

Федеральное агентство по образованию  
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГОУВПО «АмГУ»

Утверждаю  
Зав. каф. ГиП  
\_\_\_\_\_ Т.В.Кезина  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2009 г.

«Геофизические методы поисков и разведки  
месторождений полезных ископаемых»

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

для специальности 130301 очной формы обучения  
«Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных  
ископаемых»

Составитель: Носырев М. Ю., доцент каф. ГиП, к.г.-м.н.

Благовещенск 2009 г.

*Печатается по  
решению редакционно-  
издательского совета Амурского  
государственного  
университета*

М.Ю. Носырев

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых» для студентов очной формы обучения специальности 130301 «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых»

## СОДЕРЖАНИЕ

1.1 . Программа дисциплины .....	4
2.1.2. Рабочая программа дисциплины.....	5
2.1.3. Самостоятельная учебная работа студентов.....	12
2.1.4. Методические рекомендации по проведению практических (лабораторных) занятий.....	13
2.1.5. План-конспект лекций по дисциплине.....	13
Введение в дисциплину.....	13
Гравитационная разведка.....	15
Магнитная разведка.....	22
Электрическая разведка.....	30
Сейсмическая разведка .....	43
Радиометрия и ядерная геофизика.....	57
Термическая разведка.....	69
Геофизические методы исследования скважин.....	75
Геологические задачи, решаемые с помощью геофизических методов.....	84
Организация геофизических работ в России, странах СНГ, других странах мира.....	87
Словарь геофизических терминов.....	90
2.1.7. Методические указания по выполнению курсовых проектов.....	92
2.1.8. Методические указания по проведению лабораторных работ.....	92
2.1.9. Методические указания к практическим и семинарским занятиям.....	92
2.1.10. Методические указания по выполнению домашних заданий и контрольных работ.....	92
2.1.11. Перечень программных продуктов используемых в практической деятельности выпускников.....	92
2.1.13. Методические указания профессорско-преподавательскому составу по организации межсессионного и экзаменационного контроля знаний студентов.....	92
2.1.14. Комплекты заданий для лабораторных работ, контрольных работ, домашних заданий.....	93
2.1.16. Комплекты экзаменационных билетов для экзамена .....	94
2.1.17. Карта обеспеченности дисциплины кадрами профессорско-преподавательского состава.....	96

## 1.1 ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### ««Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых»»

**Образовательный стандарт.** Виды геофизических полей; этапы геофизических исследований; основы магниторазведки, гравиразведки, электроразведки, сейсморазведки; ядерно-геофизические методы; геофизические исследования в скважинах; комплексирование геофизических методов; этапы геофизических исследований; использование геофизических методов при геологическом картировании, поисках и разведке месторождений полезных ископаемых, гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях; неоднозначность решения обратной геофизической задачи геофизики; основные приемы качественной и количественной интерпретации; геологический контроль; способы интерпретации данных магниторазведки, гравиразведки, электроразведки; интерпретация геофизических данных при решении конкретных геологических задач в областях развития пологозалегающих осадочных комплексов, вулканических образований, интрузивных тел, складчатых и разрывных структур, при поисках и разведке полезных ископаемых.

**Цель дисциплины:** - дать студентам определенные знания о всех геофизических методах исследований (гравиметрических, геомагнитных, электромагнитных, тепловых, сейсмических, ядерных); понимание исходных физических законов, лежащих в основе теории этих методов; приобретение навыков использования методов геофизики при изучении специальных геологических предметов и курсов по интерпретации геофизических данных на старших курсах.

**Содержание дисциплины.** Все многообразие тем дисциплины сведено в 16 составных частей «Геофизических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых» (Тематический план лекций), основу которых составляет последовательное изучение различных видов геофизических исследований, физических основ и методических особенностей их выполнения, приемов геологической интерпретации геофизических данных.

Дисциплина «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых» включает в себя разделы:

Темы	Лекц.	Практ.
1. Введение в дисциплину «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых»	2	
2. Гравитационная разведка	3	2
3. Магнитная разведка.	3	2
4. Электрическая разведка.	6	6
5. Сейсмическая разведка.	3	2
6. Радиометрия и ядерная геофизика.	4	4
7. Термическая разведка.	1	2
8. Геофизические методы исследования скважин.	4	6
9. Геологические задачи, решаемые с помощью геофизических методов исследования.	4	6
10. Организация геофизических работ в России, странах СНГ, других странах мира.	1	
Итого, часов	30	30

## **2.1.2. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых»**

### **1. Введение.**

Место общей и прикладной геофизики среди других фундаментальных и прикладных наук. Физическая, технологическая, прикладная классификации геофизических методов исследований. Виды геофизических полей, роль единства и взаимозависимости физических полей и геологической обстановки как основы комплексирования, взаимопроникновения наук о Земле и научной организации геологических работ.

### **2. Гравитационная разведка.**

2.1. Определение и сущность гравитационной разведки. Понятия: силы тяжести, потенциала, его производных, уровенной поверхности, геоида, нормальной формулы, редукций и аномалий силы тяжести.

2.2. Плотность горных пород, полезных ископаемых и методы ее измерения.

2.3. Физические принципы устройства гравиметров, гравитационных вариометров и градиентометров.

- 2.4. Методика гравиразведки: наземные, морские и подземные съемки.
- 2.5. Аналитические методы решения прямых и обратных задач гравитационного поля для тел простой геометрической формы.
- 2.6. Качественная и количественная интерпретация данных гравиразведки. Принципы интерпретации и геологическое истолкование гравитационных аномалий.
- 2.7. Области применения гравиразведки. Применение гравиразведки для изучения земной коры и верхней мантии, региональных съемок, при поисках и разведке нефтегазоносных структур и месторождений других полезных ископаемых.

### **3. Магнитная разведка.**

- 3.1. Определение и сущность магнитной разведки. Магнитное поле Земли, особенности его строения и происхождения, изменения во времени. Нормальное и аномальное магнитные поля.
- 3.2. Магнитные свойства горных пород и руд, методы их измерения.
- 3.3. Физические принципы построения чувствительных систем приборов для измерения напряженности геомагнитного поля. Аппаратура для наземной, воздушной и гидромагнитной съемок.
- 3.4. Методика воздушной, морской и наземной магнитных съемок.
- 3.5. Аналитические методы решения прямых и обратных задач магниторазведки для тел простой геометрической формы.
- 3.6. Качественная и количественная интерпретация данных магниторазведки. Интерпретация магнитных аномалий и их геологическое истолкование.
- 3.7. Области применения магниторазведки. Общая магнитная съемка Земли и палеомагнитные исследования. Применение магниторазведки для выяснения внутреннего строения земной коры, при региональных, структурных исследованиях, геологической съемке, поисках и разведке железорудных и других полезных ископаемых.

#### **4. Электрическая разведка.**

4.1. Определение, сущность и классификация методов электроразведки.

4.2. Общие сведения об изучаемых в электроразведке полях: естественных и искусственных, постоянных и переменных, установившихся и неуставившихся. Принципы решения прямых и обратных задач. Нормальные и аномальные поля.

4.3. Электромагнитные свойства горных пород и руд, методы их измерения.

4.4. Аппаратура и оборудование для электроразведки. Переносные приборы. Электроразведочные станции.

4.5. Сущность следующих основных методов электроразведки, методика и техника работ, особенности интерпретации и решаемых задач.

4.5.1. Методы естественного электрического (постоянного - ЕП и переменного - ПЕЭП) и магнитного (переменного - ПЕМП) поля.

4.5.2. Вертикальные и дипольные электрические зондирования (ВЭЗ и ДЗ), методы электропрофилеирования по сопротивлению (ЭП) и вызванной поляризации (ВП).

4.5.3. Методы низкочастотного профилирования (НЧМ): длинного кабеля (ДК), незаземленной петли (НП), дипольного индуктивного (ДИП) в гармоническом и неуставившемся (импульсном, переходном) режимах.

4.5.4. Методы электромагнитных зондирований (ЭМЗ) естественными (магнитотеллурическими) и искусственными (управляемыми) полями.

4.5.5. Высокочастотные и сверхвысокочастотные методы профилирования.

4.5.6. Подземные и геоэлектрохимические методы электроразведки.

#### **5. Сейсмическая разведка.**

5.1. Определение и сущность сейсморазведки. Классификация методов сейсморазведки.

5.2. Физические основы сейсморазведки. Основы теории упругости, геометрической сеймики и сейсмоэлектрических явлений.

5.3. Типы сейсмических волн. Отражение, преломление, дифракция, рефракция упругих волн. Сейсмические среды, границы и скорости упругих волн.

5.4. Сейсмические и сейсмоэлектрические свойства горных пород, их зависимость от различных природных факторов.

5.5. Принципы устройства сейсморазведочной аппаратуры. Понятия каналов записи и воспроизведения. Типы полевых сейсморазведочных станций.

5.6. Метод отраженных волн (МОВ). Уравнение годографа волны, отраженной от плоского наклонного контакта. система наблюдений МОВ. Интерпретация данных МОВ.

5.7. Интерференционные системы. Группирование. Метод общей глубинной точки (МОГТ).

5.8. Метод преломленных волн (МПВ). Уравнение годографа. Системы наблюдений в МПВ. Интерпретация данных МПВ.

5.9. Области применения сейсморазведки. Роль глубинных сейсмических зондирований и профилирований в изучении оболочек Земли. Применение сейсморазведки в региональной геологии при поисках и разведке нефтегазоносных структур, сейсмостратиграфии и прогнозировании геологических разрезов. Особенности рудной сейсморазведки. Применение сейсмических и сейсмоакустических методов при инженерно-геологических и гидрогеологических изысканиях.

5.10. Сейсмоэлектрические методы (СЭМ). Пьезоэлектрический метод (ПЭМ) и метод сейсмоэлектрических потенциалов (МСЭП). Наземные и подземные варианты этих методов для поисков пьезоэлектрического сырья и решения некоторых инженерно-гидрогеологических задач.

## **6. Радиометрия и ядерная геофизика.**

6.1. Характеристика и классификация методов геофизики.



6.2. Общие сведения о радиоактивности. Состав, энергия и взаимодействие радиоактивных излучений с веществом. Радиоактивность руд, горных пород, природных вод, почвенного воздуха и атмосферы.

6.3. Аппаратура для измерения радиоактивности. Газонаполненные и сцинтилляционные счетчики. Аэро- и авторadiометры. Полевые радиометры и эманометры.

6.4. Радиометрические методы разведки. Воздушные, наземные, автомобильные, пешеходные и глубинные гамма-съемки. Эманационная съемка.

6.5. Нейтронные и гамма-лучевые свойства горных пород. Ядерно-физические методы исследования с целью их поэлементного анализа. Нейтронные методы. Гамма-гамма методы.

## **7. Термическая разведка.**

7.1. Общая характеристика разных методов терморазведки.

7.2. Тепловое поле Земли. Региональные тепловые потоки в океанах, на континентах, их природа. Тепловые свойства горных пород.

7.3. Аппаратура для геотермических исследований. Термометры и тепловизоры.

7.4. Воздушная съемка Земли в инфракрасных и ультрафиолетовых лучах. Измерения температур на дне акваторий и в горных выработках.

7.5. Региональные, поисково-разведочные и инженерно-гидрологические термические исследования.

## **8. Геофизические методы исследования скважин.**

8.1. Классификация методов геофизических исследований в скважинах (ГИС) или каротажа.

8.2. Аппаратура для скважинных геофизических исследований.

8.3. Сущность, методика и решаемые задачи для следующих методов ГИС.

8.3.1. Электрические методы исследования скважин. (ПС, КС, БКЗ, ВП, ИК, ДК и др.).

8.3.2. Ядерные исследования в скважинах (ГК, НГК, ННК и др.).

8.3.3. Сейсмоакустические, термический, магнитный, гравитационный методы исследования скважин.

8.3.4. Методы контроля технического состояния скважин. Кавернометрия. Инклинометрия. Перфорация.

8.4. Геологическое истолкование результатов комплексных скважинных геофизических исследований.

## **9. Геологические задачи, решаемые с помощью геофизических методов исследования.**

9.1. Классификация геофизических методов по решаемым геологическим задачам. Принципы комплексирования геофизических, геохимических и геологических методов изучения недр.

9.2. Региональные, глубинные и структурные геофизические исследования в мелких и средних масштабах. Их роль при изучении строения Земли, земной коры, фундамента и осадочного чехла как на суше, так и в океанах.

9.3. Поисково-картировочные геофизические исследования. Комплексирование наземных и аэрокосмических геофизических данных при геологическом картировании и съемках средних и крупных масштабов. Применение геофизических методов при изучении осадочных комплексов, интрузивных тел различного состава, вулканогенных образований, складчатых и разрывных структур.

9.4. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых: нефти, газа, рудных (черные, цветные, редкие, благородные металлы), нерудных полезных ископаемых и угля.

9.5. Изучение геологической среды. Применение геофизических методов в гидрогеологии, инженерной геологии, мерзлотоведении, гляциологии, мелиорации, при экологических и техногенных исследованиях.

## 10. Организация геофизических работ в России, странах СНГ, других странах мира.

10.1 Роль и место геофизических исследований в общем комплексе геологических работ. Масштабы и точности применяемых геофизических съемок. Последовательность геофизических работ. Опережающие и сопровождающие геофизические исследования. Проектирование геофизических работ, определение стоимости геофизических работ.

10.2. Структура геофизической службы в Российской Федерации и ряде зарубежных стран. Государственная геофизическая служба. Частные специализированные геофизические компании. Научное обеспечение геофизических исследований.

10.3. Мировой рынок геофизических услуг, его структура и организация, объемы выполняемых работ, стоимости по видам геофизических исследований применительно к видам полезных ископаемых.

### Основные критерии оценки знаний студентов

Оценка	Полнота, системность, прочность знаний	Обобщенность знаний
5	Изложение полученных знаний в устной, письменной или графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются единичные несущественные ошибки, самостоятельно исправляемые студентами	Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявление причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений; свободное оперирование известными фактами и сведениями с использованием сведений из других предметов
4	Изложение полученных знаний в устной, письменной и графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются отдельные несущественные ошибки, исправляемые студентами после указания преподавателя на них	Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявлений причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений, в которых могут быть отдельные несущественные ошибки; подтверждение изученного известными фактами и сведениями
3	Изложение полученных знаний неполное, однако это не препятствует усвоению последующего программного материала; допускаются отдельные существенные ошибки, исправленные с помощью	Затруднения при выполнении существенных признаков изученного, при выявлении причинно-следственных связей и формулировке выводов

	преподавателя	
2	Изложение учебного материала неполное, бессистемное, что препятствует усвоению последующей учебной информации; существенные ошибки, неисправляемые даже с помощью преподавателя	Бессистемное выделение случайных признаков изученного; неумение производить простейшие операции анализа и синтеза; делать обобщения, выводы

## Рекомендуемая литература по дисциплине

### ОСНОВНАЯ

1. Геофизические методы исследований. / Под ред. Хмелевской В.К.. М.: Недра, 1988.
2. Знаменский В.В. Полевая геофизика. М.: Недра, 1988.
3. Вахромеев Г.С. Основы методологии комплексирования геофизических исследований при поисках рудных месторождений. М.: Недра, 1978. - 152 с.
4. Комплексирование методов разведочной геофизики. М.: Недра, 1984

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. Гринкевич Г.И. Магниторазведка: Учебник для техникумов. М.: Недра, 1987.
2. Итенберг С.С. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин. М.: Недра, 1987.
3. Никитин А.А. Теоретические основы обработки геофизической информации. Учебник для ВУЗов и СТУЗов. М.: Недра, 1986.

### Средства обеспечения освоения дисциплины.

1. Плакаты, кинофильмы, диапозитивы.
2. Работа с геофизическими приборами

### 2.1.3. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ УЧЕБНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

На самостоятельную работу студентов **отводится 38 часов**. Эта работа осуществляется путем изучения основной и дополнительной литературы (см. список в конце программы), написанием рефератов по заданным темам, а

также дополнительными занятиями с геофизическими и геологическими картами и разрезами. Кроме того, осуществляется поиск в «Интернете» новых данных по изучаемым разделам.

#### **2.1.4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ (ЛАБОРАТОРНЫХ) ЗАНЯТИЙ**

На практические (лабораторные) занятия отводится 30 часов.

Практические (лабораторные) занятия проводятся в учебных аудиториях. Основная часть отведенного времени посвящается решению задач, которые позволяют студентам приобрести навыки обработки и геологической интерпретации геофизических данных при поисках различных полезных ископаемых.

Задания к практическим (лабораторным) работам выдаются преподавателем согласно рабочей программы дисциплины.

Для лабораторных занятий обязательным является изучение принципов измерения геофизических полей и основных приборов, используемых для этого, процессов обработки измеряемых геофизических параметров и основ интерпретации геофизических данных. Закрепление лекционного курса требует проведения занятий по наиболее важным разделам "Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых.

#### **2.1.5. ПЛАН-КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

##### **«Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых»**

Геофизика - наука, изучающая Землю и околоземное пространство с помощью естественных и искусственных физических полей

Хотя иногда геофизику отождествляют с Физикой Земли, однако последняя наука изучает лишь Землю, как планету и ее оболочки: каменную - литосферу, мощностью порядка 100 км, астеносферу, простирающуюся до глубин 400 км, мантию - до глубин 2900 км, ядро внешнее (до глубин 5100 км) и внутренне (до центра Земли). Глобальная геофизика как обобщающая

фундаментальная наука включает не только Физику Земли, но и геофизику космоса и атмосферы, гидросферы, а также науки, изучающие конкретные физические поля Земли: гравиметрию, магнитометрию, геоэлектрику, сейсмологию, сейсмометрию, термометрию, ядерную геофизику. Из этих фундаментальных геофизических наук выделяются научно-прикладные разделы. Так, геофизика воздушной оболочки включает физику космоса и атмосферы, метеорологию, климатологию и др. Геофизика водной оболочки (гидросферы) состоит из гидрофизики, океанологии, физики моря, лимнологии (изучение озер), гидрологии (изучение рек), подземной гидросферы, гляциологии (изучение ледников) и др. Из геофизики литосферы выделились разведочная или прикладная геофизика с методами, имеющими большое практическое значение при поисках и разведке полезных ископаемых и называемыми гравиразведкой, магниторазведкой, электроразведкой, сейсморазведкой, терморазведкой, ядерно-геофизической и геофизические методы исследования скважин (ГИС).

Предметом исследований геофизических методов (прикладной геофизики) являются: глубинные структуры земной коры на суше и океанах (платформенные, геосинклинальные, рифтовые области, океанические впадины и др.), кристаллический фундамент, осадочный чехол, полезные ископаемые в них, верхняя часть земной коры, называемая геологической (геофизической) средой или верхней частью разреза.

Целью прикладной геофизики является восстановление строения, состава, истории развития этих объектов земной коры на основе косвенной информации о физических полях.

Основными задачами геофизических исследований земной коры являются следующие: изучение состава, строения и состояния пород, слагающих земную кору, а также их динамику, выявление полезных ископаемых и изучения геологической среды как основы для промышленного, сельскохозяйственного, гражданского и военного освоения и сохранения ее экологических функций, как источника жизни на Земле путем косвенного изучения физических полей. Формально они сводятся к обнаружению геологических объектов, оценки их геометрии, а по физическим свойствам определение их геологической природы.

По способу проведения работ геофизические исследования подразделяются на следующие технологические комплексы: аэрокосмические (дистанционные), полевые (наземные), акваториальные (или аквальные, океанические, морские, речные), подземные (шахтно-рудничные), геофизические исследования скважин (ГИС). Иногда дистанционные методы изучения Земли с помощью самолетов, вертолетов, искусственных спутников, пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций не считают геофизическими, поскольку при этих работах преобладают съемки в

видимом диапазоне спектра электромагнитных волн (фото- и телевизионные съемки). Однако, кроме таких визуальных наблюдений все чаще используются дистанционные методы невидимого диапазона электромагнитных волн: инфракрасные, радиолокационные (радарная и радиотепловая), радиоволновые, ядерные, магнитные и другие съемки, которые являются сугубо геофизическими.

Таким образом, обобщая сказанное выше, следует повторить, что исследования земной коры (прикладная геофизика) - это многогранная научно-прикладная дисциплина со сложной структурой и разными подходами к классификациям по:

- используемым полям (грави-, магнито-, электро-, сейсмо-, терморазведка и ядерная геофизика),
- технологиям и месту проведения работ (аэрокосмические, полевые, акваториальные, подземные методы и геофизические исследования скважин),
- прикладным направлениям и решаемым задачам (глубинная, региональная, разведочная, инженерная и экологическая геофизика),
- видам деятельности (теоретическая, инструментальная, экспериментальная, вычислительная и интерпретационная геофизика).

Возрастание роли геофизики в связи с увеличением глубин и сложности разведки месторождений ведет не к замене геологических методов геофизическими, а к рациональному их сочетанию, широкому использованию всеми геологами данных геофизики. Единство и взаимодействие геологической и геофизической информации - руководящий методологический принцип комплексирования наук о Земле. Объясняется это тем, что возможности каждого частного метода геологоразведки (геологическая съемка, бурение, проходка выработок, геофизика, геохимическая разведка и др.) ограничены. Однако, в любых условиях геофизика облегчает разведку глубокозалегающих полезных ископаемых, особенно в труднодоступных районах.

