В учебном пособии изложены физико-геологические и математические основы, принципы решения прямых и обратных задач, общие сведения о методике, аппаратуре, обработке и интерпретации результатов использования всех геофизических методов для решения инженерно-экологических и множества других задач.

Рассмотрены примеры использования каждого метода и их рационального комплекса при решении прикладных задач экологии, инженерной геологии, гидрологии и т.д.

Предназначен для студентов-экологов, геологов и не только…, а также для научных работников и аспирантов.

Рецензенты:

Э.С.Спиридонов – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ОТУС МГУ ПС МИИТ.

М.С.Клыков – д.т.н., профессор, Дальневосточного Института Экономики и Дальневосточного Института путей сообщения

**0.0. Введение.**

Земля и все ее сферы с окружающим Космосом - открытые, динамичные, нелинейные системы, тесно связанные между собой. Эволюция Вселенной, в том числе Солнца, Земли и других планет Солнечной системы, связана циклическим обменом вещества, энергии, информации между биосферой и Космосом.

**Геофизические методы исследования земной коры** – научный раздел геологии, используемый для изучения: а) континентальной коры от поверхности земли до глубин 35-70 км; б) океанической коры - от 5 до 10 км под дном морей и океанов; в) гидросферы и биосферы, г) физики атмосферы и Космоса.

**Прикладная геофизика** изучает изменение естественных и искусственных физических полей земли и околоземного пространства с помощью специальной геофизической аппаратуры.

Геофизика находится на стыке наук: астрономии, физики, математики, географии, геологии, химии, экологии. Широко использует достижения космонавтики, геодинамики, информатики, электроники, автоматики.

При конструировании геофизической аппаратуры привлекаются инженерные кадры смежных научных направлений: механики, электроники, автоматики, специалисты вычислительной техники, стеклодувы и т.д. Через каждые 5-10 лет происходит обновление геофизической аппаратуры.

Исследует глубинные структуры земной коры на суше и в океанах, полезные ископаемые в осадочном чехле и на больших глубинах.

Цель использования прикладной геофизики состоит в восстановлении строения, состава, истории развития объектов земной коры на основе косвенной информации о физических полях. Отличается от курса «Физика Земли», в котором изучают астеносферу - до 400 км, мантию - до 2900 км, ядро внешнее - до 5100 км, ядро внутреннее - до центра Земли.

**Научно-прикладные разделы геофизики:** а) геофизика воздушной оболочки – изучение атмосферы, метеорологии, климатологии, космоса, в) геофизика водной оболочки – изучение океанов, морей, озер, подземных и поверхностных рек, ледников, вечной мерзлоты, с) разведочная и поисковая геофизика – изучение верхних слоев литосферы для обнаружения полезных ископаемых, д) геофизика других оболочек или сфер Земли - изучение биосферы и техносферы, т.е. частей атмосферы, гидросферы и литосферы, являющихся средой обитания человека и живых организмов, и испытывающих антропогенную и техногенную нагрузку.

**По способу проведения работ выделяются комплексы исследований***:*а) аэрокосмические – дистанционные, б) полевые – наземные, в) акваториальные – океанические, морские, озерные, речные, г) подземные – шахтно-рудничные, д) ГИС – геофизические методы исследования скважин, ядерные методы.

В дистанционных методах используются специализированные самолеты, вертолеты, зонды, ИСЗ, пилотируемые космические корабли и орбитальные станции.

Особое место в геофизике занимают ГИС: исследования очень важны для документации скважин и, в частности, для повышения эффективности использования других прикладных геофизических методов.

**По решаемым задачам**  выделяются следующие прикладные методы и направления геофизики: а) экологические, б) инженерно-геологические, в) гидрогеологические, г) почвенно-мелиоративные, д) мерзлотно-гляциологические, е) разведочные - с целью поисков нефти и газа, рудных и нерудных ископаемых, в том числе, строительных материалов, угля, горючих сланцев, ж) региональные, з) глубинные.

**Экологические, инженерные, геологические задачи***,* решаемые при исследовании земной коры с использованием методов геофизики: а) изучение экологической и геологической среды для промышленного, сельскохозяйственного, гражданского, военного строительства и сохранения экологических функций планеты - источника жизни на Земле, б) изучение состава, строения, состояния пород земной коры, динамики их изменения в условиях земных недр, в) изучение физических свойств горных пород в естественном залегании и в лабораторных условиях, г) выявление месторождений полезных ископаемых, д) реализация различных геодезических задач.

