НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ОБЩЕЙ И РЕГИОНАЛЬНОЙ ГЕОЛОГИИ

Курсовая работа

Применение электроразведки в геологии

Иванов Станислав Валерьевич

Курс I, группа (751)

Новосибирск 2008

Данная работа посвящена электроразведке. В работе представлены современные знания об электромагнитных полях различной природы, их происхождении и применении. Дан обзор электромагнитных свойств горных пород, а также современных методов и средств изучения полей.

 электроразведка геология электромагнитная

The given work is devoted to electroinvestigation. In work modern knowledge of electromagnetic fields of the various nature, their origin, and application are submitted. The review of electromagnetic properties of rocks, and as modern methods and means of studying of fields is given.

Электроразведка - Electroinvestigation

Электромагнитное поле - Electromagnetic field

Проводимость - Conductivity

Частота - Frequency

Поляризуемость - Polarizability

Электрохимическая активность - Electrochemical activity

Зондирование - Sounding

Разрез - Section

# Содержание

# Введение

Глава 1. Исторический обзор

Глава 2. Объекты изучения, современные цели и задачи исследований в выбранном разделе геологии

Глава 3. Современные знания по данной области

3.1 Общая теория электроразведки

3.2 Электромагнитные поля, используемые в электроразведке

3.3 Электромагнитные свойства горных пород

3.4 Применение электроразведки при решении различных задач

Глава 4. Современные методы и средства исследований

Глава 5. Связи с другими научными дисциплинами

Глава 6. Проводимые исследования по данной теме на ГГФ НГУ и в институтах геологического профиля Новосибирского центра СО РАН

Заключение

Словарь основных терминов

Список использованной литературы

# Введение

На сегодняшний день существует несколько способов геофизических исследований земной коры: грави-, магнито-, электро-, сейсморазведка. Электрическая разведка, или электроразведка, является одним из основных разделов разведочной геофизики – науки, относящейся к циклу наук о Земле и занимающейся изучением геологического строения земной коры и глубинных зон нашей планеты. Методы электроразведки широко применяются как при геолого-структурных исследованиях и геологическом картировании, так и при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. История применения электроразведки доказала ее высокую информативность и экономическую эффективность благодаря большому числу методов, которыми ведется исследование коры. По этой причине электроразведка – возможно одна из наиболее перспективных разделов геофизики.

При написании этой работы я ставлю перед собой следующие цели:

1. Ознакомление с историей возникновения и развития электроразведки как науки;
2. Знакомство с теорией и практикой электроразведки;
3. Узнать, какие исследования проводятся в институтах Новосибирска по данной теме.

# Глава1. Исторический обзор

Электроразведка, как и вся разведочная геофизика, является наукой сравнительно молодой. Первые работы по применению электричества при поисках полезных ископаемых относятся к 1829 г., когда А. Фокс наблюдал над медноколчеданными месторождениями Корнуэльса (Англия) естественные электрические поля, связанные с окислительно-восстановительными процессами. Общий прогресс геофизики в конце ХIХ и начале ХХ столетия коснулся также и методов изучения геологического строения Земли; он дал толчок развитию прикладной геофизики в целом и электрических методов разведки в частности.

В 1903 г. Русским инженером Е.И Рагозиным была опубликована монография "О применении электричества для разведки рудных залежей".

В 1910 г. французский учёный К. Шлюмберже разработал метод сопротивлений, нашедший впоследствии широкое применение при геологоструктурных исследованиях.

В 1919 – 1922 гг. шведские учёные Н. Лундберг и К. Зундберг своими работами положили начало электроразведке переменными полями. Несколько позже в Америке был предложен метод индукции (радиор).

В 1924 г. Основоположник отечественной электроразведки А.А Петровский провел впервые в Советском Союзе электроразведочные работы методами естественного поля (Риддерское полиметаллическое месторождение на Алтае).

В 1925 г. Метод эквипотенциальных линий был поставлен на переменном токе и в этой модификации в последующие годы широко опробован на сульфидных месторождениях СССР.

С 1928 г. А.А. Петровский проводит систематические исследования в области радиоволновых методов разведки. Таким образом, в двадцатые годы ХХ века электроразведку использовали в основном при поисках и разведке рудных месторождений. Однако проводившиеся работы носили в значительной мере опытный характер, объём производственных работ был невелик.

В 1928 – 1929 гг. электроразведку начинают применять для поисков и разведки нефтеносных и газоносных структур. В последующие годы объём этих работ существенно возрастает в соответствии с общим увеличением объёма геофизических работ при поисках нефти и газа и организацией геофизической службы в нефтяной промышленности.

В 1930 г. А.С. Семенов проводит первые электроразведочные работы для решения гидрогеологических и инженерно-геологических задач.

В 1932 г. были проведены первые электроразведочные работы с целью поисков и разведки месторождений ископаемых углей. В этой области геологических исследований электроразведка получила применение как метод изучения геологической структуры угольных бассейнов и поисков угольных пластов, а также угленосных свит.

В 1960 – 1970х гг. большой вклад в развитие электроразведки постоянным током внесли А. И. Заборовский, Л.М. Альпина, В.Н. Дахнова, А.Н. Тихонова, А.П. Краева, Е.Н. Каленова, А.М. Пылаева и др. Другие же методы электроразведки развивали Е.А. Сергеев (метод естественного тока), А.С Семенов (метод заряда), А.Г. Тархова, И.Г. Михайлова (метод индукции) и др.

# Глава 2. Объекты изучения, современные цели и задачи исследований в выбранном разделе геологии

Электроразведка (точнее электромагнитная разведка) объединяет физические методы исследования геосфер Земли, поисков и разведки полезных ископаемых, основанные на изучении электрических и электромагнитных полей, существующих в Земле либо в силу естественных космических, атмосферных, физико-химических процессов, либо созданных искусственно. Используемые поля могут быть: установившимися, т.е. существующими свыше секунды (постоянными и переменными, гармоническими или квазигармоническими с частотой от миллигерц (1 мГц = 10-3 Гц) до петагерц (1 ПГц = 1015 Гц)) и неустановившимися, импульсными с длительностью импульсов от микросекунд до секунд. С помощью разнообразной аппаратуры измеряют амплитудные и фазовые составляющие напряженности электрических (E) и магнитных (H) полей. Если напряженность и структура естественных полей определяется их природой, интенсивностью, а также электромагнитными свойствами горных пород, то для искусственных полей она зависит и от мощности источника, частоты или длительности, а также способов возбуждения поля. Основными электромагнитными свойствами горных пород являются удельное электрическое сопротивление (УЭС, или ρ), электрохимическая активность (α), поляризуемость (η), диэлектрическая (ε) и магнитная (μ) проницаемости. Электромагнитные свойства геологических сред, вмещающей среды, пластов, объектов, а также геометрические параметры последних служат основой для построения геоэлектрических разрезов. Геоэлектрический разрез над однородным по тому или иному электромагнитному свойству полупространством принято называть нормальным, а над неоднородным - аномальным (www.astronet.ru). Непосредственной задачей, решаемой при помощи электроразведки, является определение геоэлектрического разреза исследуемого района. Имея сведения о нем, можно перейти к решению основной задачи – построению геологического разреза.