## **2. Гравитационная разведка.**

2.1. Определение и сущность гравитационной разведки. Понятия: силы тяжести, потенциала, его производных, уровенной поверхности, геоида, нормальной формулы, редукций и аномалий силы тяжести.

Гравиметрическая или гравитационная разведка (сокращенно гравиразведка) - это геофизический метод исследования земной коры и разведки полезных ископаемых, основанный на изучении распределения аномалий поля силы тяжести Земли вблизи земной поверхности, акваториях, в воздухе. Поле силы

тяжести обусловлено в основном Ньютоновским притяжением Землей всех тел, обладающих массой. Так как Земля сферически неоднородна, да еще вращается, то поле силы тяжести на земной поверхности непостоянно. Изменения эти малы и требуют высоко-чувствительных приборов для их изучения. Основными измеряемыми параметрами гравитационного поля являются ускорение силы тяжести и градиенты (изменения ускорения по разным направлениям). Величины параметров поля силы тяжести зависят, с одной стороны, от причин, обусловленных притяжением и вращением Земли (нормальное поле), а с другой стороны - от неравномерности изменения плотности пород, слагающих земную кору (аномальное поле). Эти две основные причины изменения силы тяжести на Земле послужили основой двух направлений гравиметрии: геодезической гравиметрии и гравитационной разведки.

Силой тяжести ( $F$ ) называют равнодействующую двух сил - силы ньютоновского притяжения всей массой Земли ( $F_n$ ) и центробежной силы, возникающей вследствие суточного вращения Земли ( $P$ ). Отнесенные к единице массы, эти силы характеризуются ускорениями силы тяжести  $g=F/m$ , ньютоновского притяжения  $f=F_n/m$  и центробежным  $P=P/m$ . Ускорение силы тяжести равно геометрической сумме ускорения притяжения и центробежного ускорения (рис. 1.1). Обычно в гравиметрии, когда говорят "сила тяжести", подразумевают именно ускорение силы тяжести.

Нормальным значением силы тяжести ( $\gamma_0$ ) называется сила тяжести, обусловленная суточным вращением и притяжением Земли, в предположении, что она состоит из однородных по плотности концентрических слоев.

Земля - геоид, и нормальные значения силы тяжести для его поверхности рассчитываются по формуле:

$$\gamma_0 = g_0(1 + \beta \sin^2 \varphi - \beta_1 \sin^2 2\varphi + \beta_2 \cos^2 \varphi \cos 2\lambda)$$

где  $\lambda$ - географическая долгота точки наблюдения.

Коэффициенты  $\beta$ ,  $\beta_1$  и  $\beta_2$  зависят от формы Земли, ее угловой скорости вращения, распределения масс. По многочисленным измерениям можно определить эти неизвестные коэффициенты. В настоящее время используется формула, в которой коэффициенты равны:  $\beta = 0,0053024$ ,  $\beta_1 = 0,0000059$ ,  $\beta_2 = 0$  и  $g_0 = 978,013$  Гал.

Таким образом, геоид является поверхностью относимости, по отношению к которой рассчитываются аномалии.



В наблюдаемые значения силы тяжести вводятся поправки (редукции). Введение поправок необходимо потому, что нормальные значения относятся к поверхности геоида, которая совпадает с уровнем океана, а измеренные значения относятся к действительной (реальной) земной поверхности. Для того, чтобы все наблюдения силы тяжести были сопоставимы, их приводят к одной поверхности - уровню геоида, т.е. как бы опускают точку наблюдения на этот уровень. Это осуществляется путем введения поправок за высоту, за притяжение промежуточного слоя и окружающий рельеф. Поправки называются редукциями.

Основными из них являются: поправка за высоту, за притяжение промежуточного слоя, за рельеф.

Аномалии силы тяжести рассчитываются по разным формулам. В геодезической гравиметрии под аномалией силы тяжести понимают разность между наблюдаемым значением ( $g_n$ ) и нормальным ( $\gamma_0$ ) с учетом поправки Фая, она рассчитывается по формуле  $\Delta g_n \approx g_n - \gamma_0 + \Delta g_1$  и называется аномалией Фая. Основной аномалией в гравиразведке является аномалия Буге:

$$\Delta g_B = g_n - \gamma_0 + \Delta g_1 + \Delta g_2 + \Delta g_3 = g_n - g_{норм} \quad (1.5)$$

в которую вводятся все поправки. Под  $g_{норм}$  понимается суммарная поправка в наблюдаемые значения, которая может быть определена до проведения работ, поскольку в ней имеются лишь топографические координаты точек наблюдения ( $\varphi, H$ ). Ее рассчитывают с помощью ЭВМ.

## 2.2. Плотность горных пород, полезных ископаемых и методы ее измерения.

Плотностью породы (или объемным весом) называется масса ( $m$ ) единицы объема породы ( $V$ )  $\sigma = m/V$ . Плотность измеряют в г/см<sup>3</sup>. Обычно плотность определяется для образцов, взятых из естественных обнажений, скважин и горных выработок. Наиболее простым способом определения плотности образца является взвешивание образца в воздухе ( $m$ ), и в воде ( $m'$ ) и затем расчет  $\sigma$ . На этом принципе построен наиболее распространенный и простой прибор для измерения плотности - денситометр, позволяющий определять  $\sigma$  с точностью до 0,01 г/см<sup>3</sup>.

## 2.3. Физические принципы устройства гравиметров, гравитационных вариометров и градиентометров

Основным измеряемым параметром в гравиразведке является ускорение силы тяжести  $g$ , которое определяется либо абсолютно, либо относительно. При абсолютных измерениях получают полное (наблюдаемое) значение ускорения  $g_n$ , при относительных - его приращение относительно некоторой исходной точки  $\Delta g_n$ .

Методы измерения ускорения силы тяжести и его приращения делятся на динамические и статические. Под динамическими понимаются такие методы, в которых наблюдается движение тела под действием силы тяжести (качание маятника, свободное падение тел и др.) В этом случае  $g$  определяется через параметры движения тела и параметры установки. В статических методах действие силы тяжести компенсируется (например, силой упругости пружины), а  $g$  определяется по изменению статического положения равновесия тела.

Реже в гравиразведке измеряются вторые производные гравитационного потенциала  $W_{xy}, W_{xz}, W_{yz}, (W_{yy} - W_{zz})$ .

В практике гравиразведки применяются в основном статические гравиметры. Они основаны на компенсации силы тяжести силой упругости пружины или силой кручения нити. Гравиметры служат лишь для относительных измерений ускорения силы тяжести. Абсолютное значение  $g$  в  $i$ -той точке получают, суммируя известное  $g_{исх}$  на исходной точке и измеренное приращение ускорения силы тяжести  $\Delta g_i$  между  $i$ -той и исходной точками

Для измерения вторых производных потенциала силы тяжести применяют вариометры и градиентометры. Гравитационные вариометры 1-го рода измеряют  $(W_{yy} - W_{zz})$  и  $W_{xy}$ ; 2-го рода -  $W_{xz}, W_{yz}, (W_{yy} - W_{zz})$  и  $W_{xy}$ . Для измерения вертикального градиента силы тяжести используются наблюдения гравиметрами на двух высотах. Гравитационные горизонтальные градиентометры измеряют  $W_{xz}$  и  $W_{yz}$ .

Чувствительным элементом данных приборов являются крутильные весы, представляющие собой коромысло с двумя грузиками равной массы на концах, закрепленные на вертикальной нити.

#### 2.4. Методика гравиразведки: наземные, морские и подземные съемки.

Методика гравиразведки - это целая совокупность тесно связанных принципов, объясняющих выбор тех или иных решений при проведении работ в зависимости от геологической задачи, имеющихся материальных и людских ресурсов. Эти решения касаются выбора конкретной аппаратуры, проектной точности съемки, густоты сети наблюдений, направления профилей, способа обработки данных и представления результатов исследований.

Прежде всего следует различать виды работ по месту их проведения. Здесь выделяют наземную, морскую, воздушную, подземную и скважинную съемки. Не менее важно разделение по масштабу работ. Съемки, проводимые для выявления региональных аномалий и наиболее общих закономерностей структуры поля в масштабах 1 : 200 000 и мельче, называют региональными. Они дают конкретные сведения лишь о глубинном строении литосферы. Однако по результатам региональных съемок можно выделить отдельные крупные аномальные зоны, где затем производятся так называемые поисковые съемки. Они выполняются в масштабах 1 : 100 000 - 1 : 50 000 и обычно направлены, как и следует из их названия, на поиск месторождений полезных ископаемых. Если они дают положительный результат, то это и является основанием предполагать перспективность данного региона и проведения разведочных съемок в масштабе крупнее 1 : 10 000.

2.5. Аналитические методы решения прямых и обратных задач гравитационного поля для тел простой геометрической формы.

Аномалия силы тяжести, вызванная притяжением тел известной формы, размера и плотности, может быть вычислена на основании закона всемирного притяжения (закон Ньютона). Эти расчеты называются аналитическими методами решения.

В математической теории гравиразведки рассчитываются аномалии от тел простых форм: шара, горизонтального цилиндра, вертикального уступа, вертикального цилиндра и т.д. без учета притяжения всей Земли.

Нахождение аномалий силы тяжести и вторых производных потенциала от тел известной формы, глубины залегания, размера и плотности носит название прямой задачи гравиразведки. Определение местоположения, формы, глубины залегания, размеров и плотности тел по известным аномалиям  $\Delta g$  или вторых производных потенциала силы тяжести называется обратной задачей гравиразведки.

2.6. Качественная и количественная интерпретация данных гравиразведки.

Принципы интерпретации и геологическое истолкование гравитационных аномалий.

В результате гравиразведки получают карты и графики аномалий Буге ( $\Delta g_B$ ), на которых выделяются латеральные плотностные неоднородности горных пород, залегающих на разных глубинах. Положительным аномалиям соответствуют более плотные, а отрицательным - менее плотные породы, но всегда они представляют собой суперпозицию гравитационных полей, обусловленных аномалосоздающими объектами разных по глубине структурных этажей.

Интерпретация данных гравиразведки бывает качественной и количественной и сопровождается геологическим истолкованием результатов. При качественной интерпретации выделение аномалий ведется визуально или статистическими приемами. При количественной, расчетной интерпретации определяются местоположение эпицентров (проекции на земную поверхность) аномалосоздающих объектов, глубины залегания их центров, формы, размеры, избыточные плотности.

Первым этапом интерпретации результатов гравиразведки (а в некоторых сложных условиях и при отсутствии сведений о плотности разреза - единственным) является качественная интерпретация. При качественной интерпретации дается визуальное описание характера аномалий силы тяжести по картам и профилям, т.е. отклонений от средних (фоновых) значений  $\Delta g_{\text{ф}}$ . При этом отмечается форма аномалий, их простирание, примерные размеры, амплитуда. Устанавливается связь гравитационных аномалий с геологическим строением, выделяются региональные аномалии, связанные со строением земной коры, и локальные аномалии, часто представляющие большой разведочный интерес.

Определение глубины, формы, размеров и точного местоположения геологических тел, создающих наблюдаемые аномалии, составляет основную цель количественной (расчетной) интерпретации, основанной на методах решения обратной задачи гравиразведки.

Решение обратной задачи неоднозначно, так как одинаковые аномалии силы тяжести могут быть созданы геологическими объектами разной формы, размеров и плотности, поэтому необходимо иметь сведения о плотностном разрезе района и общем геологическом строении (например, вероятной форме разведываемых объектов).

Методы решения обратной задачи гравиразведки принято подразделять на прямые, в которых элементы залегания гравитирующих масс определяются непосредственно по картам и графикам  $\Delta g_{\text{ф}}$  (или вторых производных потенциала), и косвенные, когда наблюдаемые аномалии сравниваются с набором теоретически рассчитанных аномалий над определенными объектами, и методом последовательных приближений добиваются наилучшего совпадения полей. Это позволяет перенести геометрические и физические параметры моделей на реальные геологические среды.

2.7. Области применения гравиразведки. Применение гравиразведки для изучения земной коры и верхней мантии, региональных съемок, при поисках и разведке нефтегазоносных структур и месторождений других полезных ископаемых.

Гравиразведка применяется для решения широкого круга задач, связанных с исследованием глубинного строения Земли, по крайней мере, верхней мантии и земной коры, с региональным тектоническим районированием суши и океанов, поисково-разведочными работами на многие полезные ископаемые, изучением геологической среды.

Гравиразведка в полном комплексе с другими геофизическими методами широко используется при региональном тектоническом районировании суши и акваторий. Она дает информацию о главных структурных этажах и общем тектоническом строении крупных регионов. С помощью гравиразведки аномалиями типа ступени выявляются отдельные блоки земной коры и фундамента, глубинные разломы, сбросы; отрицательными аномалиями картируются синклинии, горсты, осадочные бассейны, прогибы фундамента, гранитные массивы среди других изверженных пород фундамента, рифтовые и солевые бассейны, океанические хребты и желоба в океанах и др; положительными аномалиями выделяются антиклинории, поднятия фундамента, грабены и другие структуры.

Гравиразведка применяется для поисков и разведки нефтяных структур, угольных бассейнов, рудных и нерудных полезных ископаемых.

При поисках нефти гравиразведка может выделять: соляные купола, антиклинальные складки, куполовидные поднятия под осадочным чехлом.

Гравиразведка применяется в комплексе с другими геофизическими методами и для разведки рудных и нерудных ископаемых, причем она привлекается как для крупномасштабного картирования и выявления тектонических зон и структур, благоприятных залеганию тех или иных ископаемых, так и для непосредственных поисков и разведки месторождений. Существенное отличие рудной гравиразведки от нефтяной состоит в меньшей глубинности, большей детальности и точности разведки. Классическим примером применения гравиметрии являются поиски и разведка железорудных месторождений (особенно КМА и Кривой Рог), где гравиразведка применяется для изучения структуры бассейна, картирования железорудной толщи и поисков богатых руд. На железорудных месторождениях наблюдаются локальные положительные аномалии за счет высокой плотности железосодержащих руд. Хромитовые, полиметаллические и другие залежи рудных и нерудных ископаемых практически всегда отличаются от вмещающих пород по плотности. Поэтому для их обнаружения гравиразведка с успехом применяется.

### 3. Магнитная разведка.

3.1. Определение и сущность магнитной разведки. Магнитное поле Земли, особенности его строения и происхождения, изменения во времени.

Нормальное и аномальное магнитные поля.

Магнитометрическая, или магнитная, разведка (сокращенно магниторазведка) - это геофизический метод решения геологических задач, основанный на изучении магнитного поля Земли.

Основными параметрами геомагнитного поля являются полный вектор напряженности и его составляющие по осям координат. Значения параметров магнитного поля Земли зависят, с одной стороны, от намагниченности всей Земли как космического тела (нормальное поле), а с другой стороны, разной интенсивности намагничения геологических формаций, обусловленной различием магнитных свойств пород и напряженности магнитного поля Земли как в настоящее время, так и в прошедшие геологические эпохи (аномальное поле).

Происхождение магнитного поля Земли пытаются объяснить различными причинами, связанными с внутренним строением Земли. Наиболее достоверной и приемлемой гипотезой, объясняющей магнетизм Земли, является гипотеза вихревых токов в ядре. Эта гипотеза основана на том установленном геофизическом факте, что на глубине 2900 км под мантией (оболочкой) Земли находится "жидкое" ядро с высокой электрической проводимостью. Благодаря так называемому гиромангнитному эффекту и вращению Земли во время ее образования могло возникнуть очень слабое магнитное поле. Наличие свободных электронов в ядре и вращение Земли в таком слабом магнитном поле привело к индуцированию в ядре вихревых токов. Эти токи, в свою очередь, создают (регенерируют) магнитное поле, как это происходит в динамомашине. Увеличение магнитного поля Земли должно привести к новому увеличению вихревых потоков в ядре, а последнее - к увеличению магнитного поля и т.д. Процесс подобной регенерации длится до тех пор, пока рассеивание энергии вследствие вязкости ядра и его электрического сопротивления не компенсируется добавочной энергией вихревых токов и другими причинами.

Наблюдения магнитного поля Земли в течение длительного времени и палеомагнитные исследования показывают, что напряженность магнитного поля и его элементы меняются во времени. Эти изменения получили название вариаций. Принято различать четыре вида магнитных вариаций: вековые, годовые, суточные и магнитные возмущения (бури).

3.2. Магнитные свойства горных пород и руд, методы их измерения.

Способность материалов и горных пород намагничиваться характеризуется магнитной восприимчивостью ( $\chi$ ) - основным магнитным свойством горных пород.

В системе СИ это безразмерная величина. Практически ее измеряют в  $10^{-5}$  ед. СИ. У разных горных пород она меняется от 0 до 10 ед. СИ. По магнитным свойствам минералы и горные породы делятся на три группы: диамагнитные, парамагнитные и ферромагнитные. У диамагнитных пород магнитная восприимчивость очень мала (менее  $10^{-5}$  ед. СИ) и отрицательна, их намагничение направлено против намагничивающего поля. К диамагнитным относятся многие минералы и горные породы, например, кварц, каменная соль, мрамор, нефть, лед, графит, золото, серебро, свинец, медь и др.

У парамагнитных пород магнитная восприимчивость положительна и также невелика. К парамагнитным относится большинство минералов, осадочных, метаморфических и изверженных пород.

Особенно большими  $\chi$  (до нескольких миллионов  $10^{-5}$  ед. СИ) обладают ферромагнитные минералы, к которым относятся магнетит, титаномагнетит, ильменит, пирротин.

Магнитная восприимчивость большинства горных пород определяется прежде всего присутствием и процентным содержанием ферромагнитных минералов.

Магнитную восприимчивость измеряют как на образцах горных пород, так и в естественном залегании. С помощью так называемых астатических магнитометров измеряются магнитные свойства образцов произвольной формы. Число образцов одной породы должно составлять несколько десятков, чтобы результаты были статистически обоснованы. Для изучения  $\chi$  в естественных условиях залегания пород применяются разного рода каппаметры.

При остывании расплавленных минералов и горных пород и переходе их температуры через точку Кюри они намагничиваются окружающим магнитным полем, приобретая начальную остаточную намагниченность ( $J_F$ ).

Остаточную намагниченность измеряют на образцах горных пород кубической или цилиндрической формы с размером 2 - 5 см, строго ориентированных в пространстве. Для этого, выбирая образец, его "привязывают" к горизонту, т.е. ставят на нем метки (x,y) по компасу и (z) - по отвесу. Для измерения  $J_F$  используются астатические или так называемые сверхпроводящие СКВИД-магнитометры.

Методика измерений  $J_F$  основана на представлении о том, что каждый образец является магнитным. Поэтому, измеряя три магнитные составляющие поля

такого магнита ( $H_x, H_y, H_z$ ) на нескольких расстояниях от его центра, можно получить избыточную систему уравнений для расчета  $J = kT + J_r$  (за  $T$  принимается среднее магнитное поле района расположения лаборатории). С помощью специальных приемов проводится определение первичной намагниченности во время образования породы и исключения вторичных перемагничиваний за время ее жизни. Число образцов должно составлять десятки для каждого стратиграфического комплекса пород для дальнейшей статистической обработки. Далее по ним определяются усредненные значения склонения ( $D_{др}$ ) и наклонения ( $I_{др}$ ) древнего магнитного поля (см. рис. 2.1), позволяющие оценить положение геомагнитного полюса во время образования породы в современной системе географических координат.

Третьим магнитным параметром горных пород является магнитная проницаемость  $\mu = 1 + 4\pi k$ , которая практически у всех горных пород равна магнитной проницаемости вакуума ( $\mu = \mu_0$ , так как  $k \ll 10^{10}$  ед. Си). Лишь у ферромагнитных руд  $\mu$  может достигать нескольких единиц.

3.3. Физические принципы построения чувствительных систем приборов для измерения напряженности геомагнитного поля. Аппаратура для наземной, воздушной и гидромагнитной съемок.

Измерения магнитного поля Земли и его вариаций проводят как на стационарных пунктах - магнитных обсерваториях, которых насчитывается на Земле около 150, так и при магниторазведочных работах. Абсолютные определения полного вектора напряженности геомагнитного поля сводятся к измерению, как правило, трех его элементов (например,  $Z, D, H$ ). Для этого применяют сложные трехкомпонентные магнитные приборы, которые называются магнитными теодолитами и вариационными станциями.

При геологической разведке измеряют абсолютные  $Z, T$  и относительные (по отношению к какой-нибудь исходной (опорной) точке  $\Delta Z, \Delta T$ ) элементы.

Приборы для магнитной разведки (магнитометры) характеризуются разнообразием принципов устройства. В основном используются четыре типа магнитометров - оптико-механические, феррозондовые, протонные и квантовые.

Чувствительная магнитная система оптико-механических магнитометров состоит из магнита, который может вращаться либо вокруг вертикальной оси (подобно магнитной стрелке в компасе) для измерений приращений горизонтальной составляющей в двух точках ( $\Delta H$ ), либо вокруг горизонтальной оси для измерения приращений вертикальной составляющей ( $\Delta Z$ ). Углы отклонения  $\Delta \varphi$ , пропорциональные  $\Delta H$  или  $\Delta Z$ , определяются с помощью специальной оптической системы.



