенной вызванной поляризации (IP), затрудняющих послойное расчленение разреза, но содержащих информацию о наличии обуславливающих их геологических факторов, в частности, связанных с процессами сульфитизации пород.

Глава 3. Разработка технологий наземной и наземно-подземной электрометрии

Повышение геологической эффективности геофизических работ неразрывно связано с развитием и внедрением в производство современных компьютерных технологий. За последние годы достигнуты определенные успехи в создании теоретического, методического и программного обеспечения в области интерпретации результатов электроразведочных работ. В соответствии с этим в третьей главе рассмотрены результаты исследований по адаптации и оценке возможностей таких технологий применительно к условиям ВКМКС.

В качестве инструментальных средств интерпретации использованы система программ ЗОНД, разработанная в лаборатории наземной и подземной электрометрии Горного института УрО РАН (В.П.Колесников, 1981, 2002) и программно-измерительный комплекс TEM-FAST, предоставленный сотрудниками Института Космических Исследований (г.Москва) (П.О.Барсуков, Э.Б.Файнберг 1997, 2003; Ю.А.Озорович, Ф.М.Каменецкий, В.М.Линкин, П.В.Новиков, 1988; W.D.Smythe, 1999).

Система программ ЗОНД, реализует концепцию согласованной площадной интерпретации совокупности электрических зондирований. Необходимые устойчивость и достоверность результатов достигаются использованием опорных решений, получаемых в результате обработки параметрических зондирований, либо (при их отсутствии) - статистического анализа совокупности эк-

Бивалентных решений по площади. Для этой же цели привлекается и апостериорная информация, получаемая в процессе площадной интерпретации электрических зондирований. Специально разработанные средства визуализации обеспечивают возможность оперативного получения и анализа трехмерных отображений наблюдаемого поля и модели среды, геоэлектрических разрезов и карт. Система ЗОНД позволяет выполнять одновременную обработку и интерпретацию до 700 зондирований как в автоматическом, так и в интерактивном режимах.

Применение компьютерной технологии выполнялось при переинтерпретации фондовых электроразведочных материалов ВЭЗ по двум участкам: Быгельско-Троицкому (площадь 26 км²) и Усть-Яйвинскому (площадь 52 км²), в связи с продвижением фронта шахтных работ.

Анализ параметрических зондирований позволил выполнить и обосновать стратиграфическую привязку геоэлектрических горизонтов, изучить особенности формирования геоэлектрических слоев. В частности, установлено, что опорный горизонт не выдержан по площади и смещается по глубине в западном и юго-западном направлениях на нижележащие стратиграфические уровни.

В результате переинтерпретации построена геоэлектрическая модель среды, характеризующая особенности строения и физические свойства пород. Впервые были получены карты удельных электрических сопротивлений в интервалах глубин залегания всех основных пачек пород надсолевой части разреза, включая четвертичные отложения, ГПЦ, ТКТ, СМГ+ГПП и верхнюю часть покровных каменных солей, выявлена широтная зональность свойств среды, связанная с замещением состава пород, изменением гидрологических условий и физических свойств массива. Выделен ряд аномальных зон, представляющих опасность для ведения шахтных работ, проявляющиеся в резком изменении литологического состава пород, повышении их трещиноватости, обводненности, наличием тектонических нарушений, интенсивного выщелачивания солей.

При оценке степени аномальности, наряду с удельным электрическим сопротивлением впервые были использованы эффекты, связанные с переходными процессами, возникающими при пропускании прямоугольных импульсов тока в заземленную линию АВ (аппаратура АНЧ-3). Позднюю стадию этих процессов в практике электроразведки называют скин-эффектом (Справочник по электроразведке, 1980). Показано, что зоны с проявлениями скин-эффекта закономерно прослеживаются в пределах исследуемой территории и подтверждаются результатами детализационных работ. Выполненные расчеты показали, что ощутимые для практики его значения в данных геоэлектрических условиях возможны при наличии объектов с весьма низким электрическим сопротивлением, составляющим десятые и сотые доли Омм, вследствие насыщения высокоминерализованными водами присолевой части разреза.