Электроразведочные исследования проводят в тесной связи с другими геофизическими и геологическими исследованиями. Эта связь обусловлена тем, что электроразведочные работы – один из этапов геологоструктурных или геологопоисковых работ. Конкретные задачи, решаемые при помощи электроразведки, вытекают из результатов предшествующих геологических работ, а данные, полученные в результате применения электроразведки, определяют методику и направление последующих геологических исследований. Комплексирование электроразведки с другими геофизическими методами позволяет в значительно повысить степень достоверности геологической интерпретации результатов полевых наблюдений.

# Глава 3. Современные знания в данной области

## 3.1 Общая теория электроразведки

В основе теории электроразведки лежат уравнения Максвелла, являющиеся постулатами макроскопической электродинамики. Они включают в себя все основные законы электромагнетизма (законы Ома, Ампера, Кирхгофа и др.) и описывают поля в разных средах. Из уравнений Максвелла получается дифференциальное уравнение, названное телеграфным. Решая его, можно получить электрическую (E) компоненту поля в средах вдали от источника с электромагнитными параметрами ρ, ε, µ:

, где

Дифференцирование ведется по декартовым координатам (х, у, z) и времени (t). Уравнение для магнитной (H) компоненты поля аналогично (www.geo.web.ru).

Если геоэлектрический разрез известен, то с помощью этого уравнения и физических условий задачи, называемых условиями сопряжения, решаются прямые задачи электроразведки, т.е. получаются аналитические или численные значения E и H, которые соответствуют заданному геоэлектрическому разрезу. В теории электроразведки прямые задачи решаются для разных физико-геологических моделей (ФГМ) сред. Под ФГМ понимаются абстрактные геоэлектрические разрезы простой геометрической формы, которыми аппроксимируются реальные геолого-геофизические разрезы. Сложность решения прямых задач заключается в выборе моделей, близких к реальным, но таких, чтобы для избранного типа первичного поля удалось получить хотя бы приближенное решение для E или H. Для этого применяется математическое моделирование с использованием современных ЭВМ. В недалеком прошлом основным способом решения прямых задач для сложных ФГМ и разных по структуре типов полей являлось физическое моделирование на объемных или плоскостных моделях сред.

Наиболее простыми моделями сред являются:

1. однородное изотропное пространство или полупространство с одинаковыми электромагнитными свойствами (решения над ними называются соответственно первичным или нормальным полем источника);
2. анизотропное пространство или полупространство с электромагнитными свойствами, отличающимися в направлении и вкрест слоистости пород;
3. одномерные неоднородные среды, в которых свойства меняются в одном направлении. Такими ФГМ могут быть, например, вертикальные контакты двух сред, ряд вертикальных пластов или горизонтально слоистая среда с разными ρ;
4. двухмерные неоднородные среды, в которых электромагнитные свойства меняются в двух направлениях. Примером могут быть наклонные пласты или цилиндры, простирающиеся вдоль одного направления и отличающиеся по ρ от вмещающих горных пород;
5. трехмерные неоднородные среды, в которых свойства меняются по трем направлениям. Самой простой из подобных моделей является шар с разными ρ, α или η в однородном полупространстве.

В порядке увеличения сложности структуры первичных полей, а значит возрастания сложности решения прямых задач, используемые для электроразведки поля можно расположить в следующей последовательности: точечных и дипольных источников постоянного тока, плоских гармонических электромагнитных волн, сферических волн дипольных гармонических или импульсных источников, цилиндрических волн длинного кабеля и т.п. (www.astronet.ru).

Накопленный материал по физическому и математическому моделированию прямых задач электроразведки привел к созданию методов решения обратных задач, т.е. определению тех или иных параметров геоэлектрического разреза по наблюденным графикам E,H или, например, кривым КС (кажущееся сопротивление). Решение обратных задач неоднозначно в силу его некорректности, как и всех обратных задач математической физики. Некорректность проявляется в том, что малым изменениям наблюденных параметров поля могут соответствовать большие изменения параметров разреза. Этот физический факт получил название принципа эквивалентности. Принципом эквивалентности объясняется, например, невозможность точного определения мощностей (hi) и удельных электрических сопротивлений (ρi) тонких слоев, горизонтально слоистого разреза, хотя такие параметры, как продольные проводимости (Si= hi/ ρi) либо поперечные сопротивления (Ti= hi\* ρi), в определенных разрезах рассчитываются однозначно.

Методы решения обратных задач электроразведки являются основой количественной интерпретации данных электроразведки. Сущность их сводится к подбору и сравнению полевых графиков и кривых с теоретическими, полученными в результате решения прямых задач. Для этого созданы альбомы типичных теоретических кривых (палетки) или программы для их теоретического расчета с помощью ЭВМ.

Применение электроразведки позволяет удешевить и ускорить геологические исследования за счёт сокращения объёма дорогостоящих горно-проходческих и буровых работ. Развитие электроразведки связано с разработкой новых методов, увеличением исследуемой глубины земной коры и повышением степени надёжности получаемых результатов.

## 3.2 Электромагнитные поля, используемые в электроразведке

Теория электроразведки базируется на теории электромагнитного поля.

К естественным переменным электромагнитным полям относятся квазигармонические низкочастотные поля космической (их называют магнитотеллурическими) и атмосферной (грозовой) природы ("теллурики" и "атмосферики").

Происхождение магнитотеллурических полей объясняется воздействием на ионосферу Земли потока заряженных частиц, посылаемых космосом (в основном, корпускулярным излучением Солнца). Вызываемые разной активностью Солнца и солнечным ветром периодические (11-летние), годовые, суточные вариации магнитного поля Земли и магнитные бури создают возмущения в магнитосфере и ионосфере. Вследствие индукции в Земле и возникают магнитотеллурические поля. В целом эти поля инфранизкой частоты (от 10-5 до 10 Гц). В теории показано, что на таких частотах *скин-эффект* проявляется слабо, поэтому магнитотеллурические поля проникают в Землю до глубин в десятки и первые сотни километров. Наиболее устойчивыми, постоянно и повсеместно существующими в утренние и дневные часы, особенно летом и в годы повышенной солнечной активности являются короткопериодичные колебания (КПК) с периодом от единиц до ста секунд. Поля иных периодов наблюдаются реже. Измеряемыми параметрами являются электрические (Ex, Ey, Ez) и магнитные (Hx, Hy, Hz) составляющие напряженности магнитотеллурического поля. Их амплитуды и фазы зависят, с одной стороны, от интенсивности вариации теллурического и геомагнитного полей, а с другой, от удельного электрического сопротивления пород, слагающих геоэлектрический разрез. По измеренным взаимно перпендикулярным электрическим и магнитным составляющим можно рассчитать ρ однородного полупространства (нормальное поле) с помощью следующей формулы, полученной в теории электроразведки:

,

где T - период колебания, a - коэффициент размерности. Он равен 0,2, если T измерено в с, Ex в мВ/км, Hy в нанотеслах (нТл), ρ в Ом\*м. Над неоднородной средой полученное по этой формуле УЭС называется кажущимся (КС или ρт ).