Измерителем поля в феррозондовом магнитометре является феррозонд (или магнитомодулярный датчик), представляющий собой катушку с ферромагнитным сердечником. Первичная обмотка сердечника возбуждается от вспомогательного звукового генератора частотой 200 гц. Под его воздействием меняется магнитная проницаемость материала сердечника, а это, вследствие законов индукции, приводит к тому, что во вторичной обмотке катушки возникает электродвижущая сила, пропорциональная вектору напряженности магнитного поля Земли, направленному вдоль оси сердечника.

Чувствительным элементом протонного магнитометра является жидкость, богатая протонами (вода, спирт). Сосуд с этой жидкостью помещается внутри питающей (поляризационной) катушки, в которой с помощью постоянного тока от батарейки создается магнитное поле. Его надо направить перпендикулярно полному вектору магнитного поля Земли в данной точке ( $\mathbf{t}$ ). Жидкость "намагничивается" в течение примерно двух секунд, и все протоны, которые можно считать элементарными магнетиками, устанавливаются вдоль намагничивающего поля. Затем намагничивающее поле быстро выключается. Протоны, стремясь установиться вдоль вектора  $\mathbf{t}$ , колеблются (прецессируют) вокруг него и индуцируют в измерительной катушке очень слабую ЭДС, частота которой пропорциональна величине напряженности поля  $\mathbf{t}$ . На этом принципе были изготовлены отечественные магнитометры: полевой (МПП-203) с погрешностью измерений  $\pm 2$  нТл, а также аэромагнитометр (МСС-214) и гидромагнитометр (ММП-3) с погрешностями порядка  $\pm 3$  нТл.

В квантовых магнитометрах, предназначенных для измерения абсолютных значений модуля индукции магнитного поля ( $B = \mu_0 \mathbf{I}$ ), используют так называемый эффект Зеемана. Атомы, обладающие магнитным моментом, при попадании в магнитное поле приобретают дополнительную энергию, частота излучения которой пропорциональна полному вектору магнитной индукции этого поля в точке наблюдения. Чувствительным элементом магнитометра является сосуд, в котором имеются пары цезия, рубидия или гелия. В результате вспышки монохроматического света (метод оптической накачки) электроны паров переводятся с одного энергетического подуровня на другой. Возвращение их на прежний уровень после окончания накачки сопровождается излучением энергии с частотой, пропорциональной величине магнитного поля.

Для измерения магнитного поля в воздухе применяются аэромагнитометры. Сейчас это протонные и квантовые магнитометры, ранее широко использовались феррозондовые магнитометры.

Протонные магнитометры в настоящее время также широко используются при измерениях магнитного поля в движении (автомобильная, морская съемки).

### 3.4. Методика воздушной, морской и наземной магнитных съемок.

Наземная полевая магнитная съемка проводится с помощью пешеходных магнитометров весом 5 - 6 кг (см. 5.1). На каждой точке измеряются или абсолютные значения полного вектора геомагнитного поля ( $T$ ), точнее магнитной индукции ( $B = \mu_0 T$ ), или относительные значения  $\Delta T(\Delta Z)$ . Под относительными понимаются приращения той или иной составляющей поля в любой точке наблюдения по отношению одного исходного пункта. При снятии отсчетов записывается время ( $t$ ). Полевая съемка отличается высокой производительностью: отряд из двух человек обрабатывает от нескольких десятков до двухсот точек в день.

Полевые магнитные съемки бывают профильными и площадными. Съемки по отдельным профилям используются при рекогносцировочных исследованиях для выявления общих закономерностей аномальных полей. Однако иногда интерпретационные профили задаются вкrest выявленных площадной съемкой аномалий. Основным же видом съемок являются площадные, выполненные по системам параллельных профилей.

Подходы к выбору сети наблюдений такие же, как и в гравиметрии (см. 2.2.2). Однако при магнитной съемке менее жесткие требования к топопривязке, отсутствует опорная сеть, а густота рядовых пунктов наблюдения несколько больше.

Сеть наблюдений разбивается как инструментально, так и визуально с измерением шагами расстояний между пунктами и инструментальной привязкой начала и конца профилей, а также исходной точки. Последняя выбирается на базе экспедиции. Здесь же желательно установить один магнитометр для снятия напряженности геомагнитного поля через 30 - 60 минут или магнитовариационную станцию для ее непрерывной записи. Эти приборы служат для расчета вариаций  $T_{\text{пол}}, Z_{\text{пол}}$  геомагнитного поля в любое время  $t$ . Вариации можно получить и из ближайших обсерваторий, удаленных от десятков до первых сот километров по мере уменьшения требований к точности съемки.

Расстояния между профилями берут в 3 - 5 раз меньше длины, а между точками съемки (шаг наблюдений) - в 3 - 5 раз меньше ширины предполагаемых аномалосоздающих объектов. Для стандартизации методики рекомендуют шаг съемки делать равным 1, 5, 20, 25, 50 или 100 м. Расстояния между профилями, направленными всегда вкrest

предполагаемого простираения разведываемых структур или рудных тел, могут быть равны шагу или в 2 - 3 раза превышать его.

Аэромагнитная съемка проводится по системе профилей при непрерывной записи тили  $\Delta T_n$  на каждом профиле (маршруте). Направления профилей выбираются вкрест предполагаемого простираения структур или тектонических нарушений.

Расстояние между профилями зависит от масштаба съемки: при миллионном масштабе расстояния между маршрутами устанавливаются 10 км, при масштабе 1 : 500 000 - 5 км, при масштабе 1 : 100 000 - 1 км, при масштабе 1 : 50 000 - 500 м. Чем крупнее масштаб, тем меньшей должна быть высота полета аэромагнитной станции. Обычно она меняется от 50 до 500 м. Скорость полета 100 - 200 км. Привязка профилей при аэромагнитной съемке осуществляется разными способами: по аэрофотоснимкам, радиогеодезическая и др. и должна быть тем точнее, чем крупнее масштаб съемки.

Для учета вариаций и сползания нуля-пункта прибора перед началом рабочего дня и после его окончания делается специальный залет на опорный (контроль-ный) маршрут длиной до 10 км. Все рабочие маршруты "привязываются" к контрольным маршрутам.

Гидромагнитная съемка в океанах, морях и на озерах ведется как на специальных судах, так и попутно на кораблях любого назначения. Для исключения влияния металлического корпуса судна применяются специальные приемы, а датчик поля буксируется за ним на кабеле длиной свыше 100 м в специальной немагнитной гондоле либо вблизи дна, либо на некоторой глубине. Профили (галсы) привязываются по штурманским картам. Съемки бывают профильными, реже площадными. В результате строятся графики, карты графиков и карты  $T_n$  или  $\Delta T_n$ .

3.5. Аналитические методы решения прямых и обратных задач магниторазведки для тел простой геометрической формы.

В теории магниторазведки, как и в любых других методах геофизики, решаются прямые и обратные задачи. Прямой задачей магниторазведки называется нахождение магнитных аномалий ( $T_n, Z_n$  и др.) над объектами известной формы, глубины залегания и намагниченности. Обратной задачей магниторазведки является определение формы, глубины залегания, намагниченности по измеренному площадному распределению аномалий.

Как и в гравиразведке задачи решаются математическими методами для тел простой формы: стержня, шара, цилиндра, пластов различного падения.

Для вычислений в настоящее время используются соответствующие компьютерные программы.

### 3.6. Качественная и количественная интерпретация данных магниторазведки.

Интерпретация магнитных аномалий и их геологическое истолкование.

Интерпретация данных магниторазведки складывается из геофизической интерпретации и геологического истолкования, тесно связанных между собой. Первым этапом является качественная интерпретация, позволяющая судить о местоположении пород с разными магнитными свойствами. Вторым этапом - количественная интерпретация, или решение обратной задачи магниторазведки, - имеет целью определение количественных параметров разведываемых геологических объектов.

При качественной интерпретации графиков, карт графиков и карт магнитных аномалий ведется их визуальное выделение. При этом обращается внимание на форму изолиний, их простирание, ширину, соотношение положительных и отрицательных аномалий, абсолютные значения максимумов и минимумов. Далее, используя сведения о магнитных свойствах пород, устанавливают связь тех или иных аномалий магнитного поля с определенными геологическими образованиями.

*Общая характеристика количественной интерпретации.* Аппроксимация аномалосоздающих объектов телами простой геометрической формы, определение их глубины, размеров, точного местоположения, интенсивности намагничивания - основная цель количественной (расчетной) интерпретации, или решения обратной задачи магниторазведки. Математически решение обратной задачи магниторазведки неоднозначно, так как похожие аномалии могут быть созданы геологическими телами разной формы, размеров и интенсивности намагничивания. Для более однозначной интерпретации магнитных аномалий, и, в частности, оценки размеров тел, необходимо знать интенсивность намагничивания тел  $J$ , определяемую по измерениям магнитной восприимчивости образцов ( $J \approx \chi H$ ), значениям напряженности поля Земли  $H$ , а также дополнительные геологические сведения о наиболее вероятной форме объектов.

Как и в гравиразведке, для количественной интерпретации данных магниторазведки применяются прямые и косвенные методы. Среди прямых методов, используемых для обработки отдельных простых магнитных аномалий (локальных или региональных), наибольшее применение находят аналитические (или методы характерных точек) и палеточные (или методы сравнения). К косвенным относится ряд методов обработки сложных аномалий, в которых путем последовательного решения прямых задач методом подбора формы и глубины возмущающих масс добиваются

совпадения наблюдаемой аномалии с теоретически рассчитанными. Эти методы базируются на использовании ЭВМ.

Геологическое истолкование результатов магниторазведки - один из ответственных этапов интерпретации. Оно сводится к решению тех или иных геологических задач с помощью качественной и количественной интерпретации результатов магнитной съемки с использованием всего имеющегося материала о геологическом строении изучаемой площади. При этом необходимо установить связи между магнитными аномалиями и литологией, тектоникой, полезными ископаемыми.

3.7. Области применения магниторазведки. Общая магнитная съемка Земли и палеомагнитные исследования. Применение магниторазведки для выяснения внутреннего строения земной коры, при региональных, структурных исследованиях, геологической съемке, поисках и разведке железорудных и других полезных ископаемых.

Магниторазведка применяется для решения задач региональной структурной геологии, геологического картирования разных масштабов, поисков и разведки железорудных месторождений, поисков месторождений рудных и нерудных ископаемых, оценки геолого-петрологических особенностей и трещиноватости пород, изучения геологической среды.

В комплексе с другими геофизическими методами магниторазведку применяют для решения задач региональной геологии и структурно-тектонического районирования, т.е. выделения таких региональных структур, как краевые межгорные прогибы, антиклинории и синклинории, зоны разломов, контактов пород разного состава, своды и впадины кристаллического фундамента. Магниторазведка особенно эффективна для картирования интрузивов и эффузивов, выделяющихся высокими значениями индуцированной ( $J_{\text{инд}}$ ) и остаточной ( $J_{\text{ост}}$ ) намагниченностей. В пределах континентов аномальные магнитные поля в значительной степени определяются составом кристаллического фундамента докембрийского возраста и зависят от  $J_{\text{ост}}$ . В районах с мощным чехлом осадочных отложений, как правило, немагнитных, "прозрачных" для магниторазведки, этим методом картируются аномально намагниченные породы фундамента. Аномальные поля океанов обязаны преимущественно  $J_{\text{ост}}$ , создающей полосовые магнитные аномалии разного знака, параллельные рифтовым зонам.

При мелкомасштабном геологическом картировании в настоящее время применяется аэромагниторазведка. Аэромагнитные съемки являются

картировочно-поисковыми. С помощью наземных магнитных наблюдений ведутся как картировочно-поисковые, так и поисково-разведочные и разведочные съемки. Карты  $T_n$  и  $Z_n$ , указывают на форму и местоположение пород с повышенными магнитными свойствами, дают магнитные характеристики различных групп слабо магнитных пород. Особенно четко выявляются контакты осадочных и магматических пород (под наносами), глубинные разломы, с которыми часто связано внедрение магнитных пород, местоположения интрузий и эффузивных комплексов, железорудные месторождения. Материалы магнитных съемок используются в качестве основы для рациональной постановки геолого-съемочных и поисковых работ.

Магниторазведка применяется при поисках таких полезных ископаемых, как полиметаллические, сульфидные, медно-никелевые, марганцевые руды, бокситы, россыпные месторождения золота, платины, вольфрама, молибдена и др. Это оказывается возможным благодаря тому, что в рудах в качестве примесей часто содержатся ферромагнитные минералы или же они сами обладают повышенной магнитной восприимчивостью. Кроме того, по данным магнитной съемки выявляются зоны, благоприятные рудообразованию (сбросы, контакты и т.п.). Отличные результаты получаются при разведке кимберлитовых трубок, к которым приурочены месторождения алмаза.

#### **4. Электрическая разведка.**

##### **4.1. Определение, сущность и классификация методов электроразведки.**

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 ( $1 \text{ мГц} = 10^{-3} \text{ Гц}$ ) до петагерц ( $1 \text{ ПГц} = 10^{15} \text{ Гц}$ )) 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.

Изменение глубинности электроразведки достигается изменением мощности источников, частоты и длительности возбуждения, а также зависит от способов создания поля. Последние могут быть гальваническими (ток

вводится в Землю с помощью заземлений) или индукционными (ток пропускается в незаземленную петлю, рамку). Глубинностью можно управлять также геометрическим (дистанционным) и частотным приемами. Сущность дистанционного (геометрического) приема сводится к увеличению расстояния между источником поля и точками, где оно измеряется, что ведет к росту объема среды, вовлекаемого в исследование. Частотный принцип увеличения глубинности основан на скин-эффекте, т.е. прижимании поля к поверхности Земли, тем больше, чем выше частота гармонического поля ( $f$ ) или меньше время ( $t$ ) после создания импульсного поля. Наоборот, чем меньше частота, больше  $T = 1/f$  (период колебаний) или  $t$  (его называют временем диффузии, становления поля, или переходного процесса), тем больше глубинность разведки. В целом она может меняться от сотен и десятков километров на постоянном токе и инфранизких частотах до сантиметров и миллиметров на частотах свыше гигагерц ( $\text{ГГц} = 10^9 \text{ Гц}$ ).

Вследствие многообразия используемых полей, их частотно-временных спектров, электромагнитных свойств горных пород электроразведка отличается от других геофизических методов большим количеством методов (свыше 50). По физической природе их можно сгруппировать в методы естественного переменного электромагнитного поля, поляризационные (геоэлектрохимические), сопротивлений, индукционные низкочастотные, высокочастотные, сверхвысокочастотные, биогеофизические.

По геометрии и строению изучаемых геологических разрезов методы электроразведки условно делятся на: 1) зондирования, которые служат для расчленения горизонтально (или полого) слоистых разрезов в вертикальном направлении; 2) профилирования, предназначенные для изучения крутослоистых разрезов или выявления объектов в горизонтальном направлении; 3) подземно-скважинные (объемные), объединяющие методы выявления неоднородностей между скважинами, горными выработками и земной поверхностью.

По технологии и месту проведения работ различают аэрокосмические, полевые (наземные), акваториальные (или аквальные, водные, морские, речные), подземные (шахтно-рудничные) и скважинные (межскважинные) методы электроразведки.

4.2. Общие сведения об изучаемых в электроразведке полях: естественных и искусственных, постоянных и переменных, установившихся и неуставившихся. Принципы решения прямых и обратных задач. Нормальные и аномальные поля.

Среди электромагнитных полей, используемых в электроразведке можно выделить:

-Естественные переменные электромагнитные поля.

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

-Естественные постоянные электрические поля.

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-восстановительного потенциала подземных вод вдоль проводящего слоя (например, графита, антрацита). Интенсивность потенциалов ЕП определяется распределением кислорода по глубине и 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. изменением водородного показателя кислотности подземных вод ( $pH$ ).

-Искусственные постоянные электрические поля.

Искусственные постоянные электрические поля создаются с помощью батарей, аккумуляторов или генераторов постоянного тока, подключаемых с помощью изолированных проводов к стержневым электродам - заземлителям.

-Искусственные переменные гармонические электромагнитные поля.

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.



-Искусственные импульсные (неустановившиеся) электромагнитные поля.

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  $\Delta U_E(t)$  или  $\Delta U_H(t)$  на разных временах ( $t$ ) после окончания питающего импульса.

-Сверхвысокочастотные поля.

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.

Под нормальным полем понимается электромагнитное поле того или иного источника над однородным изотропным полупространством с неизменными электромагнитными свойствами.

#### 4.3. Электромагнитные свойства горных пород и руд, методы их измерения.

Как отмечалось выше, к основным электромагнитным свойствам горных пород относятся: удельное электрическое сопротивление ( $\rho$ ), электрохимическая активность ( $\alpha$ ), поляризуемость ( $\beta$ ), диэлектрическая ( $\epsilon$ ) и магнитная ( $\mu$ ) проницаемости.

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  $10^{15}$  Омм. Величина обратная  $\gamma = 1/\rho$  называется электропроводностью и измеряется в сименсах на метр (См / м). Для наиболее распространенных осадочных, изверженных 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.).

Под электрохимической активностью понимается свойство пород создавать естественные постоянные электрические поля (см. 7.1.2.). За электрохимическую активность ( $\alpha$ ) условно принимается коэффициент пропорциональности между потенциалом ( $V$ ) или напряженностью естественного электрического поля ( $E = \Delta U/MN$ , где  $\Delta U$  - разность потенциалов в двух точках измерения М и N) и основными потенциал-образующими факторами, которыми они обусловлены.

Способность пород поляризоваться, т.е. накапливать заряд при пропускании тока, а затем разряжаться после отключения этого тока оценивается коэффициентом поляризуемости  $\eta$  ("эта"). Величина  $\eta$  вычисляется в процентах как отношение напряжения, которое остается в измерительной линии MN по истечении определенного времени (обычно 0,5-1 с) после размывания токовой цепи ( $\Delta U_{\text{ост}}$ ) к напряжению в той же линии при пропускании тока ( $\Delta U$ ), т.е.

$$\eta = \Delta U_{\text{ост}} \cdot 100\% / \Delta U.$$

Диэлектрическая ( $\epsilon$ ) и магнитная ( $\mu$ ) проницаемости играют значительную роль лишь при электроразведке на высоких частотах. Относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = \epsilon_n / \epsilon_0$  (где  $\epsilon_n$  и  $\epsilon_0$  - диэлектрические проницаемости породы и воздуха) показывает, во сколько раз увеличивается емкость конденсатора, если вместо воздуха в него поместить данную породу. Величина  $\epsilon$  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 изверженных пород  $\epsilon$  меняется от 5 до 12 единиц, у осадочных - от 2-3 (у сухой) до 16-40 (у полностью насыщенной водой породы).

#### 4.4. Аппаратура и оборудование для электроразведки. Переносные приборы. Электроразведочные станции.

В комплект аппаратуры и оборудования обычно входят следующие блоки.

- Машинные генераторы, батареи, аккумуляторы постоянного тока, которые предназначены либо для непосредственного питания заземлений, либо являются источником энергии для получения напряжений разной частоты и формы, питающие заземления или незаземленные контуры. Машинные генераторы работают от двигателя автомобиля или бензоэлектрических агрегатов. Для работ могут использоваться наборы анодных батарей напряжением до 100 В или аккумуляторов.
- Измерители или регистраторы тока в питающих линиях, сила которого ( $I$ ) может меняться от 0,01 до 100 А.
- Измерители или регистраторы разностей потенциалов ( $\Delta U$ ), предназначенные для определения амплитуд, а на переменном токе и фаз сигналов в приемных линиях. Это могут быть микро- или милливольтметры, осциллографы или магнитные регистраторы. Они бывают аналоговыми, когда сигналы получаются в видимой форме на стрелочных приборах, фото- или рулонной бумаге. Сейчас чаще применяются цифровые приборы, в которых сигналы кодируются в двоичном цифровом коде, а затем их цифровые значения высвечиваются на шкале прибора или записываются на магнитофон. Измерительные и регистрирующие приборы для электроразведки должны отличаться следующими техническими

характеристиками: определенным частотным или временным диапазоном; широким динамическим диапазоном: пределы измерений разностей потенциалов меняются от 0,01 до 1000 мВ; пороговой чувствительностью порядка 10 мкВ и точностью в пределах  $\pm 1 - \pm 5\%$ ; входным сопротивлением свыше 1 Мом; высокой помехозащищенностью, особенно от помех промышленной частоты 50 Гц; иногда возможностью ручной или автоматической установки нуля прибора для компенсации электродных разностей потенциалов; отсутствием или наличием микропроцессоров, обеспечивающих измерение, контроль и обработку информации; способами и источниками питания электронных схем; способностью работать в сложных полевых условиях и т.п.