На основе численного моделирования и экспериментальных наблюдений с аппаратурой TEM-FAST (разработка Института Космических Исследований), исследованы возможности применения метода ЗСБ, в условиях наземного и подземного ведения работ. Показана высокая чувствительность кривых зонди-

рования становлением поля к наличию низкоомных, относительно небольших по мощности образований в солевой и непосредственно примыкающих к ней надсолевой частях разреза, обладающих мощностью от единиц до первых десятков метров с продольной проводимостью до 5-30 См, что обеспечивает возможность уверенного картирования элементов геологического строения и участков, представляющих потенциальную опасность для ведения горных работ: рассольного горизонта, тектонических нарушений, участков повышенной трещиноватости пород, заполненных высокоминерализованными водами и т.п. Показано, что для геоэлектрических условий Верхнекамского месторождения калийных солей необходимая глубинность и информативность параметров поля достигаются при размере квадратной приемно-генераторной петли - 160 м и времени регистрации сигнала не менее 16 мс.

Впервые в условиях соляных месторождений разработана методика наземно-подземного электрического просвечивания, с генераторной группой, установленной на земной поверхности, и измерениями поля в пределах выработанного пространства шахтных полей.

В качестве источника питания использован стационарный генератор АНЧ-3, позволяющий получать стабилизированный ток до 2А, меняющийся с частотой 4.88 Гц. Регистрация сигнала той же частоты осуществлялась в штрэке как гальваническим способом (путем заземления приемной линии MN) с помощью измерителя АНЧ-3, так и индуктивным способом (с помощью электрической антенны) при измерениях с аппаратурой СЭР-1. Выполненные двукратные наблюдения по пласту Кр1 вдоль девятого и десятого разведочных штрэков БКРУ-1 с шагом 10 м при размере приемной линии 100 м зафиксировали наличие области повышенных значений измеряемого сигнала, превышающих среднее по профилю значение в 2-3 раза. Контрольные наблюдения подтвердили полученный результат.

Глава 4. Использование техногенных электромагнитных полей • для изучения геологической среды

В четвертой главе рассмотрена возможность использования техногенных электромагнитных полей, с целью получения экспресс-информации о строении и физических свойствах надсолевых и солевых отложений.

Месторождение находится в пределах промышленно развитой зоны с энергоемким производством. На территории имеется достаточно много различных токонесущих объектов - линий электропередач, силовых кабелей, трансформаторных подстанций, система управления безопасностью работ (СУБР).

Возможности использования данных полей для изучения геологической среды отмечались в работах В.С.Титлинова (1992), Н.В.Бобровникова (1988, 1990, 1992, 1993, 1995, 1996, 1998), А.В.Вешева, Е.П.Алексеева, В.Л.Бондаренко, А.В. Яковлева (1989), В.С.Вишнева (1996, 1997), А.К.Сараева, В.Г.Ивочкина (1997, 1998), Г.А.Карвелиса (1977), Г.В.Орлова, В.Ф.Сарбаша, В. ИЛемеца (1975), М. В.Семенова, Г.И.Березина (1997).

В данной работе рассмотрены методики измерения техногенных полей для модификаций методов профилирования и зондирования, позволяющие регистрировать компоненты электромагнитных полей для заданного набора частот, а также частотные спектры этих полей в диапазоне от единиц до десятков килогерц, с помощью современных аппаратурно-программных технологий (СЭР-1, малогабаритные мобильные измерительные системы на базе ноутбука).

Методика электропрофилирования заключается в изучении спектра электромагнитных техногенных полей с целью выявления наиболее информативных частот, обеспечивающих как устойчивую регистрацию сигнала, так и заданную глубинность исследования. Наиболее информативной частоты, обеспечивающие устойчивую регистрацию сигнала при заданной глубинности исследования, определяются на основе анализ режимных наблюдений в опорных точках.