Происхождение естественных переменных полей атмосферной природы связано с грозовой активностью. При каждом ударе молнии в Землю (по всей поверхности Земли в среднем ежесекундно число молний равно примерно 100) возбуждается электромагнитный импульс, распространяющийся на большие расстояния. В целом под воздействием гроз в верхних частях Земли повсеместно и всегда существует слабое грозовое поле, которое называют шумовым. Оно состоит из периодически повторяемых импульсов (цугов), носящих квазисинусоидальный характер с преобладающими частотами от 10 Гц до 10 кГц и напряженностью по электрической составляющей в доли мВ/м. Средний уровень поля "атмосфериков" подвержен заметным суточным и сезонным вариациям, т.е. вектора напряженности электрической (E) и магнитной (H) составляющих не остаются постоянными по амплитуде и направлению. Однако средний уровень напряженности (Eср, Hср) за время в течение десятка секунд зависит от удельного электрического сопротивления слоев геоэлектрического разреза, над которым ведутся наблюдения. Таким образом, измеряемыми параметрами "атмосфериков" являются различные составляющие Eср и Hср (www.geo.web.ru).

К естественным постоянным электрическим полям (ЕП) относятся локальные поля электрохимической и электрокинетической природы.

Электрохимическими являются ЕП, которые обусловлены либо окислительно-восстановительными реакциями, протекающими на границах проводников: электронного (рудные минералы - например, сульфиды, окислы) и ионного (окружающие породы подземные воды), либо разностью окислительно-восстано-вительного потенциала подземных вод вдоль проводящего слоя (например, графита, антрацита). Интенсивность потенциалов ЕП определяется распределением кислорода по глубине и изменением водородного показателя кислотности подземных вод (pH). В верхних частях залежей, где больше атмосферного кислорода, идут окислительные реакции, которые сопровождаются освобождением электронов. В нижних частях залежей, где преобладают застойные воды, идут восстановительные реакции с присоединением электронов. Во вмещающей среде и подземной воде наблюдается обратное распределение ионов, а в целом образуются гальванические элементы с катодом вверху и анодом внизу. Разность потенциалов на концах получающегося естественного электрического диполя достигает 1-1,2 В. Длительность существования подобных гальванических элементов, а значит, электрических полей (в том числе на земной поверхности) очень велика, вплоть до полного окисления рудной залежи. Интенсивность полей ЕП неустойчива и может меняться с изменением влажности, температуры и других природно-техногенных факторов.

Электрокинетические постоянные естественные поля (ЕП) обусловлены диффузионно-адсорбционными и фильтрационными процессами в горных породах, насыщенных подземными водами. Благодаря различной подвижности катионов и анионов происходит неравномерное распределение зарядов в подземных водах разной концентрации, что и ведет к созданию естественного электрического поля диффузионной природы. Величина и знак диффузионных потенциалов зависят от адсорбционных свойств минералов, т.е. способности мелкодисперсных и коллоидных частиц удерживать на своей поверхности ионы того или иного знака. Поэтому разности потенциалов, возникающие при диффузии в породах подземных вод разной концентрации, получили название диффузионно-адсорбционных. Естественные потенциалы наблюдаются также при движении (фильтрации) подземных вод через пористые породы. Границы и поры в горной породе можно рассматривать как капилляры, стенки которых способны адсорбировать ионы одного знака (чаще всего отрицательные). В жидкой среде накапливаются заряды противоположного знака. Чем больше скорость движения подземных вод (или давление на концах капилляров), тем больше будет разность потенциалов ЕП. Знак ЕП зависит от направления течения подземных вод: положительный потенциал возрастает в направлении движения воды. Места оттоков подземных вод выделяются отрицательными потенциалами, а притоков - положительными. Суммарные электрокинетические потенциалы зависят от диффузионно-адсорбционных, фильтрационных процессов и в меньшей степени от сезона года, времени суток, влажности и температуры. Измеряемыми параметрами полей являются их потенциалы (U) и градиенты потенциала (∆U) (www.astronet.ru).

Искусственные постоянные электрические поля создаются с помощью батарей, аккумуляторов или генераторов постоянного тока, подключаемых с помощью изолированных проводов к стержневым электродам - заземлителям. В теории заземлений доказывается, что электрод стержневой формы можно рассматривать как точечный, если поле изучается от него на расстояниях, в пять и более раз превышающих длину заземленной части электрода. Поэтому приводимые ниже формулы расчета поля для точечного источника справедливы для практической электроразведки. Теория электроразведки включает решение прямых и обратных задач. Прямой задачей называется определение параметров электромагнитного поля над заданным геоэлектрическим разрезом. Простейшей прямой задачей электроразведки постоянными искусственными полями (их называют методами сопротивлений) является расчет разности потенциалов (∆U) в двух точках ( М и N) над однородным изотропным полупространством (см Рис.1.) с постоянным УЭС (ρ), в которое через точечный источник (А) вводится ток силой J.

Рис.1. Поле точечного источника постоянного тока (А) над однородным изотропным полупространством: 1 - токовые линии, 2 - эквипотенциальные линии (http://images.astronet.ru/pubd/2001/11/29/0001173309/fig3-1.gif)

Вследствие шаровой симметрии решаемой задачи токовые линии радиально направлены от точечного источника ( А), а эквипотенциальные поверхности имеют вид полусфер. Используя закон Ома ∆U=RJ, где R= ρl/s - сопротивление проводника между двумя полусферами со средним радиусом r и площадью s=2πr2, удаленными на расстояниe l=MN, можно записать ∆U=JρMN/2πr2. Для градиент-установок, когда MN много меньше r, в последней формуле можно заменить r на AM\*AN, поэтому выражениe для расчета УЭС однородного полупространства с помощью трехэлектродной установки АМN получит вид:

Под установкой в электроразведке понимают комбинацию питающих и приемных электродов. Коэффициент K, зависящий от расстояний между ними, называется коэффициентом установки. Над неоднородной средой рассчитанное по этой формуле УЭС называется кажущимся (КС или ). Каков же физический смысл ?

Из теории поля известно, что напряженность электрического поля , где jMN - плотность тока, ρMN - удельное сопротивление вблизи приемных электродов. Обозначив и учитывая, что на постоянных разносах и при однородном верхнем слое , получим

Таким образом, кажущееся сопротивление над неоднородным полупространством пропорционально плотности тока у приемных электродов. Над однородным полупространством и . Физический смысл аномалий в методах сопротивлений в том, что тoковые линии изгибаются в среде с разными ρ (втягиваются в проводящие, огибают непроводящие включения). В результате на земной поверхности меняется , а значит ρK. Поэтому ρK - это сложная функция геоэлектрического разреза и типа установки. Ее рассчитывают в теории электроразведки. Численно ρK равно истинному сопротивлению (ρ) такого полупространства, в котором для одинаковой установки (K=const) отношение ∆U/J остается одинаковым (www.astronet.ru).

Искусственные переменные гармонические электромагнитные поля создаются с помощью разного рода генераторов синусоидального напряжения звуковой и радиоволновой частоты, подключаемых к гальваническим (заземленные линии) или индуктивным (незаземленные контуры) датчикам (источникам) поля. С помощью других заземленных (приемных) линий или незаземленных контуров измеряются соответственно электрические (E) или магнитные (H) составляющие напряженности поля. Они определяются, прежде всего, удельным электрическим сопротивлением вмещающей среды. Чем выше сопротивление, тем меньше *скин-эффект* и больше глубина проникновения поля. С другой стороны, чем ниже сопротивление, тем больше интенсивность вторичных вихревых электромагнитных полей, индуцированных в среде.