- Электроды-заземлители для гальванического создания поля в Земле и измерения разностей потенциалов, пропорциональных напряженности электрического поля. В качестве электродов для питающих линий АВ используются стальные, а для приемных линий MN - медные или латунные электроды длиной 0,3 - 1 м и диаметром 1 - 3 см. В поляризационных методах применяются неполяризующиеся электроды, которые состоят из заземляемого пористого (керамического или брезентового) сосуда с раствором медного купороса и медного стержня в нем.

- Незаземленные контуры: петли диаметром до 4 км и рамки диаметром до 1 м, предназначенные для индуктивного возбуждения поля или измерения напряженности магнитного поля.

- Вспомогательное оборудование, включающее провода невысокого сопротивления, большой механической прочности и с хорошей изоляцией, катушки, кувалды и др.

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. Примером могут служить отечественные измерители кажущихся сопротивлений (ИКС), автокомпенсатор электроразведочный (АЭ), аппаратура низкой частоты (АНЧ) и др.

Для низкочастотной (10 Гц - 10 кГц) индукционной разведки в разные годы изготавливались:

- микровольметры электроразведочные (МКВЭ) для измерения амплитуд магнитных составляющих гармонического поля;
- аппаратура для измерения осей эллипса поляризации (ЭПП), предназначенная для создания гармонического поля, а также для определения большой, связанной с первичным полем, и малой, обусловленной вторичным (аномальным) полем, осей эллипса поляризации, которыми определяется суммарный вектор напряженности магнитного поля;
- амплитудно-фазовые измерители (АФИ) для создания гармонического поля и измерения отношения амплитуд и разностей фаз магнитных составляющих поля в двух точках;
- аппаратура метода переходных процессов (МПП), которая служит для коммутации постоянного тока батарей в прямоугольные импульсы длительностью 20 - 50 мс, подачи их в незаземленный контур и измерения в том же или другом контуре разностей потенциалов на временах от 1 до 50 мс после окончания импульса.

В высокочастотной электроразведке (10 кГц - 10 мГц) могут применяться:

- радиоприемники-компараторы для проведения радиокомпарационного профилирования, т.е. изучения полей существующих сверхдлинноволновых специальных или длинноволновых широкоэмиттерных радиостанций;
- генераторы и измерители высокочастотных полей для дипольного электромагнитного профилирования (ДЭМП);
- передатчики и приемники со специальными антеннами для радиоволновых просвечиваний между скважинами и горными выработками, радиолокации и т.д.

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  $10^3$  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. В комплект станции входят радиоприемники, радиопередатчики и другое оборудование.

Аналогичным образом устроена электроразведочная станция для морских электромагнитных зондирований

4.5. Сущность следующих основных методов электроразведки, методика и техника работ, особенности интерпретации и решаемых задач.

К группе методов, основанных на изучении естественных электромагнитных полей относятся следующие

Метод естественного электрического поля (ЕП, МЕП) или метод собственных потенциалов (СП, ПС) основан на изучении локальных электрических постоянных полей, возникающих в горных породах в силу различных физико-химических процессов (см. 7.1.2). Небольшие собственные потенциалы диффузионно-адсорбционной и фильтрационной природы существуют практически повсеместно. Интенсивные же поля окислительно-восстановительной природы наблюдаются, как правило, только над сульфидными и графитными залежами. Естественные электрические поля могут возникнуть также при коррозии трубопроводов и других подземных металлических конструкций, при ухудшении их гидроизоляции и на участках с низкими УЭС пород. Для измерения ЕП применяются милливольтметры постоянного тока и неполяризующиеся электроды (см. 8.1.2).

Съемка естественных электрических потенциалов выполняется либо по отдельным линиям (профильная съемка), либо по системам обычно параллельных профилей, равномерно покрывающих изучаемый участок (площадная съемка). Направления профилей выбираются вкрест предполагаемого простиранья прослеживаемых объектов, а расстояния между ними могут меняться от 10 до 100 м и должны быть в несколько раз меньше ожидаемой длины рудных тел или иных разведываемых геологических объектов.

К электропрофилированию, основанному на использовании естественных переменных электромагнитных полей атмосферного происхождения (см. 7.1.1), относятся методы переменного естественного электрического (ПЕЭП) и магнитного (ПЕМП) поля.

В методе ПЕЭП с помощью милливольтметров, например и двух заземленных на расстоянии 10 - 50 м друг от друга приемных электродов (MN) за период 20 - 30 с измеряется средняя напряженность электрического поля  $E_{эф} = \Delta U_{MN} / MN$ . Она пропорциональна кажущемуся сопротивлению среды на глубине, соответствующей применяемой частоте. Так, для наиболее

используемого диапазона частот 10 - 20 Гц глубинность подобного профилирования составляет несколько сот метров. Если провести съемки ПЭЭП по профилям с шагом 10 - 20 м или равномерно по площади (направления MN должны во всех точках быть одинаковыми), то по графикам и картам  $E_{эф}$  можно выявить горизонтальные неоднородности по УЭС. Сходным образом с помощью рамочных антенн можно измерять различные составляющие магнитного поля (ПЭМП).

В результате ПЭЭП или ПЭМП строятся графики и карты графиков  $E_{эф}$ . Метод используется при геологическом картировании

Электрическое зондирование - это такая модификация метода сопротивлений на постоянном или низкочастотном (до 20 Гц) токе, при котором в процессе работы расстояние между питающими электродами или между питающими и приемными линиями (разнос) постепенно увеличивается. В результате строятся графики зависимости кажущегося сопротивления ( $\rho_k$ ) от разноса ( $r$ ), или кривая зондирования, которая характеризует изменение удельных электрических сопротивлений (УЭС) с глубиной.

Различают две модификации зондирования: вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ), применяемые для разведки небольших глубин (до 500 м), и дипольные электрические зондирования (ДЗ), применяемые для разведки глубин 0,5 - 10 км.

Вертикальное электрическое зондирование выполняется симметричной четырехэлектродной или трехэлектродной градиент-установками (см. 7.1). Работы симметричной установкой проводятся в такой последовательности (В выбранной точке зондирования (центр зондирования, называемый точкой записи) устанавливаются батарея с измерительным прибором, две катушки с проводом для разноса питающих электродов. На небольшом расстоянии (обычно 1 м) заземляются приемные электроды М и N, а на расстоянии 3 м - питающие А и В. Производится измерение  $\Delta U$  и  $I$  рассчитывается  $\rho_k = K \Delta U / I$ , где коэффициент установки  $K = \pi AM \cdot AN / MN$ . Далее питающие электроды постепенно разносятся в разные стороны, а  $r = AB/2$  могут выбираться, например, такими: 1,5; 2,2; 3; 5; 10; 15; 22; 30; 50; 100; ... м. При больших АВ приходится переходить на увеличенную длину MN, чтобы  $\Delta U$  превышали уровень помех. На каждом разнесе определяется  $\rho_k$ . Для удобства работ провода предварительно промеряются и на них краской или изолентой ставятся метки, например, одна, две, три, вновь одна, две, три и т.д. При работах с аналоговыми приборами в ходе зондирования на бланке с логарифмическим масштабом по осям координат (бланк ВЭЗ) с модулем 6,25 см при точности измерений  $\rho_k \pm 5\%$  или 10 см при точности  $\pm 3\%$  строится кривая ВЭЗ: по вертикали откладывается  $\rho_k$ , а по горизонтали - величина полуразноса ( $r = AB/2$ ). При работах с цифровой аппаратурой данные вносятся в компьютер, и кривая ВЭЗ строится автоматически на экране дисплея.

После окончания зондирования и построения кривой ВЭЗ аппаратуру и оборудование переносят на новую точку. Обычно точки зондирования располагаются вдоль профилей. Расстояния между соседними точками ВЭЗ (шаг съемки) меняются от первых десятков до нескольких сот метров. Они должны быть сравнимыми с проектируемыми глубинами разведки. Максимальный разнос  $AB/2$  выбирается в 3 - 10 раз большим этих глубин.

Вертикальное электрическое зондирование методом вызванной поляризации (ВЭЗ-ВП) по методике работ мало чем отличается от рассмотренных выше ВЭЗ и предназначено для расчленения разрезов по глубине не только по изменению УЭС, но и поляризуемости (

Если надо изучить большие глубины (свыше 1 км), то при выполнении ВЭЗ разности  $AB$  приходится увеличивать до 10 км, что делать сложно и неудобно. В этом случае используются дипольные установки (азимутальные, радиальные и др.) (см. 7.3.4). При дипольных электрических зондированиях (ДЗ) измеряется кажущееся сопротивление при разных расстояниях или разнотах  $r$  между центрами питающего и приемного диполей (рис. 3.6). Разнос осуществляется либо в одну сторону от неподвижного питающего диполя (одностороннее ДЗ), либо вначале в одну, а затем в противоположную сторону (двухстороннее ДЗ). Дипольное зондирование выполняется с помощью электроразведочных станций. Сначала проводится топографическая подготовка работ. ДЗ могут выполняться по криволинейным маршрутам, приуроченным к дорогам, рекам и участкам, к которым может быть доставлена полевая лаборатория. Величина разнота должна увеличиваться примерно в геометрической прогрессии, например,  $r = 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 15; 20; 30$  км.

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 разности 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 наблюдаемых 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).

Электрическое профилирование или электропрофилирование (ЭП) - это такая модификация метода сопротивлений, при которой вдоль заданных профилей измеряется кажущееся сопротивление с помощью установок постоянного размера, а значит и постоянной глубинности. Она может меняться в разных геоэлектрических условиях от 1/3 до 1/10 величины АВ.

При электропрофилировании используются переносная электроразведочная аппаратура и различные установки. Простейшей установкой для ЭП является симметричная (АМNB), когда все электроды АМNB с соединяющими их проводами последовательно перемещаются вдоль линии наблюдений с постоянным шагом съемки. Как и в ВЭЗ, измеряются  $\Delta U$  и  $I$ , по которым рассчитывается КС. Взаимные расстояния между электродами во всех пунктах измерения остаются постоянными. Применяются и другие установки электропрофилирования:

Иногда ЭП выполняется на двух-трех разносах АВ, отличающихся примерно в 3 раза по длине.

При электропрофилировании любой установкой профили прокладываются вкрест предполагаемого простирания структур или искомым объектам. Шаг установки берется обычно равным MN и несколько меньшим ожидаемой ширины разведываемых геологических объектов.

В результате электропрофилирования строятся графики, карты графиков, а также карты КС для каждого разноса питающих электродов. Глубинность ЭП не превышает 500 м. Метод ЭП широко применяется при геологическом, инженерно-геологическом, мерзлотно-гляциологическом, экологическом картировании, поисках твердых полезных ископаемых.

При электропрофилировании методом вызванной поляризации (ВП или ЭП-ВП) вдоль профилей наблюдений установками с постоянными разносами наряду с  $\Delta U$  рассчитывается  $\eta_k = \Delta U_{\text{ин}} \cdot 100\% / \Delta U$ , где  $\Delta U_{\text{ин}}$  и  $\Delta U$  - разности потенциалов на приемных электродах через 0,5 с после отключения и во время пропускания тока в питающую линию. Работы методом ВП проводятся теми же установками, что и в ЭП.

К низкочастотным гармоническим методам (НЧМ) относится большая группа методов электромагнитного (индукционного) профилирования, в которых поле на одной из частот интервала 10 Гц - 10 кГц создается с помощью либо заземленного на концах длинного (до 30 км) кабеля (ДК), либо большой (диаметром до 3 км) незаземленной петли (НП), либо



рамочной антенной (диаметром до 1 м) (такой метод называется дипольным индукционным профилированием (ДИП)).

Съемка в НЧМ проводится по системам профилей, отстоящих друг от друга на расстояниях 50 - 500 м и направленных перпендикулярно простиранию геологических структур и кабелю или стороне петли (внутри и вне петли). Точки наблюдения на профилях, длина которых обычно меньше длины кабеля и стороны петли, начинаются не ближе 50 м от токонесущих проводов и располагаются через 20 - 200 м друг от друга.

В результате НЧМ строятся графики, карты графиков и карты наблюденных параметров поля. Глубинность НЧМ тем больше, чем ниже частота используемого поля, выше сопротивление вмещающих пород, больше размеры ДК или НП и расстояния между питающими и приемными рамками в ДИП. В среднем она не превышает первых десятков метров в ДИП и первых сот метров в ДК и НП.

НЧМ методы применяются для геологического картирования и поисков рудных полезных ископаемых.

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 (см. 7.1). 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 (см. 8.1). Определяемые в результате зондирований амплитуды и фазы электрических ( $E$ ) или магнитных ( $H$ ) компонент поля или кажущиеся сопротивления ( $KC$ ) для разных параметров глубинности (ПГ) характеризуют изменение геоэлектрического разреза с глубиной. За параметры глубинности принимаются  $r, \sqrt{T}, \sqrt{2\pi t}$ . В результате ЭМЗ строятся кривые зондирований, т.е. графики зависимостей кажущихся сопротивлений от параметров глубинности.

Сверхвысокочастотные методы электроразведки включают радиотепловую (РТС), инфракрасную (ИКС) и радарную (радиолокационную) (РЛС) съемки (длины изучаемых радиоволн меняются от 1 мкм до 1 м). В них изучается либо естественное излучение земной поверхности (пассивная радиолокация (РТС, ИКС), либо отраженные искусственные поля (активная радиолокация, радиолокационная (РЛС) или георадарная съемка). Работы ведутся, в основном, с летательных аппаратов (спутники, самолеты, вертолеты) с помощью специальной автоматической (телеметрической и регистрирующей) аппаратуры. Полученные данные могут преобразовываться в видеоизображения, сходные с обычными фотоснимками

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.

К основным методам данной группы можно отнести метод заряженного тела и метод радиоволнового просвечивания.

Метод заряженного тела (МЗТ) или заряда (МЗ) служит для оценки либо формы и положения рудных тел (рудный вариант МЗТ), либо направления и скорости движения подземных вод (гидрогеологический вариант МЗТ).

Рудный вариант МЗТ сводится к "заряду" с помощью электрода А рудной залежи через скважину или горную выработку постоянным или низкочастотным переменным током (второй электрод В отнесен "бесконечно далеко", в 5 - 10 раз дальше, чем глубина электрода А). По земной поверхности с помощью приемной линии MN и милливольтметров изучается распределение потенциалов или градиентов потенциалов. В результате строятся эквипотенциальные линии. Так как заряженная рудная залежь является практически эквипотенциальным проводником, с которого ток стекает равномерно, то вокруг нее образуются поверхности равного потенциала, повторяющие форму залежи. Поэтому по форме эквипотенциальных линий на земной поверхности можно судить о

местоположении эпицентра рудной залежи, т.е. его проекции на земную поверхность.

Для изучения целиков пород между выработками и скважинами и выявления рудных залежей используется также метод радиоволнового просвечивания (РВП). В этом методе в одной выработке или скважине устанавливается радиопередатчик, излучающий электромагнитные волны частотой 0,1 - 10 МГц, а в других соседних выработках или скважинах с помощью радиоприемника измеряется напряженность поля (см. 8.1.1). Меняя местоположения генератора и приемника, можно "просветить" породы между горными выработками и скважинами. В результате можно определить так называемый коэффициент поглощения пород вдоль лучей передатчик-приемник, который связан с электромагнитными свойствами среды ( $\mu, \epsilon$ ).

Наличие хорошо проводящих рудных тел приведет к увеличению затухания энергии и появлению радиотеней, по которым можно оконтурить рудные тела и правильно направить дальнейшие разведочные работы. Дальность просвечиваний не превышает нескольких сотен метров.

### **Сейсмическая разведка.**

5.1. Определение и сущность сейсморазведки. Классификация методов сейсморазведки.

Сейсмическая разведка (сейсморазведка) - это геофизический метод исследования строения Земли и геологической среды, поисков и разведки нефти и газа, а также других полезных ископаемых, основанный на изучении распространения упругих волн, возбужденных искусственно с помощью тех или иных источников: взрывов, ударов и др. Горные породы отличаются по упругим свойствам и поэтому обладают различными скоростями распространения упругих волн. Это приводит к тому, что на границах слоев, где скорости меняются, могут образоваться отраженные, преломленные, рефрагированные, дифрагированные и другие волны, регистрируя которые на земной поверхности, можно получить информацию о скоростном разрезе, а по нему судить о геологическом строении.

Методика сейсморазведки основана на изучении кинематики волн или времени пробега различных волн от пункта их возбуждения до сейсмоприемников, улавливающих скорости смещения почвы, и их динамики или интенсивности волн. В специальных достаточно сложных установках (сейсмостанциях) электрические колебания, созданные в сейсмоприемниках очень слабыми колебаниями почвы, усиливаются и автоматически регистрируются на сейсмограммах и магнитограммах. В результате их интерпретации можно определить глубины залегания сейсмогеологических границ, их падение, простирание, скорости волн, а

используя геологические данные, установить геологическую природу выявленных границ.

В сейсморазведке различают два основных метода: метод отраженных волн (МОВ) и метод преломленных волн (МПВ). Меньшее применение находят методы, использующие другие волны. Решение сложнейших задач, связанных с высокоточным определением геометрии геологического разреза (ошибки менее 1 %), стало возможным благодаря применению трудоемких систем возбуждения и наблюдения, обеспечивающих одновременный, иногда многократный съем информации с больших площадей и ее цифровую обработку на ЭВМ. Это обеспечивает выделение полезных, чаще однократно отраженных или преломленных волн среди множества волн-помех.

По решаемым задачам различают глубинную, структурную, нефтегазовую, рудную, инженерную сейсморазведку. По месту проведения сейсморазведка подразделяется на наземную (полевую), акваториальную (морскую), скважинную и подземную, а по частотам колебаний используемых упругих волн можно выделить высокочастотную (частоты свыше 100 гц), среднечастотную (частоты в несколько десятков герц) и низкочастотную (частоты менее 10 гц) сейсморазведку. Чем выше частота упругих волн, тем больше их затухание и меньше глубинность разведки.

Сейсморазведка - очень важный и во многих случаях самый точный (хотя и самый дорогой и трудоемкий) метод геофизической разведки, применяющийся для решения различных геологических задач с глубиной от нескольких метров (изучение физико-механических свойств пород) до нескольких десятков и даже сотен километров (изучение земной коры и верхней мантии). Однако главное назначение сейсморазведки - поиск и разведка нефти и газа.

5.2. Физические основы сейсморазведки. Основы теории упругости, геометрической сейсмики и сейсмоэлектрических явлений.

Теория распространения упругих (сейсмических) волн базируется на теории упругости, так как геологические среды в первом приближении можно считать упругими. Поэтому напомним основные определения и законы теории упругости применительно к однородным изотропным средам. Абсолютно упругим телом называется такое, которое после прекращения действия приложенных к нему сил восстанавливает свою первоначальную форму и объем. Тела и среды, в которых развиваются необратимые деформации, называются пластичными, неупругими. Изменение формы, объема и размеров под действием напряжения называется деформацией. Напряжения (силы, действующие на единицу площади), как и деформации, могут быть растягивающими или сжимающими, сдвиговыми или

всесторонне сжимающими. Коэффициенты связи между напряжениями и деформациями среды называются модулями упругости.

По закону Гука деформация растяжения (сжатия) ( $\Delta l$ ) в идеально упругих средах прямо пропорциональна напряжению:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{S} \quad (4.1)$$

где  $E$ - модуль Юнга (модуль продольного растяжения);  $l, d, S$ - длина, диаметр и поперечное сечение цилиндрического тела,  $F$  - приложенная сила,  $\nu$ - коэффициент Пуассона (модуль поперечного сжатия). Третьим упругим модулем является модуль сдвига ( $\mu_c$ ), связанный с модулем Юнга и коэффициентом Пуассона соотношением  $\mu_c = E/2(1 + \nu)$ . Наконец, четвертым является модуль всестороннего сжатия  $K_c = E/3(1 - 2\nu)$ .

5.3. Типы сейсмических волн. Отражение, преломление, дифракция, рефракция упругих волн. Сейсмические среды, границы и скорости упругих волн.

После возбуждения упругой волны в среде возникает смещение, возмущение упругих частиц, создается волновой процесс. Возникая вблизи источника, он постепенно переходит в другие части среды путем передачи деформаций и напряжений за счет упругих связей между частицами. В результате в среде возникают объемные и поверхностные упругие волны, не зависящие от источника. Традиционно в сейсморазведке наибольшее применение нашли объемные волны: продольные ( $P$ -волны) и поперечные ( $S$ -волны). Скорости  $V_p$  всегда больше, чем  $V_s$ . Известны также поверхностные волны, называемые волнами Рэлея ( $R$ ) и Лява ( $L$ ).

В продольных волнах частицы среды колеблются вдоль направления распространения волны и происходят деформации объема. В поперечных волнах частицы колеблются в плоскости, перпендикулярной распространению, что вызывает деформации формы. В поверхностных волнах частицы колеблются в поверхностном слое горизонтально и перпендикулярно направлению распространения волны. В поверхностных  $R$ -волнах частицы движутся перпендикулярно направлению их распространения по эллиптическим траекториям вблизи свободных границ раздела сред с разными скоростями, например, земной поверхности. В поверхностных  $L$ -волнах частицы среды движутся параллельно земной поверхности.