Основой для решения перечисленных задач является изучение изменения искусственных и естественных физических полей Земли. Результатом этого изучения является обнаружение возмущающих объектов и выявление их геометрии. По физическим свойствам горных пород выясняется геологическая природа обнаруженных объектов.

**В курсе «Геофизика - для экологов, геологов и не только….»** излагаются: а) физические свойства горных пород; б) физические, математические, аппаратурные, методические, интерпретационные основы геофизических методов - гравиразведки, магниторазведки, электроразведки, сейсморазведки, терморазведки, ядерной геофизики и геофизических методов исследований скважин; в) основные области их применения при исследованиях земной коры и решении поисковых, инженерных и экологических задач.

**Сведения о каждом методе включают знакомство с разделами:** а) физические и математические основы метода, б) методика съемки, в) методика обработки данных, г) простые и сложные методы интерпретации результатов, д) используемая аппаратура, е) оценка различного вида погрешностей.

* 1. **Краткая характеристика физических полей Земли,**

**и природных законов, используемых при их изучении.**

**Гравитационное поле** характеризуется ускорением свободного падения (силой тяжести) -  и его градиентами  и т.д. Гравитационное поле зависит от изменения плотности горных пород (σ) по разрезу. Используемый физический закон – закон всемирного тяготения Ньютона.

**Магнитное поле** характеризуется полным вектором напряженности () и его элементами по координатным осям:  – вертикальной составляющей, Н - горизонтальной составляющей по двум координатным осям (Нх и Ну), и др. Магнитное поле зависит от магнитной восприимчивости () и остаточной намагниченности () горных пород. Используемый физический закон – кулоновский закон взаимодействия зарядов.

**Электромагнитное поле**  характеризуется вектором магнитной () и электромагнитной () составляющей напряженности магнитного и электрического полей. Электрическое или электромагнитное поле зависит от удельного электрического сопротивления (), диэлектрической () и магнитной () проницаемостей; электрохимической активности (), поляризуемости () горных пород. Используемые физические законы – закон Ома для постоянного тока и законы электродинамики для переменного тока.

**Сейсмическое упругое поле** характеризуется скоростями () распространения упругих волн. Упругое поле зависит от скорости распространения () и затухания () волн, а эти параметры в свою очередь зависят от плотности и упругих констант (модуля Юнга - , коэффициента Пуассона () и т.д.). Используемые физические законы – законы деформации тел под воздействием нагрузки – законы Гука, Юнга и Пуассона, законы Гюйгенса и Ферми – законы геометрической оптики и сейсмики.

**Термическое поле***:* характеризуется изменением температуры по вертикали и горизонтали (). Термическое поле зависит от теплопроводности (), теплоемкости () горных пород и т.д. Используемые физические законы – законы термодинамики при изменении температуры по вертикали и горизонтали на земной поверхности.

**Ядерно-физическое поле** характеризуется интенсивностями естественных () и искусственно-вызванных () гамма-и нейтронных излучений. Ядерно-физические поля зависят от естественной радиоактивности, гамма-лучевых, нейтронных свойств горных пород. Используемые физические законы – законы естественной и искусственной радиоактивности горных пород.

Возможность проведения геолого-геофизической разведки по исследованию изменения физических полей Земли определена неравномерным распределением параметров этих полей во всех сферах Земли. Это распределение зависит не только от происхождения естественных или искусственных полей, но и от литолого-петрографического состава пород, геометрических неоднородностей земной коры, создающих аномальные поля.

**Аномалия** – это отклонение измеренного физического параметра от нормального поля Земли. Нормальное поле – это поле над условно однородным полупространством, над границей раздела земля-воздух.

Причины образования аномалий:а) источник аномалий или объект поисков сам создает поле в силу естественных причин, б) источник аномалий искажает нормальное поле в силу различных физических свойств пород.

Интенсивность аномалий определяется контрастностью физических свойств, глубиной объекта, уровнем помех.

Выявление аномалий - сложная техническая и математическая проблема. Это связано с интерференцией – сложением в пространстве двух или более волн, и суперпозицией - наложением полей, со сложными и нелинейными взаимодействиями между ними.

**Физические параметры полей измеряются***:* по системам параллельных профилей, по маршрутам, по площадям. Выявив аномалии и проведя их интерпретацию, получаем объяснение причин, сведения о свойствах пород и геологическом строении исследуемого района.

Физические свойства пород меняются часто в очень широких пределах: например, плотность (σ) - от 1 до 6 г/см3, удельное электрическое сопротивление - от 0.001 до 1015 Омм и т. д. Одна и та же порода может в условиях земных недр характеризоваться разными свойствами, а разные породы могут не отличаться по ряду физических свойств. Причины подобных кажущихся противоречий – различные, зависят от конкретных ситуаций.