Вывод аналитических формул для связи между измеряемыми параметрами (E,H), силой тока в датчике поля (J), расстоянием между генераторными и измерительными линиями (r), их размерами и электромагнитными свойствами однородного полупространства очень сложен. На низких частотах (f < 10 кГц) расчет сопротивления однородного полупространства ведется по формуле: , где Kω - коэффициент установки, разный для различных способов создания и измерения поля, расстояний между источником и приемником, круговых частот (ω=2πf); ∆U(ω) - разность потенциалов, пропорциональная составляющим E или H. Над неоднородной средой по этой же формуле рассчитывается кажущееся сопротивление (ρω ). На высоких частотах (f > 10 кГц) формулы для параметров нормального поля более громоздки, так как они зависят от трех электромагнитных свойств среды: ρ,ε,μ.

Искусственные импульсные (неустановившиеся) электромагнитные поля создаются с помощью генераторов, дающих на выходе напряжение в виде прямоугольных импульсов разной длительности и подключаемых к заземленным или незаземленным линиям. С помощью других заземленных приемных линий или незаземленных контуров изучается процесс установления и спада разностей потенциалов ΔUE(t) или ΔUH(t) на разных временах (t) после окончания питающего импульса. При зондировании геологической среды такими импульсами в ней происходят разнообразные физические процессы. В зависимости от способа создания и измерения поля и времени, на котором проводятся измерения, а также электромагнитных свойств горных пород различают неустановившиеся поля двоякой природы: вызванной поляризации и переходных процессов или становления поля (www.geo.web.ru).

Поля вызванной поляризации, или вызванные потенциалы (ВП), создаются путем гальванического возбуждения постоянного тока с помощью линии АВ и измерения разности потенциалов ВП на приемных электродах МN (ΔUВП) через 0,5-1 с после отключения тока, т.е. измеряется спад напряженности электрического поля, обусловленный разной вызванной поляризуемостью горных пород (η). Над однородным полупространством , где ΔU - разность потенциалов на тех же приемных электродах во время пропускания тока. Над неоднородным полупространством рассчитанная по этой формуле величина называется кажущейся поляризуемостью (ηK). Интенсивные поля ВП создаются над средами, содержащими рудные (электронопроводящие) минералы. При пропускании тока через такую среду в ней происходят электрохимические процессы, сходные с теми, которые наблюдаются при зарядке аккумулятора. Во время пропускания тока на поверхности рудных минералов, окруженных подземной водой, осуществляется ряд физических превращений и химических реакций, приводящих к вынужденной поляризации среды. После отключения тока в среде начинает устанавливаться равновесие, проявляющееся в медленном спаде электрического поля и наличии на приемных электродах потенциалов ΔUВП в течение нескольких секунд. В средах, где породообразующие минералы не проводят электрический ток (ионопроводящие), образование полей ВП связано с перераспределением зарядов на контакте жидкой и твердой фаз, диффузией ионов через пористые среды, адсорбцией их на глинистых частицах и другими процессами.

При импульсном или ступенчатом изменении тока в питающей линии (АВ) или незаземленном контуре (петля, рамка) в момент включения или выключения тока в проводящей геологической среде индуцируются вихревые вторичные электромагнитные поля. Из теории спектров и импульсной техники известно, что при резком изменении тока в среде возникает сигнал, который можно разложить в набор гармонических колебаний широкого спектра частот. Чем острее импульс или крутизна спада сигнала, тем более высокочастотные колебания содержатся в нем. С увеличением частоты растет *скин-эффект* (а значит, уменьшается глубина проникновения поля) и увеличиваются вторичные вихревые индукционные поля. Поэтому в зависимости от формы питающего импульса и сопротивления среды сигналы в ней по-разному искажаются. Изучая с помощью приемной линии (М N) или незаземленного контура (петли, рамки) разности потенциалов ΔUE(t) и ΔUH(t) на разных временах (t) после окончания питающего сигнала, можно получить форму искаженного средой сигнала, т.е. изучить переходные процессы или становление (установление) поля в среде.

Вывод аналитических формул для связи разностей потенциалов (ΔUE(t), ΔUH(t)) от силы тока в питающей цепи (J), сопротивления однородного полупространства (ρ), расстояния (r) между центрами питающего и приемного устройств и их размеров сложен. Лишь для дальней (r>5H) или ближней (r<H) зон от источника, где H - проектируемые глубины разведки, формулы для расчета имеют несложный вид: или ,

где KД и KБ - коэффициенты установок, разные для дальней и ближней зон от источника, зависящие от типа питающей и приемной линий, их размеров и разноса (r). Для неоднородной среды сопротивления, рассчитанные по этим формулам, называются кажущимися ( , ).

Сверхвысокочастотные электромагнитные поля с длиной волны от микрометров до метров используются для пассивной и активной радиолокации земной поверхности. Методы, основанные на их измерении, находятся на стыке электроразведки и терморазведки. При пассивной радиолокации изучаются естественно-техногенные радиотепловые (РТ) или инфракрасные (ИК) излучения земной поверхности. В разных диапазонах микрометровых длин электромагнитных волн существуют "окна прозрачности", позволяющие получать РТ или ИК - изображения земных ландшафтов при любой погоде и облачности. Интенсивность излучений зависит от солнечного и внутриземного нагрева верхних частей поверхности Земли, а также от искусственных источников тепла (города, промышленные предприятия и т.п.). При активной радиолокации (аэрокосмической или полевой) земная поверхность облучается искусственными короткими радиолокационными импульсами, изучаются времена прихода и форма отраженных как от земной поверхности, так и от границ слоев с разными электромагнитными свойствами (в основном ε и ρ).

## 3.3 Электромагнитные свойства горных пород

К основным электромагнитным свойствам горных пород относятся: удельное электрическое сопротивление (ρ), электрохимическая активность (α), поляризуемость (η), диэлектрическая (ε) и магнитная (μ) проницаемости. Параметрами ρ, ε, μ, а также частотой поля определяется коэффициент поглощения поля средой.

Удельное электрическое сопротивление (УЭС), измеряемое в омметрах (Омм), характеризует способность пород оказывать электрическое сопротивление прохождению тока и является наиболее универсальным электромагнитным свойством. Оно меняется в горных породах и рудах в очень широких пределах: от 10-3 до 1015 Омм. Величина γ, обратная ρ, называется электропроводностью и измеряется в сименсах на метр (См / м). Для наиболее распространенных осадочных, магматических и метаморфических горных пород УЭС зависит от минерального состава, физико-механических и водных свойств горных пород, концентрации солей в подземных водах и в меньшей мере от их химического состава, а также от некоторых других факторов (температуры, глубины залегания, степени метаморфизма и др.).

Удельное электрическое сопротивление минералов зависит от их внутрикристаллических связей. Для минералов-диэлектриков (кварц, слюды, полевые шпаты и др.) с преимущественно ковалентными связями характерны очень высокие сопротивления (1012 - 1015 Омм). Минералы-полупроводники (карбонаты, сульфаты, галоиды и др.) имеют ионные связи и отличаются высокими сопротивлениями (104 - 108 Омм). Глинистые минералы (гидрослюды, монтморилломонит, каолинит и др.) обладают ионно-ковалентными связями и выделяются достаточно низкими сопротивлениями (ρ < 104 Омм). Рудные минералы (самородные, некоторые окислы) отличаются электронной проводимостью и очень хорошо проводят ток (ρ < 1 Омм). Первые две группы минералов составляют "жесткий" скелет большинства горных пород. Глинистые минералы создают "пластичный" скелет, способный адсорбировать связанную воду, а породы с "жесткими" минералами могут насыщаться лишь растворами и свободной водой, т.е. той, которая может быть выкачана из породы (Бондаренко и др., 1989г.).