Скорости продольных и поперечных волн выражаются через коэффициенты упругости следующими формулами:

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\sigma(1+\sigma)(1-2\sigma)}}, V_s = \sqrt{\frac{E}{2\sigma(1+\sigma)}} \quad (4.2)$$

где  $\sigma$ - плотность пород.

Если в некоторой точке пространства произвести взрыв (удар), то возникает упругая волна, скорость распространения которой зависит от упругих свойств среды. При прохождении волны частицы породы начинают колебаться. Поверхность, отделяющая область, где частицы колеблются под воздействием упругой волны, и невозмущенную область, куда волна еще не пришла, называется фронтом волны. Линии, перпендикулярные фронту, называются сейсмическими лучами. Вдоль лучей переносится энергия упругой волны. Вблизи источника фронт упругих волн сферический, а вдалеке - практически плоский.

Каждую монохроматическую волну одной частоты можно охарактеризовать через длину волны ( $\lambda$ ), период ( $T$ ) или частоту колебания ( $f = 1/T$ ), которые связаны с фазовой скоростью ( $V$ ) соотношением  $\lambda = TV = V/f$ . В сейсморазведке используются упругие волны частотой 2 - 120 Гц, что при скоростях в породах от 1 до 7 км/с дает длины волн 3500 - 9 м соответственно.

Основным законом геометрической сейсмологии является закон преломления - отражения, который включает следующие положения: 1) падающие, отраженные и преломленные лучи лежат в одной плоскости, совпадающей с плоскостью, нормальной к границе раздела сред с разными скоростями упругих волн; 2) угол падения волны  $\alpha_1$ , отсчитываемый от перпендикуляра к границе, и ее скорость в среде  $V_1$  связаны с углом преломления  $\beta_2$  и скоростью  $V_2$  соотношением  $\sin \alpha_1 / \sin \beta_2 = V_1 / V_2$ ; 3) этим же соотношением связаны углы падения ( $\alpha_1$ ) и отражения ( $\gamma_1$ ):  $\sin \alpha_1 / \sin \gamma_1 = V_a / V_r$ . Для волн одного типа, например продольных,  $V_a = V_r$ , что приводит к закону равенства углов падения и отражения.

Если скорость распространения упругой волны в среде возрастает с глубиной, то лучи проходящих волн искривляются и возвращаются на поверхность. Такие волны называются *рефрагированными*.

При распространении сейсмических волн в средах сложного строения (дайки, уступы, сбросы и т.п.) в зоне тени для проходящих волн могут возникать *дифрагированные* волны

На границе воздух - земная поверхность образуются поверхностные волны Рэлея и Лява, которые быстро затухают с глубиной.

Кроме перечисленных полезных для глубинных исследований волн на записях наблюдаются различные волны-помехи (полно- и неполнократные отраженно-преломленные, звуковые, микросейсмические и т.п.).

Каждая из рассмотренных полезных волн может быть зарегистрирована самостоятельно, и поэтому их называют индивидуальными, однократными. Однако очень часто наблюдается их сложение. Обилие сейсмических волн (сотни), необходимость выделения и распознавания природы одной или десятка полезных волн среди сотен других, играющих роль волн-помех, представляют очень сложную техническую, методическую и интерпретационную проблему в сейсморазведке.

5.4. Сейсмические и сейсмoeлектрические свойства горных пород, их зависимость от различных природных факторов.

Скорости распространения упругих волн являются определенным диагностическим признаком горной породы. Методы их определения делятся на лабораторные (измерения на образцах), скважинные (сейсмические и акустические наблюдения в скважинах), полевые (расчет скорости в результате интерпретации данных сейсморазведки).

Скорости распространения волн определяются составом, строением и состоянием горных пород, которые, в свою очередь, зависят от гранулометрического и минерального состава твердых частиц, глубины залегания, возраста пород, степени метаморфизма, плотности, пористости, трещиноватости, разрушенности, выветренности, водонасыщенности, нефтегазонасыщенности и других факторов.

Наименьшими скоростями ( $V_p$ ) обладают рыхлые сухие пески (0,5 - 1 км/с), нефть (~1,2 км/с), вода (~1,5 км/с), глины (1,3 - 3 км/с), уголь (1,8 - 3,5 км/с). Большие скорости (3 - 6 км/с) у скальных осадочных пород (известняки, мрамор, доломит, соль и др.). Самые большие (4 - 7 км/с) - у изверженных и метаморфических пород.

Все остальные факторы, которые делают породу более массивной, сцементированной, консолидированной - например, водонасыщенность, замерзание, степень метаморфизма - делают  $V_p$  больше. С увеличением раздробленности, трещиноватости, рыхлости, пористости (при заполнении пор воздухом или газом)  $V_p$  уменьшается. Нефтенасыщенные породы по  $V_p$  мало отличаются от водонасыщенных. Для сильно рассланцованных пород характерно различие скоростей в разных направлениях (анизотропия): у них скорость на 10 - 20 % больше вдоль, чем вкост напластования. Чем больше абсолютный возраст пород ( $T$ ) и глубина залегания ( $k$ ), тем больше скорость. Для осадочных пород известна следующая эмпирическая формула зависимости скорости от этих факторов  $V = k(Tk)^{1/6}$ , где  $k$  - коэффициент пропорциональности

Скорости распространения поперечных волн ( $V_s$ ) меньше, чем продольных ( $V_p$ ). Отношение  $V_s/V_p$  меняется для разных пород: от 1,3 - 1,6 (для

высокопористых газонасыщенных), к 1,5 - 2 (для цементированных скальных или водонефтенасыщенных) до 2 - 3 (для рыхлых плохо цементированных типа лессов, песков, глин). Этим отношением определяется коэффициент Пуассона ( $\nu$ ).

Кроме скоростей распространения упругих волн, которыми определяется кинематика волн, важным сейсмическим свойством горных пород является *степень поглощения* ими сейсмической энергии, что определяет динамические характеристики волн, и прежде всего их интенсивность и дальность распространения. Поглощение вызывается потерями упругой энергии за счет необратимых процессов в среде вследствие ее неидеальной упругости. По этой причине амплитуда, например, плоской гармонической волны экспоненциально убывает с расстоянием  $x$ , т.е.  $A = A_0 e^{-bx}$ , где  $A_0$  - амплитудный параметр;  $b$  - коэффициент поглощения.

*Коэффициент поглощения*, разный для разных пород, возрастает с ростом пористости, трещиноватости пород, с уменьшением глубины их залегания и водонасыщенности. В среднем у изверженных, метаморфических и цементированных осадочных пород  $b = 10^{-5} - 10^{-3}$  (1/м), у рыхлых осадочных  $b = 10^{-3} - 0,5$

На изменении сейсмoeлектрических свойств горных пород основан сейсмoeлектрический метод, находящийся на стыке сейсморазведки и электроразведки. К сейсмoeлектрическим свойствам относят различные пьезoeлектрические модули. В минералах с асимметричным строением кристаллов (кварц, турмалин, сфалерит, нефелин и др.) под действием упругой деформации ( $F$ ) на гранях возникают электрические заряды ( $q$ ). Они связаны соотношением  $q = dF$ , где  $d$  - пьезoeлектрические модули.

Пьезoeлектрические модули  $d$  в зависимости от вида, направления деформации и направления поляризации для каждого минерала-пьезoeлектрика меняются во много раз.

Пьезoeлектрические модули горных пород характеризуются не только наличием и процентным содержанием в породе минералов-пьезoeлектриков, но и их определенной упорядоченностью. Если кристаллы в породе ориентированы по направлению одного из элементов симметрии, то порода отличается повышенными значениями  $d$  и может быть отнесена к так называемым *пьезoeлектрическим текстурам*.

5.5. Принципы устройства сейсморазведочной аппаратуры. Понятия каналов записи и воспроизведения. Типы полевых сейсморазведочных станций.

Для проведения сейсморазведки используются сложные комплекты аппаратуры, включающие:



- источники возбуждения упругих волн (взрывные и невзрывные);
- устройства, воспринимающие упругие колебания и преобразующие их в электрические сигналы (сейсмоприемники или геофоны при наземных работах, пьезоприемники и гидрофоны при работах на акваториях);
- сейсмостанции, включающие многоканальные усилители и регистраторы (аналоговые или цифровые);
- компьютеры для обработки информации;
- вспомогательное оборудование (буровые станки, автомобили для транспортировки приемных установок, провода и прочее).

О технической сложности проблем, стоящих перед сейсморазведочной аппаратурой, свидетельствуют такие факторы, как необходимость:

- изучать глубины от нескольких метров до сотен километров, что требует применения разных источников возбуждения упругих волн - от удара молотком до мощных взрывов;
- регистрировать смещения почвы амплитудой от  $10^{-6}$  до долей миллиметра, что создает перепад в интенсивности сигналов в миллионы раз и требует применения электронных усилителей с коэффициентами усиления и динамическим диапазоном, составляющими  $10^6 - 10^7$ ;
- одновременной фиксации множества волн либо в нескольких точках вокруг источника, либо в сотнях пунктов от него, для чего нужны многоканальные идентичные приемные установки;
- обрабатывать очень большое количество информации, что оказалось возможным лишь благодаря компьютерам, встроенным в современные станции, с последующей переинтерпретацией материалов на больших ЭВМ.

Для возбуждения упругих волн на земной поверхности, в неглубоких (до 50 м) скважинах или в водоемах используются различные источники. Простейшими являются удары молотком, кувалдой или падающим грузом по земной поверхности. Долгое время основным способом создания упругих волн являлся подрыв взрывчатых веществ (ВВ) типа тротил, аммонит, порох весом от 100 г до сотен килограмм в скважинах, водоемах. Подрыв ВВ осуществляется с помощью электродетонаторов и специальной взрывной машинки, подающей в них высоковольтный электрический импульс.

Ввиду сложности организации и проведения взрывных работ, а также их экологического вреда в последнее время используются разного рода невзрывные источники с импульсным ( $10^{-3} - 10^{-1}$  с) или квазинепрерывным (2 - 20 с) возбуждением. К импульсным относится установка газовой детонации, в которой используется газовзрывная смесь (например, пропан и кислород), находящаяся в цилиндре с подвижным поршнем. Цилиндр монтируется под грузовиком. При сгорании смеси поршень ударяет вниз, а удар вверх сдерживается массой грузовика. В вибраторах, предназначенных для возбуждения квазинепрерывных упругих колебаний, в аналогичный

цилиндр, как в гидравлический домкрат, нагнетается масло. При резком изменении объема масла платформа и грузовик своей массой ударяют по земной поверхности.\

Сейсмическая аппаратура.

Основное назначение сейсморазведочной аппаратуры - измерить время прихода упругих волн определенного типа, для чего необходимо знать момент возбуждения колебаний, воспринять смещения почвы под воздействием упругих волн, выделить полезные волны на фоне волн-помех, автоматически зарегистрировать их и оценить амплитуды.

Незначительные смещения почвы, обязанные приходу упругой волны, воспринимаются *сейсмоприемником* или *пьезоприемником*, предназначенным для преобразования механических колебаний в электрические сигналы. Эти очень слабые сигналы подаются по проводам или радиоканалу в электронный *усилитель*, откуда поступают в *регистрирующее устройство*. Совокупность сейсмоприемника (пьезоприемника), усилителя и регистрирующего устройства носит название *сейсмического канала*, или канала записи. В разных сейсмостанциях бывают от 1 до 1000 каналов. В комплекте аппаратуры с магнитной регистрацией, кроме канала записи, имеется *канал воспроизведения*, который служит для преобразования записи в видимую форму. Канал воспроизведения включает *воспроизводящее* (считывающее) *устройство*, *усилитель* воспроизведения, *регистрирующее устройство*.

В зависимости от решаемых геологических задач применяются разные виды сейсмических станций. Число каналов в станции, т.е. количество сейсмоприемников, усилителей, гальванометров или магнитных головок в регистраторе и т.п., бывает различным.

1. *Сейсмические установки*. Для разведки небольших глубин используются *одноканальные сейсмические установки (ОСУ)*. В ОСУ роль регистратора выполняет осциллограф с электронно-лучевой трубкой. В момент возбуждения упругих колебаний электронный луч начинает двигаться по экрану слева направо со строго постоянной скоростью. На пластины вертикального отклонения луча подается сигнал с усилителя. Наблюдая (или фотографируя) на экране трубки сигнал, можно определить время прихода волны. Сходное устройство имеют установки для измерения упругих свойств образцов породы, определения их в массиве пород, т.е. в обнажениях, одиночных выработках, шпурах или скважинах, а также при прозвучивании между ними. Для этого используются разные импульсные ультразвуковые приборы и установки.

2. *Сейсмические станции*. Цифровые и аналоговые многоканальные сейсмические станции - это сложные электронные установки,

смонтированные на автомашинах, на кораблях или переносные. Питание сейсмостанции осуществляется с помощью батарей аккумуляторов.

Современные цифровые сейсмостанции - это фактически специализированные компьютеры с большим числом идентичных каналов (от 24 до 1000). Они содержат блоки: воспринимающий, включающий набор сейсмоприемников, и регистрирующий, который содержит:

- набор усилителей с фильтрами по числу каналов станции,
- коммутатор каналов (мультиплексор), предназначенный для квантования сигналов, т.е. определения их амплитуд через определенные интервалы времени,
- преобразователь аналог-код для преобразования сигналов в цифровую форму в двоичной системе счисления,
- цифровой магнитный регистратор, регистрирующий цифровые сигналы на магнитную ленту,
- преобразователь код-аналог для визуализации сигнала на шлейфовом осциллографе, дающем изображение сигналов на диаграммной бумаге,
- блоки питания,
- контрольно-измерительные устройства.

5.6. Метод отраженных волн (МОВ). Уравнение годографа волны, отраженной от плоского наклонного контакта. система наблюдений МОВ. Интерпретация данных МОВ

В сейсморазведке основным является метод отраженных волн (МОВ), меньшее применение имеет метод преломленных волн (МПВ) (раньше его называли корреляционным - КМПВ), близкий к нему метод рефрагированных волн (МРВ), а также методы проходящих волн. Отраженные волны возникают практически на всех литологических границах, на которых скачок акустических жесткостей ( $\sigma V$ ) превышает 10% (при возрастании или убывании скоростей с глубиной).

Система наблюдений, т.е. размещение пунктов возбуждения и регистрации упругих волн, в методе отраженных волн должны быть такими, чтобы проследить отражающие границы непрерывно по изучаемому профилю (сейсмическое профилирование) или кусочно-непрерывно (сейсмическое зондирование).

Взрывные интервалы в МОВ выбирают сравнимыми с глубинами до изучаемых отражающих границ и постоянными по длине для данного района исследований. Вдалеке от пункта взрыва отраженные волны выявить трудно, так как они приходят в области последующих вступлений вслед за преломленными волнами. Вблизи же пункта взрыва преломленные волны отсутствуют, и отраженные волны легче выделить на фоне других волн.

Расстояния между сейсмоприемниками должны быть такими, чтобы распознать отраженные волны и построить годографы. Обычно они меняются от 1 до 10 м при изучении верхней части разреза и 10 - 100 м при разведке глубин в несколько километров.

Различают следующие системы наблюдений.

*Простые системы наблюдений.* Системы непрерывного профилирования в МОВ бывают следующими: простое профилирование, профилирование через интервал, двойное профилирование и ряд других. При простом профилировании (рис. 4.11) сейсмоприемники устанавливаются в пределах взрывного интервала (расстояние между соседними пунктами на профиле наблюдений) в обе стороны от пункта взрыва (возбуждения) (ПВ).

5.7. Интерференционные системы. Группирование. Метод общей глубинной точки (МОГТ).

*Система наблюдений в методе общей глубинной точки.* Разновидностью МОВ является метод общей глубинной точки (МОГТ или ОГТ), в котором осуществляется накопление отраженных от одной границы сигналов. Отраженные волны изучаются либо в точках профиля при симметричном разносе пунктов возбуждения и приема (центральная расстановка), либо пункты возбуждения располагаются на концах профиля с приемниками (фланговая расстановка). Число таких разносов называется кратностью перекрытий и достигает 10 и больше. В результате по годографу ОГТ (гипербола) удастся выделить отражения от границы на фоне регулярных волн-помех.

*Интерференционные системы наблюдений.* В сложных сейсмогеологических условиях (наличие зон выклинивания, нерезкие границы раздела, множество волн, особенности таких волн-помех, как кратные, обменные, поверхностные и др.) выделение полезных однократных отраженных волн представляет трудную методическую и техническую задачу.

Для выделения однократных отраженных продольных волн из множества других используются различные *интерференционные системы*. Они включают аппаратные, методические и интерпретационные приемы, которые обеспечивают направленный прием волн, идущих в каком-то направлении.

Существуют различные интерференционные системы. Наиболее простой

интерференционной системой является группирование сейсмоприемников или источников возбуждения. При *группировании сейсмоприемников* ряд сейсмоприемников устанавливается вдоль, вкрест профиля или равномерно по площади, подключается к одному усилителю, и в результате регистрируется один суммарный сигнал. Выбор количества сейсмоприемников в каждом канале, системы их расстановки, расстояний между ними (в пределах 20 - 100 м) производятся опытным путем в целях наилучшего выделения определенной волны. При группировании подчеркиваются волны, подошедшие одновременно ко всем сейсмоприемникам группы снизу, а волны, пришедшие с других направлений, ослабляются.

5.8. Метод преломленных волн (МПВ). Уравнение годографа. Системы наблюдений в МПВ. Интерпретация данных МПВ.

Так как вблизи пункта возбуждения головные преломленные волны отсутствуют, то система наблюдений МПВ должна строиться так, чтобы ближайший к пункту взрыва сейсмоприемник был установлен на некотором расстоянии, сравнимом с предполагаемой глубиной залегания преломляющей границы. Уверенная интерпретация данных МПВ возможна лишь тогда, когда по линии профиля можно построить по крайней мере два годографа, полученных из разных пунктов возбуждения (ПВ). Поэтому система наблюдения строится так, чтобы можно было построить встречные, когда годографы получаются в интервале между двумя ПВ, или нагоняющие годографы, когда они строятся из последовательно расположенных ПВ. Нагоняющие годографы от одной и той же плоской границы параллельны, поэтому по ним можно строить сводные годографы путем параллельных смещений частных годографов.

Обычно применяются полные корреляционные системы наблюдений, обеспечивающие непрерывное прослеживание преломленных волн вдоль профиля наблюдений.

Расстояние между приемниками в МПВ меняется от 10 до 100 м, а при детальном инженерно-геологическом исследовании - от 1 - 2 до 5 - 10 м. Преломленные волны отличаются пониженным спектром частот, так как из-за большого удаления от ПВ волны высоких частот поглощаются. Поэтому, работая на низкочастотных фильтрациях, можно избавиться от отраженных, прямых и других волн.

5.9. Области применения сейсморазведки. Роль глубинных сейсмических зондирований и профилирований в изучении оболочек Земли. Применение сейсморазведки в региональной геологии при поисках и разведке

нефтегазоносных структур, сейсмостратиграфии и прогнозировании геологических разрезов. Особенности рудной сейсморазведки. Применение сейсмических и сейсмоакустических методов при инженерно-геологических и гидрогеологических изысканиях.

Сейсморазведка - ведущий метод геофизики - применяется для решения различных геологических задач при глубинных и структурных исследованиях, поисках и разведке нефти, газа, других полезных ископаемых, изучении геологической среды, изысканиях при строительстве, разведке подземных вод и других.

**Глубинная сейсморазведка** предназначена для изучения глубин от 5 - 10 км до нескольких десятков километров. Она проводится методами *глубинных сейсмических зондирований* (ГСЗ) или профилирований (ГСП), отличающихся кусочно-непрерывным или непрерывным прослеживанием глубинных - в основном, преломленных, реже отраженных, которые быстрее затухают с глубиной - волн вдоль региональных профилей (геотравверсов). Возбуждение упругих колебаний осуществляется большими взрывами. Регистрация сверхнизкочастотных упругих колебаний (1 - 20 Гц) ведется на расстояниях 50 - 300 км от пунктов взрыва.

Глубинная сейсморазведка применяется для решения следующих задач:

- расчленения Земли на оболочки;
- картирования подошвы земной коры - поверхности Мохоровичича;
- выявления границ в земной коре, глубинных разломов, разных типов земной коры;
- изучения поверхности кристаллического фундамента.

По данным сейсмологии и глубинной сейсморазведки получена модель расчленения Земли на оболочки по скоростям продольных (P) и поперечных (S) волн

**Структурная сейсморазведка** - одно из основных направлений сейсморазведки. Структурная сейсмическая разведка, кроме решения задач структурной геологии, имеет четкую практическую направленность на поиск нефти и газа. Она проводится на суше, на морях, океанах, вдоль рек и имеет дело с глубинами исследования до 10 км. Структурные задачи решаются методом отраженных волн. Метод преломленных волн играет подчиненное значение и служит для картирования поверхности фундамента и выделения высокоскоростных слоев в осадочном чехле.

Для решения задач структурной геологии широко применяется морская и речная сейсморазведка. Морская сейсморазведка - один из наиболее быстрых методов сейсморазведки. Работы ведутся в модификации НСП, МОВ, МПВ

специальной автоматической аппаратурой без остановки судна.