Методика зондирования основана на использовании спектров электромагнитного поля, регистрируемых на каждом из пикетов профиля по трем ортогональным направлениям: $E_x(t)$, $E_y(t)$, $E_z(t)$, $H_x(t)$, $H_y(t)$, $H_z(t)$ в профильном или площадном вариантах.

Первичная обработка результатов зондирований производится с помощью программы DSP (Digital signal processing), которая включает в себя: 1) расчет амплитудных характеристик $E_i(t) = E_i(t) - \frac{\sum E_i(t)}{n}$, $H_i(t) = H_i(t) - \frac{\sum H_i(t)}{n}$; 2) пересчет вычисленных амплитудно-временных характеристик в частотную область ($E(f)$, $H(f)$), реализуемый с помощью быстрого преобразования Фурье; 3) анализ полученных амплитудно-частотных характеристик с учетом режимных наблюдений с целью выбора оптимальных рабочих частот, соответствующих заданному уровню сигнала; 4) определение параметров поляризации электрического и магнитного полей для оптимальных частот; 5) выбор компонент поля с учетом параметров поляризации, соответствующих одинаковому типу волн.

Интерпретационными параметрами служат импеданс $Z(f) = E_z(f)/H_y(f)$ и относительные характеристики параметров поля, $E_{отн}(f) = E_z(f)/E_x(f)$, $H_{отн}(f) = H_x(f)/H_y(f)$ для полученных типов волн.

Для построение разрезов, карт и объемных отображений параметров $Z(f)$, $E_{отн}(f)$, $H_{отн}(f)$ использована модификация системы ЗОНД. Показана возможность выполнения количественной интерпретации с помощью данной системы при использовании блока решения прямой задачи для волновой зоны электромагнитного поля.

На примере комплексных опытно-методических электроразведочных работ проведенных на территориях ВКМКС, Осинского и Краснокамского месторождений нефти, выполненных с использованием анализа техногенных полей, показана геологическая их информативность и перспективность использования при решении экологических и горно-геологических задач.

Глава 5. Комплекс методов электротметрии для решения задач, связанных с обеспечением безопасной отработки Верхнекамского месторождения калийных солей

В пятой главе рассмотрен базовый комплекс взаимодополняющих методов для решения задач наземной и подземной электротметрии, сформированный по результатам выше рассмотренных исследований, предназначенный для получения информации о строении и физических свойствах соляных и прилегающих к ним над- и подсоляных отложений.

При формировании комплекса учитывались особенности геоэлектрических условий и специфика шахтных наблюдений (ограниченность свободного пространства, влияние различного рода помех), а также принцип дополнительности, основанный на доопределения обратной задачи как за счет применения различных методик наблюдения (традиционных, многоканальных, векторных, наземно-подземных и др.), так и использования разных по природе электромагнитных полей (квазистационарных, неустановившихся, техногенных и др.).

С учетом основных задач, возникающих в процессе промышленной эксплуатации месторождения и полученных методических наработок выделено три группы методов: экспресс-методы, детализационные методы и дополнительные методы исследования. Общие сведения о каждом из методов, включенных в данный комплекс, их характеристики и особенности применения приведены в таблице.

Задачей экспресс-методов является получение оперативной информации о наличии и степени аномальности исследуемого участка при различных условиях заземления электродов, состоянии штрека и уровня помех. В набор экспресс-методов включены как гальванические (контактные) методы электропрофилеирования (ЭП трехразносной векторной градиент-установкой $AMNB_{\alpha}$), так и индуктивные (бесконтактные) методы (БИЭП), не требующие заземления приемных и питающих линий. В особых случаях, для получения оперативной информации возможно использование техногенных электромагнитных полей.

Детализационные методы нацелены на установление природы выявленных экспресс-методами аномалий, определения физических свойств среды на разных удалениях от оси (либо от забоя) штрека, определения положения аномалиеобразующих тел в пространстве. В качестве детализационных выбран набор взаимодополняющих методов, отобранных по результатам опытно-методических работ: методы электрического зондирования (ПЭЗ, СЭЗ), электрического межштрекового просвечивания, векторных методов электротметрии, опережающей разведки проходки штрека.