Удельное электрическое сопротивление свободных подземных вод (гравитационных и капиллярных) меняется от долей Омм при высокой общей минерализации ( M > 10 г / л) до 1000 Омм при низкой минерализации ( M < 10-2 г / л) и может быть оценено по формуле . Химический состав растворенных в воде солей не играет существенной роли, поэтому по данным электроразведки можно судить лишь об общей минерализации подземных вод. Удельное электрическое сопротивление связанных вод, адсорбированных твердыми частицами породы, низкое и мало меняется (от 1 до 100 Омм). Это объясняется достаточно постоянной их минерализацией (3-1 г / л). Средняя минерализация вод мирового океана равна 36 г / л (www.astronet.ru).

Так как поровая вода (свободная и связанная) отличается значительно более низким удельным электрическим сопротивлением, чем минеральный скелет большинства минералов, то сопротивление горных пород практически не зависит от его минерального состава, а определяется такими параметрами пород, как пористость, трещиноватость, водонасыщенность. С их увеличением сопротивление пород уменьшается за счет увеличения ионов в подземной воде. Поэтому электропроводность большинства пород является ионной (электролитической).

С ростом температуры на 40° сопротивление уменьшается примерно в 2 раза, что объясняется увеличением подвижности ионов. При замерзании сопротивление горных пород возрастает скачком, так как свободная вода становится практически изолятором, а электропроводность определяется лишь связанной водой, которая замерзает при очень низких температурах (ниже -50° С). Возрастание сопротивлений при замерзании разных пород различно: в несколько раз оно увеличивается у глин, до 10 раз - у скальных пород, до 100 раз - у суглинков и супесей и до 1000 и более раз - у песков и грубообломочных пород.

Глубина залегания, степень метаморфизма, структура и текстура породы также влияют на ее сопротивление, изменяя коэффициент микроанизотропии, за который принято брать , где ρn и ρl - сопротивления породы вкрест и вдоль слоистости. Чаще всего λ меняется от 1 до 1,5, достигая 2-3 у сильно рассланцованных пород. Величина λ может достигать нескольких единиц для мерзлых пород разной криогенной структуры и льдовыделения. Зависимость сопротивления горных пород от ее структуры поясняется на рис.2, *а* и *б*. На рис.2, *а* в схематическом виде изображена горная порода, в которой минеральный скелет и поры беспорядочно ориентированы в пространстве. ρ такой породы будет одинаковым в любом направлении. На рис.2, *б* изображена порода, в которой минеральный скелет и поры имеют вытянутую форму. Это приводит к тому, что условия протекания тока через породу становятся неодинаковыми для различных направлений. ρ такой породы зависит от направления (Якубовский и др., 1974г.).

Рис. 2. Структура минерального скелета горной породы: а – изотропная, б – анизотропная.

Несмотря на зависимость ρ от множества факторов и широкий диапазон изменения у разных пород, основные закономерности УЭС установлены достаточно четко. Магматические и метаморфические породы характеризуются высокими сопротивлениями (от 500 до 104 Омм). Среди осадочных пород высокие сопротивления (102 – 103 Омм) у каменной соли, гипсов, известняков, песчаников и некоторых других. Обломочные осадочные породы, как правило, имеют тем большее сопротивление, чем больше размер зерен, составляющих породу, т.е. зависят, прежде всего, от глинистости. При переходе от глин к суглинкам, супесям и пескам удельное сопротивление изменяется от долей и первых единиц омметров к первым десяткам и сотням омметров.

Под электрохимической активностью понимается свойство пород создавать естественные постоянные электрические поля. За электрохимическую активность (α) условно принимается коэффициент пропорциональности между потенциалом (U) или напряженностью естественного электрического поля ( E=ΔU/MN, где ΔU - разность потенциалов в двух точках измерения М и N) и основными потенциал-образующими факторами, которыми они обусловлены. Такими факторами являются: концентрация кислорода, водородный показатель кислотности подземных вод, отношение концентрации подземных вод, давление и др. Коэффициент α измеряется в милливольтах и меняется от -(10-15) мВ у чистых песков, близко к нулю у скальных пород, возрастает до +(20-40 мВ) у глин и до сотен милливольт для руд с электронопроводящими минералами (сульфиды, графит, антрацит). В целом α зависит от многих природных факторов (минерального состава, глинистости, пористости, проницаемости, влажности, минерализации подземных вод и др.).

Способность пород поляризоваться, т.е. накапливать заряд при пропускании тока, а затем разряжаться после отключения этого тока оценивается коэффициентом поляризуемости η ("эта"). Величина η вычисляется в процентах как отношение напряжения, которое остается в измерительной линии МN по истечении определенного времени (обычно 0,5-1 с) после размывания токовой цепи (ΔUВП) к напряжению в той же линии при пропускании тока (ΔU), т.е. (geo.web.ru)

Поляризация - это сложный электрохимический процесс, протекающий при пропускании через породу постоянного или низкочастотного переменного (до 10 Гц) тока. Наибольшей поляризуемостью (η = 10-40%) отличаются руды с электронной проводимостью (сульфиды, сульфосоли, некоторые самородные металлы, отдельные окислы, графит, антрацит). Природа этих потенциалов ВП связана с так называемой концентрационной и электродной поляризацией рудных минералов. Коэффициенты поляризуемости до 2-6% наблюдаются над обводненными рыхлыми осадочными породами, в которых имеются глинистые частицы. Поляризуемость их обусловлена деформациями внешних обкладок двойных электрических слоев, возникающих на контакте твердой и жидкой фазы. Большинство магматических, метаморфических и осадочных пород, насыщенных минеральной водой, слабо поляризуются (η < 2%).

Диэлектрическая (ε) и магнитная (μ) проницаемости играют значительную роль лишь при электроразведке на высоких частотах. Относительная диэлектрическая проницаемость (где εп и ε0 - диэлектрические проницаемости породы и воздуха) показывает, во сколько раз увеличивается емкость конденсатора, если вместо воздуха в него поместить данную породу. Величина ε меняется от нескольких единиц (у сухих осадочных пород) до 80 (у воды) и зависит, в основном, от процентного содержания воды и от минералогического состава породы. У магматических пород ε меняется от 5 до 12 единиц, у осадочных - от 2-3 (у сухой) до 16-40 (у полностью насыщенной водой породы). Магнитная проницаемость громадного большинства пород равна магнитной проницаемости воздуха. Лишь у ферромагнетиков относительная магнитная проницаемость может возрастать до 10 единиц (geo.web.ru)


## 3.4 Применение электроразведки при решении различных задач

В геологии:

При поисках и разведке черных металлов используют комплекс геофизических методов, среди которых основными являются методы магнито - и гравиразведки, а методы электро- и сейсморазведки носят вспомогательный характер. Месторождения черных металлов по условиям образования весьма разнообразны, а слагающие их руды обладают различными физическими свойствами. Например, магнетитовые рудные тела характеризуются высокими значениями магнитной восприимчивости, плотности и электропроводности. Поэтому, прежде всего для их поисков и разведки следует применять магниторазведку. Эффективному применению гравиразведки способствует большая плотность железных руд по сравнению с рудовмещающими породами. Значение методов электроразведки существенно повышается при поисках слабомагнитных буро-железистых месторождений в осадочных породах и коре выветривания. В качестве примера рассмотрим результаты применения магнито- и электроразведки на контактово-метасоматическом месторождении в Горной Шории (рис.3.). Рудные тела столбообразной формы, содержащие магнетит, приурочены здесь к сланцевой толще, прорванной мелкими штоками порфиритов и сиенитов. На одном из профилей наблюдений рудное тело уверенно фиксируется повышенными значениями вертикальной составляющей аномального магнитного поля, кажущейся поляризуемости (ηк) и пониженными значениями кажущегося сопротивления (ρк).