**Нефтегазовая сейсморазведка.** В результате структурных геолого-геофизических исследований практически все перспективные на нефть и газ районы на суше и морском шельфе выявлены. В этих районах, начиная с более перспективных, ведутся площадные поисково-разведочные сейсмические работы методом МОВ - МОГТ.

По условиям формирования и залегания нефтяные месторождения располагаются на глубинах 1,5 - 4 км, а газовые - на глубинах 3 - 6 км. Главное назначение сейсморазведки - поиск структур, благоприятных нефтегазонакоплению. Их называют ловушками. Это такие зоны осадочных (реже изверженных) пород, в которых имеются пористые породы (коллекторы), например, пески, трещиноватые скальные породы, перекрытые непроницаемыми породами (экранами), например, глинами. Основными типами ловушек являются: антиклинальные или куполовидные поднятия, приуроченные к сбросам толщи коллекторов, рифогенные (известковые) выступы, соляные купола, зоны выклинивания, стратиграфические несогласия, древние долины и другие.

Все они при высоком качестве проведения полевых работ и цифровой обработке информации визуально прослеживаются на разрезах: временных по данным МОВ (лучше МОГТ) и глубинных (МОВ - МОГТ), на структурных картах по кровле опорных горизонтов, на картах мощностей коллекторов или экранов. Точность в определении глубин должна быть не менее 100 м.

Разведка структур проводится сложными интерференционными системами МОГТ в сочетании с сейсмоакустическими исследованиями поисковых скважин. Точность в определении изменений мощностей пород в ловушках должна достигать 25 м.

### **Рудная сейсморазведка.**

При поисках и разведке различных рудных месторождений сейсморазведка применяется значительно реже, чем нефти и газа. Это объясняется сложным сейсмогеологическим строением рудных районов.

Рудная сейсморазведка применяется для:

- определения мощности наносов, картирования поверхности коренных пород и мощности зоны выветривания;
- выявления структур, благоприятных рудонакоплению, и изучения внутренней структуры рудных полей;
- картирования под наносами крутозалегающих пластов, метаморфических и изверженных пород;

- трассирования тектонических нарушений, зон дроблений, трещиноватости.

### **Инженерно-гидрогеологическая сейсморазведка.**

При изучении геологической среды с целью инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий (гидростроительство, дорожное, промышленное и гражданское строительство, в том числе в районах вечной мерзлоты, поиски подземных вод, решение различных геоэкологических, мерзлотно-гляциологических и других задач) сейсморазведка находит все большее применение. Она используется для изучения глубины залегания коренных пород, расчленения осадочных толщ, определения мощности коры выветривания, мощности льда, картирования вечной мерзлоты, прослеживания разрывных нарушений, трещиноватых закарстованных зон, изучения оползней, определения уровня подземных вод.

Инженерно-гидрогеологическая сейсморазведка имеет дело с небольшими глубинами, поэтому возбуждение упругих волн проводится с помощью малых взрывов или ударов. Для разведки небольших глубин (до 30 - 40 м) применяется микросейсморазведка. Работы выполняются с помощью легких одноканальных сейсмических установок ОСУ (вес всего оборудования до 30 кг) или малоканальных (2 - 4). Возбуждение упругих волн производится ударом кувалды. Работы выполняются в модификации МПВ, реже МОВ.

5.10. Сейсмоэлектрические методы (СЭМ). Пьезоэлектрический метод (ПЭМ) и метод сейсмоэлектрических потенциалов (МСЭП). Наземные и подземные варианты этих методов для поисков пьезоэлектрического сырья и решения некоторых инженерно-гидрогеологических задач.

На изменении сейсмоэлектрических свойств горных пород основан сейсмоэлектрический метод, находящийся на стыке сейсморазведки и электроразведки. К сейсмоэлектрическим свойствам относят различные пьезоэлектрические модули. В минералах с асимметричным строением кристаллов (кварц, турмалин, сфалерит, нефелин и др.) под действием упругой деформации ( $F$ ) на гранях возникают электрические заряды ( $q$ ). Они связаны соотношением  $q = dF$ , где  $d$  - пьезоэлектрические модули.

Пьезоэлектрические модули горных пород характеризуются не только наличием и процентным содержанием в породе минералов-пьезоэлектриков, но и их определенной упорядоченностью. Если кристаллы в породе ориентированы по направлению одного из элементов симметрии, то порода отличается повышенными значениями  $d$  и может быть отнесена к так называемым *пьезоэлектрическим текстурам*.



*Кварцосодержащие* породы, особенно если в них имеется горный хрусталь, отличаются наибольшими пьезоэлектрическими модулями, хотя они в десятки и сотни раз меньше, чем модули монокристалла кварца. По мере убывания от  $10^{-3}$  до  $10^{-6}$  кл/н эти породы можно расположить в следующем порядке: жильный кварц, кварцевые ядра пегматитовых жил, кварциты, граниты, гнейсы, песчаники. Объясняется это тем, что в изверженных породах в процессе их образования минералы более закономерно ориентируются относительно кристаллографических осей, в то время как в осадочных породах зерна кварца занимают беспорядочное положение.

*Нефелиносодержащие* породы обладают значениями от  $10^{-6}$  до  $10^{-4}$  кл/н. В породах, содержащих другие минералы-пьезоэлектрики, меньше  $10^{-5}$  кл/н. Пьезоэлектрические модули горных пород с пьезоэлектрическими минералами определяются не только содержанием этих минералов и их пространственным положением, но и генезисом пород, их диэлектрической проницаемостью и упругими свойствами.

*Сейсмоэлектрический* эффект обусловлен электрокинетическими процессами влагосодержащих пород. Он определяется их минеральным составом, структурой и текстурой, а в основном пористостью, влажностью, составом и концентрацией растворенных в воде солей. С увеличением пористости и связанной влаги растёт, а с увеличением свободной влаги либо мало меняется, либо уменьшается. Кроме перечисленных геолого-гидрогеологических факторов они зависят от электрических и упругих свойств этих пород. В целом пьезоэлектрические модули влагосодержащих пород меняются от  $10^{-6}$  до  $10^{-4}$  кл/н.

## **6. Радиометрия и ядерная геофизика.**

### **6.1. Характеристика и классификация методов ядерной геофизики.**

Ядерная геофизика объединяет физические методы поисков и разведки радиоактивных руд по их естественной радиоактивности (радиометрия) и поэлементного анализа горных пород путем изучения вызванной радиоактивности (ядерно-геофизические методы). Находясь на стыке между геофизикой и геохимией, она по своей сущности, методике и технике наблюдений относится к геофизическим методам, хотя решает некоторые геохимические задачи. Ядерная геофизика отличается "близкодействием", т.е. малой глубиной исследований (десятки см по породе) вследствие быстрого поглощения ядерных излучений окружающими породами и воздухом. Однако продукты радиоактивного распада способны мигрировать, образуя вокруг пород и руд газовые, водные и механические ореолы рассеяния, по которым можно судить о радиоактивности коренных пород.

Основными методами радиометрии являются гамма-съемка (ГС), предназначенная для изучения интенсивности гамма-излучения, и

эманационная съемка (ЭС), при которой по естественному альфа-излучению почвенного воздуха определяют концентрацию в нем радиоактивного газа - радона. Гамма-методы (ГМ) служат для поисков и разведки не только радиоактивных руд урана, радия, тория и других элементов, но и парагенетически или пространственно связанных с ними нерадиоактивных полезных ископаемых (редкоземельных, металлических, фосфатных и др.). С их помощью можно определять абсолютный возраст горных пород. Гамма- и эманационную съемки используют также для литологического и тектонического картирования и решения других задач.

К ядерной геофизике относится так называемый геокосмический метод, основанный на подземной регистрации космических мюонов (мю-мезонов).

Искусственная радиоактивность возникает при облучении горных пород и сред гамма-квантами или нейтронами. Измеряя те или иные характеристики наведенного поля, можно судить о гамма- и нейтронных свойствах горных пород, которые определяются химическим составом элементов и физическими свойствами пород. Существует множество искусственных ядерно-физических методов определения химического состава и физических свойств горных пород, основанных на использовании либо нейтронов (нейтрон-нейтронные, нейтрон-гамма и др.), либо гамма-излучений (гамма-гамма, гамма-нейтронный, рентгенорадиометрический и др.).

Методы ядерной геофизики подразделяют на воздушные, полевые, подземные, лабораторные, но наибольшее применение находят скважинные ядерные методы.

6.2. Общие сведения о радиоактивности. Состав, энергия и взаимодействие радиоактивных излучений с веществом. Радиоактивность руд, горных пород, природных вод, почвенного воздуха и атмосферы.

Самопроизвольный распад неустойчивых атомных ядер, спонтанно превращающихся в ядра других элементов и сопровождающийся испусканием альфа-, бета-частиц, гамма-квантов и другими процессами, называется естественной радиоактивностью. Известно более 230 радиоактивных изотопов различных элементов, называемых радиоактивными нуклидами (радионуклидами). Радиоактивность тяжелых металлов с порядковым номером в таблице Менделеева, большим 82, сводится к последовательным превращениям одних элементов в другие и заканчивается образованием устойчивых нерадиоактивных изотопов. Основными радиоактивными рядами или семействами тяжелых элементов являются ряды урана-238, урана-235, тория-232. Перечисленные элементы (их называют материнскими радионуклидами) являются родоначальниками семейств и относятся к долгоживущим: у них период полураспада ( $T_{1/2}$ ), т.е. время,

необходимое для того, чтобы число атомов уменьшилось вдвое, составляет  $4,5 \cdot 10^9$ ;  $7,13 \cdot 10^8$ ;  $1,39 \cdot 10^{10}$  лет соответственно. В состав семейств урана входят такие дочерние радионуклиды, как радий ( $T_{1/2} = 1620$  лет) и самый долгоживущий радиоактивный газ - радон ( $T_{1/2} = 3,82$  сут). Конечным продуктом превращений урана является нерадиоактивный радиогенный свинец.

Кроме радиоактивных семейств, имеются одиночные радионуклиды, в которых радиоактивный распад ограничивается одним актом превращений. Среди них наиболее распространен калий-40 ( $T_{1/2} = 1,4 \cdot 10^9$  лет). В целом в земной коре повышены концентрации следующих трех радиоактивных элементов: урана ( $2,5 \cdot 10^{-4}$  %), тория ( $1,3 \cdot 10^{-3}$  %) и калия-40 (2,5 %). Поэтому в радиометрии изучают только эти элементы. Они находятся в горных породах в рассеянном состоянии в виде изоморфных примесей и самостоятельных минералов.

Радиоактивный распад как процесс превращения одних изотопов в другие обусловлен внутренним состоянием атомных ядер, не зависимым от внешних условий. Это процесс случайный, т.е. событие вылета частицы из ядра, преодолев ядерное притяжение, носит вероятностный характер. Радиоактивный распад характеризуют следующие параметры.

1. *Период полураспада.* Период полураспада ( $T_{1/2}$ ), который у различных элементов изменяется в очень широких пределах - от  $10^{-6}$  до  $10^{10}$  лет. Для каждого элемента он является определенной и постоянной величиной и может служить его диагностическим признаком. В ядерной физике известна следующая формула:

$$N = N_0 \cdot e^{-0,693t/T_{1/2}}, \quad (6.1)$$

устанавливающая связь между начальным числом атомов какого-либо радиоактивного элемента  $N_0$  в момент его образования и числом атомов  $N$  этого же элемента спустя время  $t$ , например, в настоящее время. Между долгоживущим материнским нуклидом с числом атомов  $N_M$  и периодом полураспада  $T_{1/2M}$  и дочерним элементом с  $N_D$  и  $T_{1/2D}$  существует радиоактивное равновесие, выражаемое уравнением:

$$N_M T_{1/2D} = N_D T_{1/2M}, \quad (6.2)$$

полученным из соотношений (6.1) и позволяющим определить какой-нибудь один параметр, если известны три других. Из (6.1) можно получить скорость распада ядер

$$V = -dN/dt = N_0 0,693/T_{1/2} = N_0 \lambda,$$

где  $\lambda = T_{1/2}/0,693$  - постоянная распада, т.е. скорость распада ( $V = \lambda N_0$ ), пропорциональна числу ядер в начале распада и постоянной распада.

2. *Состав естественных излучений.* Естественная радиоактивность состоит из альфа-, бета-, гамма-, нейтронных и других излучений.

Альфа-излучение представляет собой поток положительно заряженных частиц (ядер атомов гелия), энергия которых на длине пути около 10 см в воздухе и долей миллиметров в породе тратится на ионизацию и нагревание окружающей среды, поэтому проникающая способность у них очень мала.

Бета-излучение представляет собой поток электронов и позитронов, энергия которых тратится на ионизацию и возбуждение атомов окружающей среды. В результате они рассеиваются (это приводит к ослаблению их интенсивности) и поглощаются (теряют свою энергию) на длине пути, в 100 раз большей, чем альфа-излучение.

Гамма-кванты представляют собой поток электромагнитного излучения очень высокой частоты ( $f > 10^{18}$  Гц). Хотя они также рассеиваются и поглощаются окружающей средой, но благодаря своей электрической нейтральности отличаются еще более высокой проникающей способностью (сотни метров в воздухе и до метра в горных породах).

Кроме перечисленных излучений, радиоактивный распад может сопровождаться захватом некоторыми ядрами электронов из собственных оболочек атомов (*K* и *L*-захват) с возникновением мягкого и рентгеновского гамма-излучений, спонтанными излучениями ядер нейтронов и другими процессами.

К излучениям, широко используемым в ядерной геофизике, относится нейтронное излучение. Оно возникает при ядерных реакциях (например, в смеси полония и бериллия) или создается с помощью управляемых генераторов нейтронов, циклотронов и др. Из всех видов излучений нейтронное обладает наибольшей проникающей способностью. Однако нейтроны замедляются в процессе рассеяния, а затем поглощаются средой, т.е. захватываются ядрами атомов за время от микросекунд до миллисекунд. В свою очередь, захват сопровождается мгновенным испусканием гамма-квантов и других частиц.

. *Количество, концентрация, доза и мощность дозы гамма-излучения.* Количество и концентрация долгоживущих элементов урана, тория, калия (U, Th, K-40) в горной породе определяются их процентным содержанием. Абсолютной единицей радиоактивности в системе СИ является беккерель (1 Бк = 1 расп./с). Иногда используют внесистемную единицу Г-экв Ра (количество вещества, гамма-излучение которого эквивалентно излучению 1 г радия). Единицей удельной радиоактивности в СИ служит беккерель на

единицу массы или объема. За единицу экспозиционной дозы облучения в СИ принят кулон на килограмм (Кл/кг) и внесистемная единица - рентген ( $1\text{Р} = 2,58 \cdot 10^{-4}$  Кл/кг). Мощность дозы, т.е. облучение за единицу времени, в радиометрии выражают в амперах на килограмм (А/кг) и микрорентгенах в час (мкР/ч).

Радиоактивность горных пород и руд тем выше, чем больше концентрация в них естественных радиоактивных элементов семейств урана, тория, а также калия-40. По радиоактивности (радиологическим свойствам) породообразующие минералы подразделяют на четыре группы.

- Наибольшей радиоактивностью отличаются минералы урана (первичные - уранит, настуран, вторичные - карбонаты, фосфаты, сульфаты уранила и др.), тория (торианит, торит, монацит и др.), а также находящиеся в рассеянном состоянии элементы семейства урана, тория и др.
- Высокой радиоактивностью характеризуются широко распространенные минералы, содержащие калий-40 (полевые шпаты, калийные соли).
- Средней радиоактивностью отличаются такие минералы, как магнетит, лимонит, сульфиды и др.
- Низкой радиоактивностью обладают кварц, кальцит, гипс, каменная соль и др. В этой классификации радиоактивность соседних групп возрастает примерно на порядок.

Радиоактивность горных пород определяется прежде всего радиоактивностью породообразующих минералов. В зависимости от качественного и количественного состава минералов, условий образования, возраста и степени метаморфизма их радиоактивность изменяется в очень широких пределах. Радиоактивность пород и руд по эквивалентному процентному содержанию урана принято подразделять на следующие группы:

- породы практически нерадиоактивные ( $U < 10^{-5} \%$ );
- породы средней радиоактивности ( $U < 10^{-4} \%$ );
- высокордиоактивные породы и убогие руды ( $U < 10^{-3} \%$ );
- бедные радиоактивные руды ( $U < 10^{-2} \%$ );
- рядовые и богатые радиоактивные руды ( $U > 0,1 \%$ ). К практически нерадиоактивным относятся такие осадочные породы, как ангидрит, гипс, каменная соль, известняк, доломит, кварцевый песок и др., а также ультраосновные, основные и средние породы. Средней радиоактивностью отличаются кислые изверженные породы, а из осадочных - песчаник, глина и особенно тонкодисперсный морской ил, обладающий способностью адсорбировать радиоактивные элементы, растворенные в воде. Радиоактивные руды (от убогих до богатых) встречаются на урановых или ураново-ториевых месторождениях эндогенного и экзогенного

происхождения. Их радиоактивность изменяется в широких пределах и зависит от содержания урана, тория, радия и других элементов.

С радиоактивностью горных пород тесно связана радиоактивность природных вод и газов. В целом в гидросфере и атмосфере содержание радиоактивных элементов ничтожно мало. Подземные воды могут иметь разную радиоактивность. Особенно велика она у подземных вод радиоактивных месторождений и вод сульфидно-бариевого и хлоридно-кальциевого типов. Радиоактивность почвенного воздуха зависит от количества эманаций таких радиоактивных газов, как радон, торон, актинон. Ее принято выражать коэффициентом эманирования пород ( $C_a$ ), являющимся отношением количества выделившихся в породу долгоживущих эманаций (в основном радона с наибольшим  $T_{1/2}$ ) к общему количеству эманаций. В массивных породах  $C_a = 5 - 10\%$ , в рыхлых трещиноватых  $C_a = 40 - 50\%$ , т.е.  $C_a$  увеличивается с ростом коэффициента диффузии.

6.3. Аппаратура для измерения радиоактивности. Газонаполненные и сцинтилляционные счетчики. Аэро- и авторадиометры. Полевые радиометры и эманометры.

### **Чувствительные элементы для измерения радиоактивности.**

Чувствительные элементы (их называют также детекторами) служат для определения интенсивности и энергетического спектра ядерных излучений путем преобразования энергии радиоактивного излучения в электрическую энергию. В аппаратуре для ядерно-геофизических исследований в качестве чувствительных элементов используют ионизационные камеры, счетчики Гейгера - Мюллера, полупроводниковые детекторы, сцинтилляционные счетчики, термолюминесцентные кристаллы

- В ионизационной камере находятся газ и два электрода, к которым подводят напряжение в несколько сот вольт. Под действием альфа-, бета-лучей или вторичных заряженных частиц, возникающих при поглощении нейтронов, газ ионизируется, а получающиеся свободные электроны и ионы движутся к электродам. В результате в цепи возникает ток. Измеряя его или разность потенциалов, можно определить интенсивность излучений, вызывающих ионизацию.
- В счетчиках Гейгера - Мюллера, называемых также газоразрядными, в баллоне под пониженным давлением находится инертный газ (обычно аргон для измерения гамма-лучей или гелий для определения потока нейтронов) и два электрода под высоким напряжением (до 1000 В). При появлении хотя бы одной пары ионов возникает краткий разряд. При облучении баллона гамма-квантами возникают вторичные заряженные частицы (ионы и электроны) и в нем наблюдается система разрядов в виде импульсов тока, которые можно зафиксировать.

- Полупроводниковый детектор - твердотельный аналог ионизационной камеры. Ионизирующие частицы, возникающие при облучении детектора, создают в полупроводнике электронно-дырочные пары, что при воздействии электрического напряжения приводит к возникновению тока.
- Сцинтилляционный счетчик состоит из сцинтиллятора (неорганические или органические кристаллы, жидкие и газообразные), способного под действием гамма-квантов испускать вспышки света. Кванты света, попадая на фотокатод фотоумножителя, выбивают из него электроны. За счет вторичной эмиссии и наличия ряда электродов, находящихся под все большим напряжением, в фотоумножителе возникает лавинообразный, увеличивающийся поток электронов. В результате на аноде собирается в  $10^5$  -  $10^{10}$  раз больше электронов, чем было выбито из фотокатода, а в цепи возникает электрический ток.
- Термолюминесцентный кристалл (например, LiF) обладает способностью под действием ионизации создавать свободные электроны, которые накапливаются за счет дефектов кристаллической решетки кристалла и могут долго храниться. Такой кристалл будет испускать свет, и на выходе фотоумножителя возникнет электрический ток, пропорциональный принятой ранее дозе облучения.

## **Приборы для ядерно-геофизических исследований.**

1. *Общая характеристика.* В радиометрических приборах, кроме чувствительных элементов, имеются усилители, индикаторы (для визуального отсчета), регистраторы (для автоматической записи) интенсивности либо естественного гамма-излучения  $I_\gamma$ , либо концентрации эманаций радона ( $C_r$ ), либо искусственно вызванных излучений  $I_{\gamma\gamma}, I_{\alpha\beta}, I_{\beta\gamma}$ . Для определения энергетического спектра излучений в приборах устанавливают дискриминаторы и амплитудные анализаторы. С их помощью выделяют импульсы, соответствующие определенному диапазону энергий ионизирующих излучений. Далее сигналы подаются в нормализаторы, которые создают импульсы определенной амплитуды и формы для их измерения или регистрации.