Группа дополнительных методов предназначена для получения информации об электрических свойствах среды, необходимой при истолковании результатов электроразведочных наблюдений, а также общих сведений о состоянии ВЗТ, над- и подсолевых отложений, тектонических особенностях строения района и др. Эта группа включает методы определения анизотропных свойств среды, наземно-подземного просвечивания, а также электрического и электромагнитного зондирования.

Комплекс электроразведочных методов для условий Верхнекамского месторождения солей

Таблица

| Метод | Назначение | Интервал исследования | Аппаратура | Производительность работ, физ.т./час | Особые условия применения |
|---|---|---|--------------------------|--|--|
| ЭКСПРЕСС-МЕТОДЫ | | | | | |
| 1.ЭП трехразностной векторной установкой АМН,В ₀ (гальванический способ) | Получение оперативной информации о наличии и степени аномальности исследуемого участка | ≈ 70-90* м | ЭРА-В-ЗНАК, СЭР-1, АНЧ-3 | 20-30 (3-4 чел.) | |
| 2.ДЭП и СГ по методике БИЭП (индуктивный способ) | | ≈ 70-80 м (f=625 Гц) | СЭР-1, ЭРА-В-ЗНАК | 40-50 (2-3 чел.) | Отсутствие металлических конструкций |
| ДЕТАЛИЗАЦИОННЫЕ РАБОТЫ | | | | | |
| 1.Подземные зондирования (ПЭЗ, СЭЗ) | Изучение изменения электрических свойств пород околоштрекового пространства с глубиной, выделение приповерхностных и глубинных неоднородностей, опережающая разведка проходки штрека. | ≈ 70-80* м | АНЧ-3, ЭРА. | 4-5 (с катушкой) (4 чел.) 8-10 (с косой) (2-3 чел.) | |
| 2.Векторные измерения | Определение положения аномалиеобразующих зон в околоштрековом пространстве | ≈ 70 м | ЭРА-В-ЗНАК, СЭР-1 | 10-20 (2-3 чел.) | Отсутствие металлических конструкций |
| 3.Межштрековое электрическое просвечивание | Выделение аномальных зон в целиках | ≈ 400-600 м | АНЧ-3, СЭР-1. | 20 (3-4 чел.) | |
| ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ | | | | | |
| 1.Круговые наблюдения | Изучение анизотропных свойств среды. | - | АНЧ-3, СЭР-1, ЭРА. | 5-10 (2-3 чел.) | |
| 2.Наземно-подземное электрическое просвечивание | Выделение зон повышенного влагосодержания ВЗТ | ≈ 250 м | ЭРС-67, СЭР-1. | 20-30 (4 чел.) | Наличие скважин для заглубления источника поля |
| 3.Вертикальное электрическое зондирование | Изучение строения и физического состояния надсолевых отложений | ≈ 200-250 м (r _{гор} =750 м) | АНЧ-3, ЭРА. | 2 (4-5 чел.) | |
| 4.Индукционные зондирования (ЗСБ, ЧЗ, АМТЗ, МТЭП) | Изучение строения и физического состояния надсолевых, солевых и подсолевых отложений | ≈ 200** м (I=1-3А), ≈ 1500** м (I=20-40А) | ТЕМ-FAST, ЦИКЛ-5, АКФ | 3-4 (петля 100x100м) (4-5 чел.) | |

* - приближенная глубина исследования при длине штрека 600 м с учетом коэффициента анизотропии;

** - приближенная глубина исследования для метода ЗСБ.

Заключение

Основные результаты по повышению эффективности электроразведки при решении горно-геологических задач в условиях соляных месторождений заключаются в следующем:

1. Разработаны технологии комплексных наземно-подземных электроразведочных наблюдений, предназначенные для обеспечения безопасного ведения горно-технических подземных работ. В отличие от ранее использованных на ВКМКС методов, внедрены в производство новые методики, позволяющие повысить достоверность геологических заключений и значительно расширить круг решаемых задач: осуществлять зондирование околоштрекового пространства, снижать уровень помех, вести опережающую разведку проходки штрека, осуществлять межштрековое и наземно-подземное просвечивание соляных толщ, выполнять оценку анизотропных свойств соляных пород, проводить векторные измерения поля, получать количественную информацию о геоэлектрическом разрезе надсолевых и солевых отложений.