Рис.3. Графики Za, ηк и ρк на железорудном месторождении (по А.З.Горину): 1 - сланцевая толща, 2 - порфириты, 3 - сиениты, 4 - магнетитовая руда (http://images.astronet.ru/pubd/2001/11/29/0001173324/fig4-2.gif).

В археологии:

Из всех геофизических методов при археологических исследованиях наиболее широко применяется электроразведка. Этому благоприятствует заметная дифференциация археологических объектов (каменных стен, траншей, могильных камер, металлических изделий, шлаков, углей и т.д.) и рыхлых вмещающих образований по электрическим свойствам. Обычно с помощью методов электроразведки решаются задачи:

1. картирование древних рвов, дамб, горных выработок;
2. поиски и разведка могильников и некрополей;
3. исследование древних городов и поселений.

Рассмотрим пример изучения археологических памятников с помощью геофизических методов, полученный геофизической группой геологического факультета МГУ. Работы на некрополе Херсона (г. Севастополь) сводились к выработке оптимальной методики поиска склепов и их картированию на некрополе, занимающем склоны Песочной балки. Исследования в основном выполнялись электроразведкой методом симметричного профилирования. Из выявленных аномалий более 100 можно было, разумеется, с разной степенью вероятности, связать со склепами. Источниками некоторых аномалий являлись неровности рельефа и неоднородности, которые исключались по аномалиям малоразностного электропрофилирования. Выявление наиболее вероятностного положения склепов осуществлялось с учетом строения геологического разреза.

Древние строители некрополей вырубали склепы только в определенных геологических горизонтах: рыхлых известняках, снизу и сверху ограниченных тонкими слоями очень крепких, перекристаллизованных известняков. На рис.4. приведены результаты электропрофилирования по одному из профилей. Повышенными значениями кажущихся сопротивлений (ρк) выделяются склепы в рыхлых известняках. К сожалению, не все аномалии ρк оказывались над склепами (geo.web.ru).

Рис. 4. Схема строения склона Песочной балки со склепами и идеализированный график электропроводности в крест склону: 1 - почвенный слой (ρк = 30-70 Ом\*м); 2 - прослой плотных известняков (ρк = 300-600 Ом\*м); 3 - рыхлые обломочные известняки (ρк = 20-50 Ом\*м); 4 – склепы (http://images.geo.web.ru/pubd/2001/11/05/0001161637/fig5-13.gif)

В инженерных изысканиях:

Обследование автомобильных дорог при помощи метода георадиолокации.

При эксплуатации, ремонте и реконструкции автомобильных дорог возникают вопросы, связанные с изучением строения земляного полотна и прогноза его состояния.

В частности:

1) изучение строения конструктивных слоев дорожной одежды;

2) изучение состояния подстилающих (коренных) грунтов:

3) картирование подземных коммуникаций.

Признанными достоинствами геофизических методов являются: применение неразрушающих, бесконтактных, способов получения информации, высокая технологичность и относительно низкая стоимость. Использование современных геофизических технологий: новейших аппаратурных разработок, соответствующих методик и программного обеспечения, а так же привлечение данных бурения позволяет получать надежное решение поставленных задач. Георадиолокация широко распространена в строительных и инженерно-геологических фирмах большинства высокоразвитых стран, таких как Россия, США, Канада, Швеция, Корея и др. Метод георадиолокации базируется на изучении поля высокочастотных электромагнитных волн (используются частоты от первых десятков МГц до первых единиц ГГц). В основе метода лежит различие горных пород по диэлектрической проницаемости. Излучаемый импульс, распространяясь в обследуемой среде или объекте, отражается от границ, на которых меняются электрические свойства - электропроводность и диэлектрическая проницаемость. Отраженный сигнал принимается приемной антенной, усиливается, преобразуется в цифровой вид и запоминается. Достоинством метода является высокая производительность и высокая разрешающая способность, как в плане, так и по глубине. Глубинность исследования - от первых десятков сантиметров до первых десятков метров.

На рис.5. представлены фрагмент радарограммы, полученный по профилю вдоль автомобильной дороги. При интерпретации радарограммы были определены мощности искусственного покрытия и конструктивных слоев дорожной одежды. Привязка по глубине осуществлялась по результатам ближайшей скважины.

Рис.5. Строение участка дорожной насыпи с водопропускной трубой по георадиолокационным данным: вверху - радарограмма с результатами интерпретации; внизу - геологический разрез (http://www.logsys.ru/imgl/st001\_p004.jpg) .

На радарограмме в верхней части разреза достаточно четко выделяются две отражающие границы. Они соответствуют подошвам асфальтобетона и гравийно-щебеночного слоя. Толщина асфальтобетона колеблется от 6 до 13 см, мощность щебня колеблется от 15 до 40 см. Ниже залегает слой песка, мощность его достигает 50 см. Песок подстилается супесью и суглинком. Нижняя граница суглинка является границей раздела между насыпными и коренными отложениями. В основании насыпи находится плотная глина. Профиль пересекает водопропускную трубу. Над осью трубы происходит смена покрытия (до пересечения оси трубы асфальтобетон перекрыт сверху песчано-гравийной смесью (ПГС)). По обе стороны от трубы наблюдаются просадки в теле насыпи. Непосредственно над трубой наблюдается увеличение мощности слоев слоя супеси, возможно, здесь насыпали дополнительно грунт после закладки трубы.

# Глава 4. Современные методы и средства исследований

На данный момент существует 3 различных метода электроразведки:

1. Электромагнитное зондирование
2. Электромагнитное профилирование
3. Подземно-скважинные методы