2. *Аэро- и авторадиометры.* Для воздушной и автомобильной гамма-съемок используют различные аэро- и авторадиометры, отличающиеся быстродействием, т.е. малой инерционностью. Они состоят из набора сцинтилляционных счетчиков, а также блоков: усилительного, регистрирующего, питания. Набор сцинтилляционных счетчиков служит для повышения чувствительности при измерении радиоактивности. В усилительно-регистрирующих блоках смонтированы каналы, состоящие из усилителей, дискриминаторов, нормализаторов, регистрирующих устройств. Они предназначены для определения гамма-активности, разных энергетических спектров излучения, т.е. являются гамма-спектрометрами.

Питание приборов осуществляется от бортовой сети самолета (вертолета) или аккумуляторов автомобиля.

3. *Полевые радиометры.* Для наземной (пешеходной) гамма-съемки используют разного рода полевые радиометры (СРП-68, СРП-88 и др.) со стрелочным индикатором на выходе. Кроме того, с помощью наушников можно осуществлять звуковую индикацию импульсов. Конструктивно прибор состоит из выносного зонда, пульта управления и питания от сухих анодных батарей.

Для того, чтобы по шкале измерительного микроамперметра можно было определить интенсивность гамма-излучения  $I_\gamma$ , радиометры градуируют. С этой целью используют образцовый излучатель радия, помещаемый в коллиматор для создания узкого пучка гамма-излучения.

Для определения энергетического спектра радиоактивных излучений с целью отдельного определения концентраций U, Th, K-40 используются полевые гамма-спектрометры (СП-4 и др.).

В этих приборах, кроме сцинтилляционных счетчиков, имеются дискриминаторы, с помощью которых определяют интенсивности гамма-лучей разного энергетического уровня.

4. *Эманометр.* Для изучения концентрации радона в подпочвенном воздухе используют эманометры. Серийно изготавливаемый эманометр (типа "Радон" и др.) состоит из сцинтилляционной камеры РГА-01, а также насоса и набора зондов, с помощью которого подпочвенный воздух отсасывается с глубины до 1 м. Чем больше концентрация радона в нем, тем больше альфа-частиц фиксирует счетчик. Прибор питается от сухих анодных батарей.

6.4. Радиометрические методы разведки. Воздушные, наземные, автомобильные, пешеходные и глубинные гамма-съемки. Эманационная съемка.

Радиометрические методы разведки (радиометрия) - это методы поисков, разведки радиоактивных руд, их радиометрического опробования, а также решения других картировочно-поисковых и геоэкологических задач, основанные на изучении естественной радиоактивности руд и горных пород.

Возможность радиоактивной разведки обусловлена, с одной стороны, разной радиоактивностью руд и пород, а с другой, - миграцией радиоактивных элементов и продуктов распада подземными водами и подпочвенным воздухом. Так как глубинность радиометрии невелика (до 1 м), объектом поисков чаще являются ореолы рассеяния радиоактивных элементов. Из всех видов радиоактивных излучений наибольшей проникающей способностью



обладают гамма-кванты, поэтому в радиометрии применение нашли в основном методы гамма-съемки. Эти методы предназначены для изучения интенсивности естественного гамма-излучения, а чаще и его энергетических характеристик.

К методам радиометрии относятся воздушная, автомобильная, пешеходная, глубинная гамма-съемки, радиометрический анализ проб горных пород, эманационная съемка, а также методы опробования, предназначенные для оценки концентрации радиоактивных элементов в обнажениях и горных выработках. В горных выработках изучают также жесткую компоненту космического излучения.

Одним из наиболее быстрых и экономичных методов радиометрии, применяемым обычно в комплексе с магниторазведкой, а иногда и с электроразведкой, является аэрогамма-съемка. Для работ используют комплексные аэрогеофизические станции, в которых имеется аэрогамма-спектрометр для измерения интенсивности излучения разных энергий (обычно по урану, торию, калию-40).

Методика аэрогамма-съемки сводится к непрерывной регистрации естественного гамма-излучения  $I_{\gamma}$  разных энергий на высоте  $h$ . Работы проводят либо по отдельным маршрутам, либо по системе параллельных маршрутов, равномерно покрывающих разведываемую площадь.

Скоростной наземной гамма-съемкой, выполняемой автоматически во время движения, является автогамма-съемка. Работы проводят с помощью автогамма-спектрометров (АГС-3, АГС-4). Чувствительность автогамма-съемки значительно выше, чем у аэрогамма-съемки, благодаря приближению станции к объекту исследования. С ее помощью проводят как детализацию аэрогамма-аномалий, так и их первичный поиск.

Методика автогамма-съемки сводится к профильным и площадным наблюдениям на участках, доступных для автомашин высокой проходимости. Расстояние между профилями зависит от возможности проезда машин, масштаба съемки, предполагаемых размеров разведываемых объектов. Масштабы площадной автогамма-съемки изменяются от 1 : 2 000 до 1 : 10 000 при расстоянии между профилями соответственно от 20 до 100 м. Скорость съемки - 3 - 15 км/час. Работы можно выполнять при разной высоте поднятия кассеты с чувствительным элементом над земной поверхностью. С высоко поднятой кассетой увеличивается ширина зоны разведки, с низко расположенной - возрастает интенсивность поля и детальность разведки. Профили наблюдений привязывают визуально, по ориентирам и карте, а также с помощью специальных курсопрокладчиков.

## 6.5. Нейтронные и гамма-лучевые свойства горных пород. Ядерно-физические методы исследования с целью их поэлементного анализа. Нейтронные методы. Гамма-гамма методы.

Под ядерно-физическими (гамма- и нейтронными) свойствами горных пород понимают их способность по-разному рассеивать, замедлять и поглощать гамма-кванты или нейтроны разных энергий. Эти свойства вытекают из рассмотренных выше физических явлений, сопровождающих взаимодействие гамма-квантов с электронами и ядрами атомов (фотоэлектрическое поглощение, комптоновское взаимодействие, образование электронно-позитронных пар и др.) или нейтронов с ядрами атомов (неупругое и упругое рассеяние и поглощение, сопровождающееся захватом тепловых нейтронов ядрами атомов и вторичным гамма-излучением). Вероятность того или иного взаимодействия зависит от энергии гамма-квантов или нейтронов, от пути проходящего излучения в горной породе и ее ядерно-физических свойств. Основными из этих свойств являются микро- или макроскопические сечения взаимодействия гамма-квантов и нейтронов с отдельными или всеми атомами изучаемой горной породы.

Основным гамма-лучевым свойством породы является ее способность поглощать и рассеивать гамма-лучи. Количественно это свойство описывается полным линейным коэффициентом ослабления и поглощения  $\mu_{\gamma}$  или суммарным (полным) макроскопическим сечением взаимодействия гамма-лучей с единицей объема горной породы

Основным нейтронным свойством горных пород и сред является их способность поглощать и рассеивать нейтроны. Количественно это свойство описывается полным линейным коэффициентом ослабления и поглощения  $\mu_n$  или суммарным (полным) макроскопическим взаимодействием нейтронов с единицей объема горной породы. У большинства элементов микроскопическое сечение ядра изменяется в пределах  $(0,1 - 10) \cdot 10^{-25} \text{ м}^2$ . Практически коэффициент  $\mu_n$  является эффективным коэффициентом, характеризующим и замедляющие, и поглощающие свойства горной породы  $\mu_{\text{эф}}$  при облучении ее нейтронами.

Величину, обратную  $\mu_{\text{эф}}$ , называют полной длиной пробега нейтронов ( $L_n$ ). Она включает длину замедления и длину диффузии. Средняя длина замедления нейтронов ( $L_s$ ) определяется способностью ядер рассеивать нейтроны и равна расстоянию, на котором энергия нейтронов уменьшается от исходной (у быстрых нейтронов энергия превышает 0,5 МэВ) до тепловой (0,025 эВ). Наименьшей длиной замедления ( $L_s < 10 \text{ см}$ ) обладают минералы, в которых имеются бериллий, углерод, железо и водородосодержащие породы, насыщенные водой, нефтью или газом. В других породах, особенно

содержащих тяжелые химические элементы, составляет первые десятки сантиметров.

На изменении перечисленных нейтронных свойств химических элементов основаны нейтронные методы поэлементного анализа горных пород и их водонефтегазонасыщенности. Они сводятся к изучению плотности (интенсивности) тепловых нейтронов  $I_{\text{тн}}$  или вторичного гамма-излучения  $I_{\text{вг}}$ .

В искусственных ядерно-геофизических методах образцы горных пород или стенки горных выработок, скважин и обнажений облучаются с помощью ампульных источников тех или иных радиоактивных элементов и их смесей или генераторов нейтронов. Для получения излучений разных энергий источники помещают в экраны-замедлители, ослабляющие излучения (свинцовые - для гамма-излучений, кадмиевые или парафиновые - для нейтронов). Наибольшее практическое применение ядерно-геофизические методы получили при геофизических исследованиях скважин. Ниже рассмотрим лишь несколько лабораторных методов, в которых изучаются образцы или обнажения горных пород.

В нейтронных методах изучаемые породы облучаются нейтронами при разных энергиях, удалениях и временах облучения и измерения разных излучений (15.3.3). Рассмотрим некоторые из них.

1. *Активационный анализ.* Сущность активационного анализа сводится к облучению образцов горных пород быстрыми или медленными нейтронами и изучению наведенной радиоактивности, с образованием радионуклидов определенного периода полураспада. При этом изменяется как время облучения, так и время изучения наведенной альфа-, бета- или гамма-активности. Измерив интенсивность вторичного гамма-излучения для разных времен после окончания облучения, по графику зависимости от  $I_{\text{вг}}(t)$  можно оценить период полураспада, а значит, наличие того или иного химического элемента в образце. Активационный метод характеризуется повышенной чувствительностью к элементам, отличающимся высокой активационной способностью, таким, как Al, Cd, Cl, Cu, K, Mn, Na, P, Si и др.

2. *Нейтронный анализ.* Нейтронный анализ горных пород сводится к облучению их медленными нейтронами и определению плотности потока тепловых нейтронов  $I_{\text{тн}}$  или интенсивности вторичного гамма-излучения  $I_{\text{вг}}$ . Графики зависимости  $I_{\text{тн}}(I_{\text{вг}})$  от расстояния до источника характеризуют поглощающие свойства вещества. По ним выделяют элементы, ядра которых обладают аномально высоким сечением поглощения медленных нейтронов (B, Fe, Cd, Cl, Li, Mn, H g, редкоземельные элементы и др.). Широко используют автомобильную и пешеходную борометрические съемки для выявления бора в слое толщиной до 25 см.

На выявлении аномально высокого сечения замедления нейтронов основаны

методы изучения водородосодержащих пород. В частности, с помощью влагомеров определяют влажность горных пород, если их плотность определена другими методами (например, плотностной гамма-гамма-метод).

3. *Гамма-спектральный метод.* Гамма-спектральным методом изучают энергетический состав вторичного гамма-излучения радиационного захвата  $I_{\text{вз}}$ . Возможность таких исследований основана на том, что каждый элемент облучаемой породы, захватывая тепловые нейтроны, дает  $I_{\text{вз}}$  определенной энергии и спектра. Гамма-спектральный метод применяют для анализа руд, содержащих Fe, Cu, Ni, Al, K, Na и другие элементы.

К гамма-методам относятся методы изучения физико-химических свойств горных пород путем облучения их источниками гамма-лучей разных энергий.

1. *Фотонейтронный анализ.* На облучении образцов размельченной горной породы жесткими гамма-квантами высоких энергий (свыше 1 - 2 МэВ) и определении интенсивности вторичных нейтронов  $I_{\text{н}}$  основан фотонейтронный анализ. Повышение  $I_{\text{н}}$  наблюдается в присутствии бериллия и дейтерия, поэтому фотонейтронный анализ наибольшее применение находит при анализе содержания этих элементов и, в частности, при изучении водоносных и нефтеносных пород, в которых много дейтерия.

2. *Плотностной гамма-гамма-метод.* Если горные породы облучать гамма-квантами с энергией выше 0,3 МэВ, то в них преобладает комптоновское рассеяние, которое практически не зависит от состава пород и руд, а определяется их плотностью. Интенсивность  $I_{\text{вз}}$  на расстоянии свыше 20 см от источника изменяется по экспоненциальному закону в зависимости от плотности. На этом явлении основан плотностной гамма-гамма-метод (ГГМ-П), с помощью которого определяют среднюю плотность пород в слое толщиной до 20 см.

3. *Селективный гамма-гамма-метод.* Если горные породы облучать гамма-квантами энергией, меньшей 0,3 МэВ, то происходит их фотоэлектрическое поглощение. Определяемый по  $I_{\text{вз}}$  коэффициент ослабления лучей зависит от эффективного атомного номера породы ( $Z_{\text{эф}}$ ), под которым понимается некоторый усредненный атомный номер, определяемый атомными номерами химических элементов в породе ( $Z_i$ ), поглощающих гамма-лучи, и их массовыми долями ( $q_i$ ) в ней, т.е.

$$Z_{\text{эф}} \approx \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (Z_i q_i)^2},$$

где  $N$  - общее число изученных в породе элементов. На использовании этого явления основан селективный гамма-гамма-метод (ГГМ-С) для определения содержания в образцах, обнажениях и стенках скважин и горных выработок тяжелых элементов (Fe, Hg, Sb, Pb, W и др.).

4. *Рентгенорадиометрический метод.* При облучении горных пород мягким гамма-излучением (энергия меньше 0,1 МэВ) можно наблюдать характеристическое рентгеновское излучение. На его изучении основан рентгенорадиометрический метод (PPM) определения содержания в породах многих элементов (Fe, Pb, Mn, Mo, Sb, Sn, Cr, W, Zn и др.). Существуют и другие ядерно-физические методы определения физико-химических свойств пород на образцах и в массиве.

## **7. Термическая разведка.**

### **7.1. Общая характеристика разных методов терморазведки.**

Геотермическая разведка (терморазведка) объединяет физические методы исследования естественного теплового поля Земли с целью изучения ландшафтов, термического режима земной коры и верхней мантии, выявления геотермических ресурсов, решения поисково-разведочных и инженерно-гидрологических задач. Меньшее применение находят методы искусственных тепловых полей. Тепловое поле определяется внутренними и внешними источниками тепла и тепловыми свойствами горных пород. При терморазведке регистрируют радиотепловое и инфракрасное излучение земной поверхности, измеряют температуру, ее вертикальный градиент или тепловой поток. Распределение этих параметров в плане и по глубине несет информацию о термических условиях и геологическом строении изучаемого района.

Основными методами терморазведки являются: радиотепловые (РТС) и инфракрасные (ИКС) съемки; региональные термические исследования на суше и акваториях; локальные поисково-разведочные термические исследования, направленные на выявление и изучение месторождений полезных ископаемых; инженерно-гидрогеологические термические исследования, предназначенные для изучения мерзлотных условий и движения подземных вод; термический каротаж, который служит для документации разрезов скважин по теплопроводности вскрытых горных пород; методы искусственных тепловых полей при работах на акваториях и в скважинах.

### **7.2. Тепловое поле Земли. Региональные тепловые потоки в океанах, на континентах, их природа. Тепловые свойства горных пород.**

Источниками теплового поля Земли являются процессы, протекающие в ее недрах, и тепловая энергия Солнца. К внутренним источникам тепла относят радиогенное тепло, которое создается благодаря распаду рассеянных в горных породах изотопов урана, тория, калия и иных радиоактивных

элементов, и тепло, обусловленное различными процессами, протекающими в Земле (гравитационной дифференциацией, плавлением, химическими реакциями с выделением или поглощением тепла, деформацией за счет приливов под действием Луны и Солнца и некоторыми другими). Тепловая энергия перечисленных источников, высвобождающаяся на земной поверхности в единицу времени, значительно выше энергии тектонических, сейсмических, гидротермальных процессов.

Внутреннее тепловое поле отличается высоким постоянством. Оно не оказывает влияния на температуру вблизи земной поверхности или климат, так как энергия, поступающая на земную поверхность от Солнца, в 1000 больше, чем из недр. Вместе с тем среднее тепловое воздействие Солнца не определяет теплового состояния Земли и способно поддерживать постоянную температуру на поверхности Земли около 0° С. Фактически же благодаря изменению солнечной активности температура приповерхностного слоя воздуха, а с некоторым запаздыванием и температура горных пород изменяются.

Ниже нейтрального слоя температура пород повышается в среднем на 3° С при погружении на каждые 100 м. Это объясняется наличием регионального теплового потока от источников внутреннего тепла Земли, поднимающегося к поверхности. Его величину принято характеризовать плотностью теплового потока (или просто тепловым потоком)  $q$ . Среднее значение теплового потока как на суше, так и в океанах одинаково и составляет 0,06 Вт/м<sup>2</sup>, отклоняясь от него не более чем в 5 - 7 раз. Постоянство средних тепловых потоков суши и океанов при резком изменении мощностей и строения земной коры свидетельствует о различии в тепловом строении верхней мантии. Поэтому аномалии тепловых потоков, т.е. отклонения от установленных средних потоков, несут информацию о строении и земной коры, и верхней мантии.

Установлено, что основной источник тепла на континентах - энергия радиоактивного распада. Это объясняется большей концентрацией радиоактивных элементов в земной коре, чем в мантии. В океанах, где мощность земной коры мала, основным источником тепла являются процессы в мантии на глубинах до 700 - 1000 км. Радиогенное тепло является основным среди других видов тепловой энергии недр. За время существования Земли оно более чем в 2 раза превысило потери за счет теплопроводности.

Тепловой поток определяется не только природой и мощностью источников тепла, но и его переносом через горные породы. Тепло передается посредством молекулярной теплопроводности горных пород, конвекции и излучения. На больших глубинах (свыше 10 км) передача тепла осуществляется в основном за счет излучения нагретого вещества недр и конвекции, обусловленной движением блоков земной коры, расплавленных

лав, гидротерм. На меньших глубинах перенос тепла связан с молекулярной теплопроводностью и конвекцией подземными водами.

Основным параметром в терморазведке является теплопроводность, характеризующая способность сред и горных пород передавать тепло. В теории терморазведки доказано, что при температурах до 1000°. С теплопроводность обратно пропорциональна температуре. В связи с этим средняя теплопроводность до глубин около 100 км, где ожидаются такие температуры, понижается примерно в 3 раза по сравнению со средней теплопроводностью поверхностных отложений. На глубинах свыше 100 км теплопроводность постепенно повышается, что объясняется ростом с глубиной давления и лучистого теплообмена. Эта зона пониженной теплопроводности в мантии служит препятствием для оттока тепла к поверхности и способствует возрастанию температур с глубиной.

В целом теплопроводность горных пород зависит от минерального состава, структуры, текстуры, плотности, пористости, влажности, температуры. Минеральный состав магматических, метаморфических и осадочных пород не очень влияет на их теплопроводность. Плотность, пористость и давление, под которым находятся горные породы, связаны между собой. При повышении плотности и давления, а значит понижении пористости теплопроводность пород повышается. С увеличением влажности горных пород их теплопроводность резко увеличивается. Например, изменение влажности с 10 до 50% может увеличить теплопроводность в 2 - 4 раза. Повышение температуры снижает теплопроводность кристаллических и сухих осадочных пород и увеличивает у водонасыщенных. В целом влияние различных, иногда взаимно противоположных природных факторов, на теплопроводность горных пород весьма сложно и недостаточно изучено. Магматические и метаморфические породы обладают коэффициентом теплопроводности 0,2 - 0,4 (в среднем 0,3) Вт/(м\*град), осадочные - 0,03 - 0,5 (в среднем 0,125) Вт/(м\*град), нефтегазонасыщенные - меньше 0,05 Вт/(м\*град).

Теплоемкостью горных пород объясняется их способность поглощать тепловую энергию. Она отличается сравнительным постоянством и возрастает с увеличением водонасыщенности. У магматических и метаморфических пород при обычных температурах теплоемкость изменяется в пределах  $(0,6 - 0,9) \cdot 10^3$  Дж/(кг\*град), у осадочных -  $(0,7 - 1) \cdot 10^3$  Дж/(кг\*град), у металлических руд -  $(0,9 - 1,4) \cdot 10^3$  Дж/(кг\*град). С ростом температуры она увеличивается.

Температуропроводность характеризует скорость изменения температур при поглощении или отдаче тепла. У различных горных пород она изменяется в пределах  $(4 - 10) \cdot 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с.

### 7.3. Аппаратура для геотермических исследований. Термометры и тепловизоры.

Для геотермических исследований используют разного рода тепловизоры, термометры, термоградиентометры и тепломеры.