2. Проведено физико-геологическое обоснование применения методов электротомии в условиях ВКМКС и разработаны способы определения количественных параметров анизотропных геологических образований пластового типа при измерениях поля во внутренних точках среды, обеспечивающие возможность повышения информативности и достоверности результатов шахтной электротомии.

3. Выполнено численное моделирование электрических полей, создаваемых различными измерительными установками на моделях трехмерных сред применительно к подземным условиям наблюдений. С помощью моделирования изучены информационные возможности ряда методов, в том числе многоканальных и векторных измерений, по выделению аномальных объектов, оценки влияния выработанного пространства, анизотропии среды, приповерхностных неоднородностей и др.

4. На основе численного моделирования и экспериментальных наблюдений с аппаратурой TEM-FAST (разработка Института Космических Исследований) исследованы возможности применения метода ЗСБ в условиях наземного и подземного ведения работ. Показана высокая чувствительность кривых зондирования становлением поля к наличию низкоомных относительно небольших по мощности образований в солевой и непосредственно примыкающих к ней надсолевой части разреза, обладающих мощностью от единиц до первых десятков метров с продольной проводимостью до нескольких десятков сименсов, что обеспечивает возможность уверенного картирования элементов геологического строения и участков, представляющих потенциальную опасность для ведения горных работ - рассольного горизонта, тектонических нарушений, участков повышенной трещиноватости пород, заполненных высокоминерализованными водами и т.п.

5. Разработаны методики интерпретации, основанные на изучении спектральных векторных наблюдений электромагнитного поля неконтролируемых

(техногенных) источников, открывающие новые возможности для получения экспресс-информации о пространственном изменении физических свойств среды.

6. Производственное использование выполненных исследований позволило решить ряд важных производственных задач, связанных с обеспечением безопасной отработки ВКМКС:

- изучено геологическое строение и физические свойства надсоляных отложений в районе Верхнекамского месторождения солей (участок южного борта Дуринского прогиба, Усть-Яйвинский участок, аварийный участок СКРУ-2 и др.), позволившее выявить потенциально опасные зоны для проведения горно-технических работ (резкое литологическое замещение состава пород, повышение их трещиноватости, обводненности, наличие тектонических нарушений), изучить особенности изменения физических свойств разреза, выполнить картирование рассольного горизонта;

- результатами подземного электрического зондирования впервые определены количественные значения удельных электрических сопротивлений и коэффициентов анизотропии основных геоэлектрических горизонтов соляной толщи пород, выявлен ряд участков, опасных по газодинамическим явлениям, определено местоположение зон замещения пород при опережающей разведке штрека и др;

- решен ряд экологических задач, связанных с выявлением и контролем негативных последствий техногенного воздействия на геологическую среду соледобывающих комплексов; выявлены и оконтурены ореолы техногенного загрязнения геологической среды для нескольких интервалов глубин, зоны активного водообмена пород, проведена оценка минерализации подземных вод.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Колесников В.П., Кутин В.А., Геник. И.В., Татаркин А.В. Повышение эффективности методов шахтной электрометрии при изучении строения и физического состояния соляного массива // Проблемы безопасности и совершенствования горных работ: Тез. докл. межд. конф. / Горный институт УрО РАН. Пермь, 1999, с.98-99.

2. Колесников В.П., Геник. И.В., Татаркин А.В. Результаты мониторинговых электроразведочных наблюдений на участке обрушения пород Верхнекамского месторождения солей // Проблемы безопасности и совершенствования горных работ: Тез. докл. межд. конф. / Горный институт УрО РАН. Пермь, 1999, с.99-101.