К электромагнитным зондированиям (ЭМЗ) относится наиболее информативная и трудоемкая группа методов электроразведки. В ЭМЗ используемые поля, аппаратура, методика, включающая способы проведения работ, выбор установок и систем наблюдений, направленных на то, чтобы получить информацию об изменении электромагнитных свойств (чаще это УЭС) с глубиной. С этой целью на каждой точке ЭМЗ, точнее, на изучаемом участке за счет геометрии установок или *скин-эффекта* добиваются постепенного увеличения глубинности разведки. В дистанционных (геометрических) зондированиях, проводимых на постоянном или на переменном токе фиксированной частоты или постоянном времени становления поля, постепенно увеличивается расстояние между питающими и приемными линиями (разнос - r). *Скин-эффект* используется в методах с фиксированным разносом, а увеличение глубинности достигается возрастанием периода гармонических колебаний (T) или времени изучения становления поля (переходного процесса) в среде (t). Используются и оба способа изменения глубинности. Для зондирований применяются одноканальные и многоканальные приборы или электроразведочные станции. Определяемые в результате зондирований амплитуды и фазы электрических (E) или магнитных (H) компонент поля или кажущиеся сопротивления (КС) для разных параметров глубинности (ПГ) характеризуют изменение геоэлектрического разреза с глубиной. За параметры глубинности принимаются r, , . В результате ЭМЗ строятся кривые зондирований, т.е. графики зависимостей кажущихся сопротивлений от параметров глубинности. Теория и практика электромагнитных зондирований хорошо разработаны для одномерных горизонтально слоистых моделей сред. Поэтому зондирования чаще всего проводятся при изучении горизонтально и полого залегающих (углы падения меньше 10° - 15°) разрезов. В результате количественной интерпретации кривых ЭМЗ получаются послойные или обобщенные геометрические и электрические свойства слоев или толщ. По совокупности профильных или площадных зондирований строятся геоэлектрические разрезы (по вертикали откладываются мощности слоев или пачек слоев, а в их центрах проставляются электрические свойства слоев) или карты тех или иных параметров этих разрезов. Электромагнитные зондирования используются для решения широкого круга задач, связанных с расчленением по электромагнитным свойствам пологослоистых геологических разрезов. Они применяются для глубинных, структурных исследований, поисков и разведки полезных ископаемых, детальных инженерно-геологических, мерзлотно-гляциологических, гидрогеологических, почвенно-мелиоративных и экологических исследований (astronet.ru)

К электромагнитным профилированиям (ЭМП) относится большая группа ускоренных методов электроразведки, в которых методика и техника наблюдений направлены на то, чтобы в каждой точке профиля получить информацию об электромагнитных свойствах среды примерно на одинаковой глубине. Для этого выбираются постоянные или мало меняющиеся разносы между питающими или приемными линиями (r), а также изучаемые частоты (f) или времена (t) переходного процесса. Выбор глубинности, точнее интервала глубин изучения геологического разреза, а значит r, f, t , зависит от решаемых задач и геоэлектрических условий. Он обычно производится опытным путем по данным ЭМЗ или ЭМП с разными глубинностями и должен обеспечить получение максимальных аномалий наблюденных или расчетных (например, кажущихся сопротивлений) параметров вдоль профилей или на площадях исследований. Если зондирования предназначены для изучения горизонтально или полого залегающих слоев в вертикальном направлении, то профилирования служат для выявления неоднородностей в горизонтальном направлении. В результате ЭМП строятся: графики (по горизонтали откладываются пикеты (или точки наблюдения), по вертикали - наблюденные или расчетные параметры); карты графиков (на карте выносятся профили, перпендикулярно которым выстраиваются графики); карты (на карте проставляются точки наблюдений, около них записываются значения параметров и проводятся изолинии). Теория электромагнитных профилирований построена на математическом и физическом моделировании горизонтально-неоднородных физико-геологических моделей (двухмерных и трехмерных). В результате интерпретации материалов ЭМП выявляются аномальные по электромагнитным свойствам участки.

Электромагнитные профилирования применяются для решения разнообразных геологических задач, связанных с картированием крутозалегающих (углы падения больше 10° - 20°) осадочных, магматических, метаморфических толщ, поисками и разведкой полезных ископаемых на глубинах до 500 м. Они используются при рекогносцировочных инженерно-геологических, мерзлотно-гляциологических, гидрогеологических, почвенно-мелиоративных и экологических исследованиях. Множество вариантов ЭМП определяется разнообразием используемых полей, методов и различием электромагнитных свойств горных пород и руд.

Подземно-скважинные методы электроразведки предназначены для изучения пространств между горными выработками, скважинами и земной поверхностью, т.е. для решения геологоразведочных задач в трехмерном объемном пространстве. В них применяются большинство электромагнитных зондирований и профилирований. Однако особенности измерений в горных выработках и скважинах требуют применения специальной аппаратуры, методики, теории и приемов интерпретации. Кроме того, благодаря возбуждению поля вблизи обнаруженных полезных ископаемых увеличиваются аномалии, которые ими обусловлены. Это позволяет выполнять просвечивание массивов горных пород. Подобные объемные исследования повышают глубинность и эффективность электроразведки на этапах детализационных исследований шахт и рудников для добычи твердых полезных ископаемых. Наибольшее применение они находят при разведке рудных месторождений - как при подготовке, так и в ходе их промышленной эксплуатации.

Из-за наличия множества методов электроразведки используются или создаются специально разнообразные комплекты аппаратуры и оборудования. Создаваемые и выпускаемые малосерийные приборы быстро устаревают и непрерывно совершенствуются в направлении увеличения числа одновременно регистрирующих каналов, компьютеризации измерений и обработки информации. Поэтому остановимся лишь на принципах устройства и назначения основных групп приборов. Для изучения небольших глубин (до 500 м) используются переносные приборы и оборудование. Разведка больших глубин (свыше 0,5 км) осуществляется с помощью электроразведочных станций (ЭРС). Ускоренное геологическое картирование и поиск полезных ископаемых на глубинах до 200 м выполняется с помощью аэроэлектроразведочных станций.

Для электроразведки небольших глубин с поверхности Земли и в горных выработках используются различного рода переносная аппаратура и оборудование, состоящие из ряда блоков, общей массой 20 - 100 кг. Переносная генераторно-измерительная аппаратура обычно приспособлена для работ одним-двумя методами. Она чаще всего имеет один-два канала измерения разностей потенциалов. Для работ на постоянном токе и низкой частоте (до 20 Гц) применяются комплекты, состоящие из генератора с аккумуляторным или батарейным питанием и микровольтметра.

При электромагнитных зондированиях больших глубин (до 10 км), когда необходимы мощные источники тока, а также при магнитотеллурических исследованиях применяются различные электроразведочные станции (ЭРС). Они смонтированы на одной или двух грузовых или легковых автомашинах. На одной автомашине, называемой генераторной группой, расположены один или два генератора постоянного тока напряжением до 1000 В при токе до 25 А, работающие от двигателя автомобиля. С помощью тиристорного коммутатора в питающую линию могут передаваться напряжения разных частот от 10-3 до 103 Гц. В генераторной группе установлены приборы для контроля, регулировки, измерения силы тока в питающих линиях. На второй автомашине, называемой измерительной или полевой лабораторией, расположена аппаратура, предназначенная для автоматической регистрации разностей потенциалов в аналоговой или цифровой форме (иногда она переносная). Обычно станции имеют 5 каналов, но иногда больше. В цифровых измерительных станциях имеются приборы для кодирования сигналов в цифровую форму, что обеспечивает возможность обработки информации с помощью персональных компьютеров.

Аэроэлектроразведочные станции - это сложные электронные установки, предназначенные для трех видов аэроэлектроразведки: 1) с наземной генераторной группой, питающей длинный кабель (до 30 км) током силою в несколько ампер, в интервале частот от 0,1 до 1 кГц, и расположенной на самолете или вертолете измерительной лаборатории, которая регистрирует напряженность магнитного поля этого кабеля; 2) односамолетный вариант с генераторной и измерительной установками, смонтированными на одном самолете или вертолете. С помощью петлевой генераторной антенны создается переменное поле, которое измеряется специальным магнитометром, установленным либо на том же летательном аппарате, либо в выносной гондоле; 3) двухсамолетный вариант, когда на одном самолете располагается генераторная группа с петлевой антенной, а на другом - измерительная лаборатория тоже с петлевой антенной.