**Геологические и геохимические методы** являются прямыми методами близкого действия и включают изучение минерального, петрографического, геохимического состава пород по вскрытым выработкам.

**Геофизические методы** - методы косвенного, дальнего действия. Обеспечивают равномерность исследований по площади, дают представление об объемном характере изменения физических полей с теоретически неограниченной глубинностью исследования.

Производительность геофизических работ по сравнению с геологическими и геохимическими поисками - выше, стоимость - в несколько раз ниже по сравнению с теми же методами, в частности, с проходкой и изучением неглубоких скважин - до 100 м глубиной, в сотни раз меньше по сравнению с проходкой и изучением глубоких скважин - свыше 1 км.

Использование геофизических методов повышает геологическую и экономическую эффективность изучения недр, является важным направлением ускорения научно-технического прогресса в инженерной геологии и экологии, гидрогеологии и горном деле.

Теория геофизики - физико-математическая, точная, а не описательная, в отличие от геологии.

Геофизические методы, базируясь на геологии, геохимии, географии и других научных дисциплинах, выполняют в первую очередь задачи геологические. Далее по значимости идут задачи экологические, инженерные, гидрогеологические, геодезические..

По статистике бюджетного финансирования и кадровой политики в геологоразведке наблюдается следующая картина: 1/3 денег от общего объема финансирования выделяется на геофизику, 1/4 специалистов от общего объема кадрового состава работает в геофизических партиях.

В каждом методе геофизики решаются прямые и обратные задачи - определение параметров физического поля по физическим свойствам пород, размерам и формам объектов – в первом случае; определение физических свойств пород, размеров и формы объекта по наблюденным физическим полям – во втором случае.

Решение прямых задач дает обычно однозначный ответ, решение обратных задач дает часто неоднозначный ответ, т.е. обладает свойством некорректности.

Интерпретация данных полевых наблюдений подразделяется на качественную и количественную. **Качественная интерпретация** – это визуальное описание карт, графиков, профилей, определение интенсивности аномалий, амплитуды, смены знаков, выделение зон со сходными характеристиками. **Количественная интерпретация** – это выяснение геологической природы геофизических аномалий, глубин, геометрии и других параметров возмущающих объектов.

Методикой работ предусмотрены профильная, маршрутная и площадная съемки, различная густота сети измерений в зависимости от поставленных задач, масштабов съемки, размеров и глубины залегания возмущающих объектов.

Результаты полевых и лабораторных наблюдений представляются в виде графиков, карт и схем измеряемых параметров физических полей.

На начальном этапе проводится визуальное выделение аномалий и попытка их физико-математического и геологического истолкования. Дальнейшая обработка данных включает использование как стандартных методик интерпретации, так и привлечение различных трансформаций - пересчетов наблюденных полей в верхнее и нижнее полупространства на различные высоты и глубины.

В геофизике широко используется математическое моделирование с использованием методов математической статистики, теории вероятностей, математического анализа, теории дифференциального и интегрального исчисления и других сложных разделов современного математического аппарата на базе современных электронных вычислительных систем (ЭВС).

Физико-математическая и геологическая интерпретация строится на базе физико-геологических моделей (ФГМ) методами последовательных приближений (МПП) к реальному объекту.

Сущность интерпретации заключается в аппроксимации объектов различными телами простой формы - шаром, столбом, цилиндром, пластом и т.д., или телами сложной формы - слоями, наклонными пластами и т.д.

Для выбранных простых или сложных тел решаются прямые задачи, теоретические расчетные данные сравниваются с наблюденными. Меняя параметры, снова решают прямые задачи, чтобы получить минимум расхождения расчетных и наблюденных полей.

Полученные в результате расчетов ФГМ (физико-геологические модели) представляют наиболее вероятные результаты интерпретации.

При значительных расхождениях наблюденных и расчетных данных привлекаются дополнительные материалы по другим методам, т.е. проводится комплексная интерпретация с использованием нескольких методов геофизики и геологии.

Хорошее знание геологии района – первый шаг к правильным результатам. Совместная работа всех специалистов - геологов и геофизиков на этапе интерпретации – следующий шаг к повышению эффективности и качества интерпретации. Далее, для повышения эффективности исследований применяется как комплексирование самих методов геофизики, так и комплексирование с другими геологическими и геохимическими методами.

Используемый порядок работы – сначала применяют легкие и простые методы, затем - сложные и дорогие методы, сначала используют мелкие масштабы, затем, при детализации - крупные масштабы.

Конечная цель комплексной интерпретации – получить однозначные результаты.