3. Колесников В.П., Кутин В.А., Геник. И.В., Татаркин А.В. Результаты опытно-методических работ по совершенствованию методов электрометрии применительно к условиям Верхнекамского месторождения // Проблемы формирования и комплексного освоения месторождений солей: Тез. докл. междун. конф. Соликамск, 2000, с.100-102.

4. Колесников В.П., Кутин В.А., Татаркин А.В. Исследование анизотропных свойств соляных пород методами электрометрии // Проблемы формирова-

ния и комплексного освоения месторождений солей: Тез. докл. междунар. конф. Соликамск, 2000, с. 102-103

5. Татаркин. А.В. Опыт использования техногенных электромагнитных полей при изучении свойств геологической среды в условиях города // Сб. докл. Уральской молодежной школы по геофизике. Екатеринбург, 2000, с.95-97.

6. Колесников В.П., Татаркин А.В. Опыт использования техногенных электромагнитных полей при решении экологических задач в условиях города // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: Тез. докл. регион, научн.-практ. конф. Пермь, 2000, с. 295-297.

7. Татаркин А.В. Использование спектров техногенных электромагнитных полей при решении геоэкологических задач // Сб. докл. Второй уральской молодежной научной школы по геофизике. Пермь, 2001, с. 163-167.

8. Татаркин А.В. Электромагнитное зондирование геологической среды с помощью техногенных источников поля // Материалы научной сессии Горного института УрО РАН. Пермь, 2001, с. 169-174.

9. Колесников В.П., Костарев С.М., Татаркин А.В., Геник И.В. Использование методов электротометрии при экологических исследованиях урбанизированных территорий // Моделирование стратегии и процессов освоения георесурсов: Тез. докл. междунар. конф. Пермь, 2001, с.23-24.

10. Колесников В.П., Геник И.В., Татаркин А.В. Объемная электротометрия при производстве шахтных работ // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: Материалы, регион, науч.-практ. конф. Пермь, 2001, с. 206-208.

11. Татаркин А.В. Разработка метода электромагнитного зондирования геологической среды с использованием неконтролируемых (техногенных) источников поля // Материалы научной сессии Горного института УрО РАН. Пермь, 2002, с.108-111.

12. Татаркин А.В. Использование спектров неконтролируемых источников электромагнитного поля при решении горнотехнических задач // Тезисы докладов Международной школы-семинара. Апатиты, 2002, с. 84-85.

13. Татаркин А.В., Балабанов В.Н. Результаты наземных и подземных исследований методом становления поля в ближней зоне на Верхнекамском месторождении калийных солей. // Сб. докл. Третьей Уральской молодежной научной школы по геофизике.- Екатеринбург, 2002, с.111-114.

14. Колесников В.П., Татаркин А.В. Опыт применения шахтной электротометрии в условиях верхнекамского месторождения солей // Вестник Горного института УрО РАН «Горное эхо». Пермь, 2003, с. 9-15.

15. Татаркин А. В., Колесников В.П. Разработка методов объемной электротометрии для решения горнотехнических задач // Материалы научной сессии Горного института УрО РАН. Пермь, 2003, с.271-274.

16. Колесников В.П., Татаркин А.В. Применение методов электротометрии для выявления закарстованных участков при решении инженерно-геологических задач // Материалы Междунар. научн.-практ. конференции. Кунгур, 2003, с. 329-333.

17. Колесников В.П., Татаркин А.В. Электроразведка в условиях соляных шахт // 1 Всероссийская школа-семинар по электромагнитным зондированиям

Земли. Москва, 2003, с. 17.

18. Татаркин А.В. Повышение эффективности электроразведочных работ при решении горно-технических задач в условиях соляных месторождений // Сб. докл. Третьей Уральской молодежной научной школы по геофизике. Екатеринбург, 2004; с.111-114.

11055