# Глава 5. Связи с другими научными дисциплинами

Являясь непосредственной частью геофизики, электроразведка тесно связана с геологией, физикой и математикой. Данные дисциплины предоставляют ей теорию, необходимую для решения прямых и обратных задач. С другой стороны, с помощью электроразведки становится возможным разработка новых месторождений, изучение земной коры, а так же некоторых геологических образований (ледники, оползни т.д.) С остальными дисциплинами, такими как: археология, инженерные и гидрогеологические изыскания, экология, эксплуатация магистральных трубопроводов, связь в «противоположном» порядке. Им предоставляются факты (замеры) и модели (профилирование, и т.д.).

Примеры связей электроразведки

Геология:

1)картирование, поиск и прослеживание геологических образований, минимально контрастных по удельному электрическому сопротивлению: разломов, контактов горных пород, тектонических зон дробления, кварцевых жил, околорудных изменений, рудных тел, структурно-литологических комплексов, благоприятных для локализации месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых и т.п.;

2)определение глубины залегания и мощности пологозалегающих пластов горных пород, исследование геологических структур на глубинах до первых десятков - сотен метров (в зависимости от общей геологической обстановки);

3)поиски и оценка запасов месторождений строительных материалов (гравия, песков, глин, известняков и т.д.)

Экология:

1)изучение территорий, загрязненных отходами специфического химического состава, в т. ч. нефтепродуктами;

2)определение зон фильтрации токсичных растворов из накопителей отходов;

3)выбор мест, благоприятных для захоронения токсичных отходов; мониторинг состояния мест захоронений;

Инженерные и гидрогеологические изыскания:

1)обследование участков под все виды строительства, а также выбираемых трасс под прокладку дорог и под строительство гидротехнических сооружений; мониторинг состояния дамб и плотин;

поиск и картирование водоносных пластов и продуктивных мест для организации водоснабжения

поиск, оконтуривание и прослеживание всех видов подземных инженерных сооружений и коммуникаций;

2)картирование и глубинные исследования карстовых образований, оценка устойчивости бортов карьеров и оползневых склонов;

геофизические исследования в зонах возникновения чрезвычайных ситуаций при активизации экзогенных геологических процессов;

Городское хозяйство:

1)прослеживание трасс водопровода, газопровода, канализации, теплотрасс, силовых кабелей и кабелей связи;

2)изучение состояния фундаментов и подвальных помещений зданий;

3)оценка коррозионной активности грунта по результатам электропрофилирования его удельного электрического сопротивления (УЭС);

4) экспрессное определение местоположения локальных дефектов изоляционного покрытия трубопроводов;

# Глава 6. Проводимые исследования по данной теме на ГГФ НГУ и в институтах геологического профиля Новосибирского центра СО РАН

Программа СО РАН: «Теоретическое и экспериментальное изучение электромагнитных полей в сложнопостроенных анизотропных и дисперсных средах с целью повышения геологической информативности современных методов наземной геоэлектрики».

Цель исследований на весь период действия проекта заключается в повышении геологической информативности наземной геоэлектрики.

Проделанная работа в данном направлении:

1. Исследование дисперсных свойств электромагнитных параметров горных пород;
2. Изучение сложной анизотропии электропроводности (Исследование взаимного влияния постоянных и переменных электрических полей);
3. Сформирован информационный банк, включающий математические модели для описания релаксаций вызванной электрической поляризации в ионно-проводящих дисперсных породах, а так же данные по вещественному и минеральному составу и петрофизическим характеристикам поляризующихся сред;
4. Восстановление геоэлектрических моделей сложно построенных объектов в сейсмоактивных районах;
5. Разработка новых видов аппаратуры. http://igp.uiggm.nsc.ru/

В институте геофизики СО РАН была разработана аппаратура электромагнитного сканирования ЭМС:

Данная аппаратура разработана в лаборатории электромагнитных полей и предназначена для малоглубинных (до 10 м) исследований земной коры. Области ее применения:

1. Мониторинг состояния подземных коммуникаций, поиск и локализация источников утечки воды в подземных трубопроводах;
2. Картирование грунтовых вод;
3. Определение местоположения подземных трубопроводов, кабелей, тоннелей;
4. Исследование состояния грунта, определения зон развития трещиноватости, обводнения;
5. Детальные исследования археологических объектов;
6. Мониторинг и детальная диагностика загрязнения почвы горюче-смазочными материалами.

Эти и другие задачи аппаратура ЭМС позволяет решать с поверхности, не нарушая дорожное покрытие.

Комплект аппаратуры представляет собой собственно зонд, находящийся в прочном стеклопластиковом корпусе, и переносной компьютер со специальным программным обеспечением. Общая длинна зонда в рабочем состоянии 2,75 м, в транспортном положении – 1,4 м. Масса около 12 кг.

Аппаратурный комплекс уникален. Некоторые конструкционно-технологические решения, применяемые для его построения, являются запатентованными изобретениями. Комплекс ЭСМ имеет очень высокую помехоустойчивость, что позволяет применять его в городских условиях (Манштейн, 2002г.).

# Заключение

Несмотря на то, что возможно курсовая написана плохо, мне все-таки пришлось перечитать довольно много материала в процессе ее составления. Поэтому я стал гораздо лучше разбираться в разделах разведочной геофизики, не только в электроразведке, усвоив основные идеи и принципы решения прямых и обратных задач. При написании курсовой больших затруднений не возникало, и если бы не ограничения по объему, можно было бы осветить некоторые темы более полно.

# Cловарь основных терминов

***скин-эффект*** - Скин-эффект вызван возникновением вихревых токов в проводящей среде при распространении через нее электромагнитной волны. В результате этого в среде возникают потери энергии, что приводит к уменьшению напряжённостей электрического и магнитного полей и плотности тока, т. е. к затуханию волны. С увеличением частоты переменного тока скин-эффект проявляется все более явно. Формула для расчёта глубины скин-слоя в металле (приближённая):

,

Здесь ρ - Удельное сопротивление, c - скорость света, μm - относительная магнитная проницаемость (равна единице для неферромагнетиков - меди, серебра, ...), ω = 2π \* f.

***корректность задачи*** - Задача называется корректной задачей (или корректно поставленной), если выполнены следующие условия (условия корректности):

1. задача имеет решение при любых допустимых исходных данных (существование решения);
2. каждым исходным данным u соответствует только одно решение (однозначность задачи);
3. решение устойчиво.

***Удельное электрическое сопротивление (УЭС)-*** характеристика способности пород оказывать электрическое сопротивление прохождению тока.

***Электрохимическая активность*** - свойство пород создавать естественные постоянные электрические поля.

***Поляризуемость*** – способность пород накапливать заряд при пропускании тока, а затем разряжаться после отключения этого тока .

***Анизотропность*** - это способность вещества проявлять различные свойства в разных направлениях.

# Список использованной литературы

1. Манштейн А.К. Малоглубинная геофизика: Учеб. пособие по спецкурсу. Новосибирск, Новосиб. гос. ун-т, 2002. 136 с.

2. Электроразведка. Справочник геофизика. В двух книгах / Под ред. Хмелевского В.К., Бондаренко В.М. Книга вторая. М.: «Недра», 1989. 378 с.

3. Якубовский Ю.В., Ляхов Л.Л. Электроразведка. М., «Недра», 1974. 376 с.

4. http://astronet.ru/

5. http://geo.web.ru/

6. http://igp.uiggm.nsc.ru/