Для аэрокосмических и полевых радиотепловых и инфракрасных съемок изготавливают тепловизоры, работающие в тех или иных участках спектра длин электромагнитных волн от микрометрового до миллиметрового диапазона. Фоточувствительным элементом (фотодетектором) тепловизора являются особые кристаллы, чувствительные к электромагнитному излучению определенных длин волн. Для достижения высокой чувствительности (доли градуса) и безынерционности кристаллы должны находиться при очень низких температурах ( $< -203^{\circ}\text{C}$ ). С этой целью их помещают в охлаждающее устройство на жидком азоте или гелии. Измеренные излучения преобразуются в электрические сигналы, которые усиливаются и трансформируются в такую форму, чтобы их можно было передать на экран телевизора или на фотопленку, как при обычных фототелевизионных съемках.

При терморазведке температуру пород или воды измеряют с помощью скважинных (шпуровых) или донных термометров. Чувствительным элементом таких термометров являются термочувствительные сопротивления или термисторы, включаемые в мостиковую схему, которая работает на постоянном токе. Изменение температуры окружающей среды приводит к разбалансу "моста", появлению в нем пропорционального изменения тока. В термоградиентометрах имеется несколько чувствительных элементов, расположенных на расстояниях 1 - 2 м друг от друга. С помощью электрических схем измеряют разности температур между ними. Тепломеры, построенные на базе термометров, служат для оценки тепловых потоков. Сигналы, полученные со скважинного или донного термометров, усиливаются и по кабелю передаются на автоматические регистраторы, как и в серийных каротажных станциях для геофизических исследований в скважинах

### 7.4. Воздушная съемка Земли в инфракрасных и ультрафиолетовых лучах. Измерения температур на дне акваторий и в горных выработках.

Методика радиотепловых (РТС) и инфракрасных (ИКС) аэрокосмических съемок практически такая же, как и при фототелевизионных съемках. Ценным их преимуществом является возможность вести съемки в темноте, а при соответствующем выборе длин волн - и практически при любой погоде. Например, в инфракрасном диапазоне выявлен ряд "окон прозрачности" в диапазоне волн: 0,95 - 1,05; 1,2 - 1,3; 1,5 - 1,8; 2,1 - 2,4; 3,3 - 4,2; 4,5 - 5,1; 8 - 13 мкм и др., на которых можно вести съемки в тех или иных погодных



условиях.

Аномалии на полученных снимках формируются за счет тепловых потоков из недр и отражения солнечной энергии. Они зависят от оптических, тепловых и в меньшей степени электромагнитных свойств горных пород верхней части геологической среды. Радиотепловые и инфракрасные съемки осложнены термическими помехами, связанными с неравномерным тепловым обменом земной поверхности с атмосферой, изменяющимися климатическими и метеорологическими условиями, состоянием атмосферы и другими факторами. Обработка и истолкование радиотепловых и инфракрасных снимков в общем такие же, как и при дешифрировании снимков видимого диапазона (аэрокосмоснимков).

Аэрокосмические дистанционные радиотепловые и инфракрасные съемки используют для исследования природных ресурсов Земли и, в частности, для изучения районов активного вулканизма и гидротермальной деятельности, геологического картирования и поисков некоторых полезных ископаемых, инженерно-геологических и гидрогеологических съемок, решения задач почвоведения и мелиорации, изучения снежного, ледяного покрова и динамики ландшафтов, охраны природной среды и решения других задач.

7.5. Региональные, поисково-разведочные и инженерно-гидрологические термические исследования.

Сущность региональных термических исследований сводится к высокоточному (погрешность не более 0,01°С) неоднократному измерению температур или их приращений в глубоких скважинах, горных выработках и донных осадках озер, морей и океанов. Чтобы исключить влияние сезонных колебаний температур, замеры на суше ведут на глубинах свыше 50 - 100 м, а на акваториях - на глубине свыше 300 м.

При бурении скважин нарушается температурное равновесие, которое зависит от времени и способа бурения, условий циркуляции промывочной жидкости или продуваемого воздуха во время бурения. В среднем время восстановления температуры до первоначальных значений превышает 10-кратное время бурения скважины. Поэтому термические измерения проводят после установления температур, т.е. через несколько месяцев после бурения глубоких скважин и через несколько дней или часов после бурения скважин или шпуров в горных выработках.

Графики и карты температур (или градиентов температур) используют для расчетов геотермических градиентов, тепловых потоков. Тепловой поток рассчитывают по известному геотермическому градиенту  $\lambda$  и теплопроводности  $\lambda$  горных пород, определяемой на образцах горных пород и донных осадков или с помощью специальных термометров (см. 14.1).

В результате многолетних тепловых съемок Земли накоплены некоторые сведения об особенностях теплового поля Земли. Геотермическая ступень (величина, обратная геотермическому градиенту) составляет на кристаллических щитах около 100 м/град, на платформах - около 30 м/град, в складчатых областях - 10 - 20 м/град, в областях новейшего вулканизма - 5 - 20 м/град. Минимальные тепловые потоки (0,02 - 0,04 Вт/м<sup>2</sup>) наблюдаются на платформах и особенно на докембрийских щитах, в глубоководных впадинах, максимальные - на срединно-океанических хребтах, в рифтовых зонах и участках современного вулканизма (0,2 - 0,4 Вт/м<sup>2</sup>). Тепловой поток увеличивается в направлении от древних к молодым областям складчатости, а в каждой из них наблюдается возрастание потоков от предгорных прогибов к участкам активного орогенеза. В тектонически активных областях наблюдается резкая дифференциация тепловых потоков, например, возрастание втрое от краевых прогибов к областям кайнозойской складчатости. Несмотря на существующее примерное равенство тепловых потоков в океанических и континентальных областях, а также в регионах разновозрастной складчатости, их различия связывают с существованием не только вертикальных, но и горизонтальных градиентов температур.

В комплексе с другими наземными и подземными геофизическими методами на рудных, угольных, нефтяных и газовых месторождениях используется и терморазведка. Температуры пород измеряют в скважинах наземного и подземного бурения. Систему наблюдений приспособляют к имеющейся сети скважин, поскольку специальное бурение скважин для терморазведки экономически невыгодно и проводится лишь изредка. Температуры измеряют в разных интервалах глубин скважины.

Большие трудности при терморазведке связаны с необходимостью получения установившихся температур, чтобы охарактеризовать естественное температурное поле горных пород. Оно оказывается нарушенным в результате искажающего влияния таких факторов, как разогрев пород при бурении, влияние промывочной жидкости, вентиляция горных выработок, усиленное окисление руд и углей, вскрытых горных выработок и др. По измеренным естественным температурам строят графики их изменения с глубиной, а для постоянных глубин - со временем. Из наблюдаемых температур желательно исключить вариации теплового поля. При достаточной густоте точек площадных наблюдений строят карты изотерм (постоянных температур) для одинаковых глубин, карты средних геотермических градиентов и др.

Интерпретация геотермических профилей и карт обычно качественная и сводится к выделению локальных аномалий термического поля и сопоставлению их с аномалиями других геофизических методов, а также с геологическими материалами.

Термические исследования геологической среды могут использоваться при решении различных инженерно-геологических, гидрогеологических, мерзлотно-гляциологических и геоэкологических задач. Измерения температур проводятся в шпурах глубиной до 1 м и скважинах глубиной до 10 - 30 м. В различных природных условиях получаемые геотермические профили и карты служат для оконтуривания многолетнемерзлых и талых горных пород с разными тепловыми свойствами; изучения динамики подземных вод (приток глубинных вод создает положительные аномалии температур, поверхностных - отрицательные); прогноза приближения забоя выработок к обводненным зонам и решения других задач.

Особый интерес представляет определение скорости фильтрации подземных вод. Как отмечалось выше, тепловой поток в условиях заметной конвекции тепла за счет подземных вод зависит от геотермического градиента, коэффициента температуропроводности и скорости фильтрации подземных вод. Приведенные формулы (5.1) и (5.3) положены в основу практического использования терморазведки для определения скорости, а затем и коэффициента фильтрации подземных вод. Для выявления мест фильтрации вод из водохранилищ, каналов, рек и стволов скважин, а также интервалов, где утечки отсутствуют, можно использовать измерение естественных тепловых полей. Участки сосредоточенной фильтрации выделяют по температурным аномалиям, знак которых зависит от температурного режима акваторий. Более четкие результаты получают при искусственном электрическом подогреве воды, например, в скважине. По скорости восстановления температур можно не только качественно выявить места утечек, но и оценить скорости фильтрации.

В геоэкологических исследованиях шпуровую терморазведку можно использовать для изучения теплового загрязнения, выявления отходов промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

## **8. Геофизические методы исследования скважин.**

8.1. Классификация методов геофизических исследований в скважинах (ГИС) или каротажа.

Геофизические исследования скважин (ГИС) - это методы геологической и технической документации проходки скважин, основанные на изучении в них различных геофизических полей. Такое традиционное понимание ГИС привело к созданию самостоятельной научно-прикладной отрасли геофизики, которую называют термином каротаж или промысловой, буровой геофизикой. В более широком смысле ГИС - не только документация результатов бурения, с радиусом обследования до 1 - 2 м, но и изучение околоскважинных пространств путем исследования полей в скважинах, а также между ними и земной поверхностью при дальности в десятки и сотни метров. Интенсивное применение ГИС объясняется тем, что эти методы

позволяют более эффективно организовывать разведку и эксплуатацию месторождений. Они обеспечивают резкое сокращение отбора образцов при бурении (керн), давая даже больше информации о разрезе, чем при сплошном отборе керн, сокращая при этом стоимость и время бурения.

Геофизические методы исследования скважин предназначены для изучения геологического разреза и, в частности, выявления пластов разной литологии, определения углов и азимутов их падения, выделения полезных ископаемых в разрезах, а также оценки пористости, проницаемости, коллекторских свойств окружающих пород и их возможной нефтегазоносной продуктивности. Специальной аппаратурой производится контроль технического состояния скважин (определение их диаметров, искривления, наличия цемента в затрубном пространстве и др.), а также прострелочно-взрывные работы в скважинах (отбор образцов из стенок, перфорация обсадных колонн). Физические свойства горных пород, определяемые в результате исследования в скважинах, служат не только для непосредственного получения той или иной геологической информации, но и для интерпретации данных полевой геофизики.

При геофизических исследованиях в скважинах используются все поля и методы, применяемые и в полевой геофизике. Однако между ними имеются существенные различия, которые определяются специфическими условиями технологии работ в скважинах. Для изучения разрезов скважин применяются электрические, ядерные, термические, сейсмоакустические, магнитные, гравиметрические методы. Измеряемые в скважинах с помощью датчиков те или иные параметры физических полей преобразуются в электрические сигналы, которые по кабелю подаются в так называемые каротажные станции. В них они автоматически регистрируются при подъеме кабеля с глубинным прибором и датчиком поля, производимом со скоростью от 200 до 5000 м/ч.

Классификацию методов ГИС можно представить следующим образом.

Название групп методов	Название методов	Изучаемые физические свойства пород	Измеряемые параметры	Решаемые геологические задачи
Электрические	метод естественной поляризации (ПС)	электро-химическая активность	естественные потенциалы	геологическое расчленение разрезов в комплексе с методами КС, выявление сульфидных руд, углей, графитовых сланцев, коллекторов и водоупоров
	методы токового каротажа, скользящих контактов (МСК)	удельное электрическое сопротивление (УЭС)	изменение тока в питающей цепи	выделение в разрезах хорошо проводящих горизонтов (сульфидов, углей,

				графитов и др.)
	метод кажущихся сопротивлений (КС), боковое каротажное зондирование (БКЗ) и др.	то же	кажущееся сопротивление	геологическое расчленение разрезов, определение мощности слоев и истинного сопротивления пород, выделение коллекторов, водоупоров, рудных и нерудных пропластков
	резистивиметрия	УЭС жидкости в стволе скважины	УЭС жидкости в стволе скважины	определение сопротивления воды и глинистого раствора в скважине
	метод вызванных потенциалов (ВП)	поляризуемость	вызванные потенциалы (ВП)	геологическое расчленение разрезов скважин, выявление сульфидных руд, угля, графитов, сланцев
	индуктивный метод (ИМ)	электропроводность	потенциалы	расчленение низкоомных разрезов
	диэлектрический метод (ДМ)	диэлектрическая проницаемость	потенциалы	расчленение водоносных разрезов
<b>Ядерные</b>	гамма-метод (ГМ) или гамма-каротаж (ГК)	естественная радиоактивность	интенсивность естеств. гамма-излучения ( $I_{\gamma}$ )	обнаружение радиоактивных руд, геологическое расчленение разрезов
	гамма-гамма-метод (ГГМ) или гамма-гамма-каротаж (ГГК)	плотность и хим. состав	интенсивность рассеянного гамма-излучения ( $I_{\gamma\gamma}$ )	изучение плотности горных пород и их хим. состава
	нейтронный гамма-метод (НГМ) или каротаж (НГК)	поглощение нейтронов с последующим гамма-излучением	интенсивность вторичного гамма-излучения ( $I_{\gamma\gamma}$ )	расчленение разреза по водородосодержанию, оценка пористости пород
	нейтрон-нейтронный метод (ННМ) или каротаж (ННК)	поглощение быстрых нейтронов и определение медленных нейтронов	интенсивность потока тепловых и надтепловых нейтронов	то же, что и в методе НГК, но более точное определение количества водорода в породах
<b>Термические</b>	метод естественного теплового поля (МЕТ)	теплопроводность	температура	изучение геологического разреза скважин, определение наличия газа, нефти, сульфидов и др., определение техн. сост. скважин
	метод искусственного теплового поля (МИТ)	тепловое сопротивление, температуропроводность	то же	то же
<b>Сейсмоакустические</b>	метод акустического каротажа	скорость распространения волн, амплитуда сигналов	время и скорость упругих волн,	геологическое расчленение разреза, оценка пористости,

			их затухание ( $t, V, b$ )	проницаемости, состава флюида
	сейсмический каротаж	то же	то же	определение пластовых и средних скоростей
<b>Магнитные</b>	метод естественного магнитного поля	магнитная восприимчивость горных пород	напряженность магнитного поля Земли	геологическое расчленение разрезов и выявление железосодержащих руд
	метод искусственного магнитного поля	то же	напряженность поля магнита	то же
<b>Гравитационные</b>	гравиметровые	плотность	аномалии силы тяжести	геологическое расчленение разреза

## 8.2. Аппаратура для скважинных геофизических исследований.

Для проведения геофизических исследований скважин используется как общая аппаратура и оборудование, применяемые в большинстве методов ГИС (автоматические каротажные станции (АКС) или аппаратура геофизических исследований скважин (АГИС), спускоподъемное оборудование), так и специальные скважинные приборы, разные в разных методах (глубинные или каротажные зонды). АКС (АГИС) смонтированы на автомашинах хорошей проходимости.

К общему оборудованию каротажной станции относятся:

- источники питания (батарея аккумуляторов);
- приборы для регистрации разности потенциалов и силы тока;
- лебедка, работающая от двигателя автомобиля и предназначенная для спуска и подъема каротажного кабеля в скважину (при каротаже глубоких скважин - более 3 км - лебедка устанавливается на отдельном автомобиле-подъемнике);
- блок-баланс, располагающийся вблизи скважины и предназначенный для направления кабеля в скважину и синхронной передачи глубины расположения индикатора поля на лентопротяжный механизм регистратора;
- одножильный, трехжильный или многожильный кабель в хорошей изоляции.

## 8.3. Сущность, методика и решаемые задачи для следующих методов ГИС.

### 8.3.1. Электрические методы исследования скважин. (ПС, КС, БКЗ, ВП, ИК, ДК и др.).

#### **Метод естественного поля.**

Скважинные исследования методом естественного поля (ЕП) или поля

самопроизвольного (каротаж ПС) сводятся к измерению постоянных естественных потенциалов, возникающих у пластов с разной электрохимической активностью. Зондом для измерения собственных потенциалов служат свинцовые приемные электроды. Работы в методе ПС чаще выполняются способом потенциала, то есть установкой, состоящей из одного неподвижного приемного электрода  $N$ , заземленного вблизи устья скважины, и второго электрода  $M$ , перемещаемого по скважине. В результате работ получают графики естественных потенциалов, измеряемые в милливольтках. По аномалиям на диаграммах ПС выделяются пласты с разной электрохимической активностью. Однозначная литологическая интерпретация диаграмм ПС затруднена, т.к. естественное электрическое поле зависит от многих факторов. Чаще всего против глинистых пород наблюдаются положительные аномалии потенциала ПС, а около пористых проницаемых пластов - отрицательные. Интенсивными аномалиями положительного и отрицательного знака выделяются сульфидные залежи, пласты антрацита, графита. Слабыми аномалиями (единицы милливольт) отличаются массивные, плотные, плохо проницаемые песчаники, известняки, изверженные породы.

### **Метод кажущихся сопротивлений.**

Скважинные исследования методом кажущихся сопротивлений (каротаж КС) основаны на расчленении пород, окружающих скважину, по их удельному электрическому сопротивлению (УЭС).

Чаще всего при работах методом КС используются трехэлектродные зонды, в которых три электрода располагаются в скважине (четвертый электрод заземляется на поверхности, вблизи от скважины). Трехэлектродный зонд, состоящий из одного питающего  $A$  и двух приемных  $M$  и  $N$  электродов, называется однополюсным.

Название зонда складывается из обозначения электродов, расположенных в скважине сверху вниз и расстояний между ними. Например, в зонде  $A2M0,05N$  сверху расположен питающий электрод  $A$ , далее в двух метрах - приемный электрод  $M$ , а в пяти сантиметрах от последнего - электрод  $N$ . Различают потенциал- и градиент-зонды (рис. 7.5). В потенциал-зонде расстояние между приемными  $MN$  или питающими  $AB$  (их называют парными) электродами превышает расстояние от непарного электрода  $A$  или  $M$  до ближайшего парного. Точка записи, к которой относится измеренное кажущееся сопротивление, располагается посередине  $AM$  (точка  $O$ ). В градиент-зонде расстояние между парными электродами в пять-десять раз меньше расстояния до непарного. Точка записи находится посередине  $MN$ . Если парные электроды располагаются выше непарного, то зонд называется

кровельным (или обращенным), а если под питающим, то подошвенным (или последовательным). Расстояние АМ у потенциал-зонда и АО (или МО) у градиент-зонда называется размером зонда. Обычно размер зонда меняется от 0,5 до 3 м. Радиус обследования пород вокруг скважины примерно равен размеру зонда.

### **Другие методы электрометрии скважин.**

*Резистивиметрия.* Под резистивиметрическими исследованиями понимается определение сопротивления бурового раствора или воды в скважине. Работы проводят резистивиметром, который представляет собой зонд малых размеров, помещенный в трубку из изолятора. При перемещении зонда по скважине внутри трубки свободно проходит жидкость, заполняющая скважину, а влияние окружающих пород исключается стенками трубки. Регистрация проводится так же, как и в методе КС. Коэффициент резистивиметра определяется путем его эталонировки в жидкости с известным сопротивлением.

*Метод вызванной поляризации.* Как и в полевой электроразведке, при исследовании скважин можно изучать вызванные потенциалы, т.е. потенциалы, наблюдаемые после прохождения тока в горной породе и обусловленные их различной поляризуемостью (см. 7.2). В скважинном методе вызванной поляризации (каротаж ВП) регистрируются потенциалы  $\Delta U$  на приемных электродах при пропускании тока через питающие электроды (так же, как и при каротаже КС). Кроме того, проводится регистрация разности потенциалов на тех же электродах через некоторое время после выключения тока. В результате определяют потенциалы вызванной поляризации  $\Delta U_m$ .

*Индукционный и диэлектрический методы.* Если все вышеописанные скважинные методы основаны на применении постоянного или импульсного тока низкой частоты и похожи на методы электроразведки постоянным током, то в индукционном и диэлектрическом методах исследования скважин используются высокие частоты, и эти методы имеют сходство с высокочастотной электроразведкой. Отличие индукционного и диэлектрического методов от других электрических исследований в скважинах заключается и в том, что измерения могут проводиться в сухих скважинах или в скважинах, заполненных нефтью, где гальванический контакт с окружающей средой осуществить очень трудно.

### 8.3.2. Ядерные исследования в скважинах (ГК, НГК, ННК и др.).

Ядерные исследования скважин подразделяются на методы изучения



естественной радиоактивности (гамма-методы) и искусственно вызванной радиоактивности, называемые ядерно-физическими или ядерно-геофизическими (гамма-гамма и нейтронные методы).

На изучении естественной радиоактивности горных пород основан гамма-каротаж или гамма-метод.

Работы проводят с помощью скважинных радиометров разных марок. Электрические сигналы, пропорциональные интенсивности гамма-излучения, передаются с них по кабелю в обычную каротажную станцию, где и осуществляется их автоматическая регистрация.

### **Методы скважинных исследований с искусственным облучением горных пород.**

При гамма-гамма-каротаже (ГГК), или гамма-гамма-методе (ГГМ), измеряется рассеянное гамма-излучение, являющееся следствием облучения пород источником гамма-лучей, например, радиоактивным кобальтом, сурьмой. При взаимодействии гамма-квантов с атомами горной породы происходит ряд сложных процессов, среди которых основные - фотоэлектрическое поглощение гамма-квантов атомами вещества, комптон-эффект и др. (см. 15.1). Чем больше плотность породы, тем больше поглощение и меньше интенсивность рассеянного излучения (см. 15.3). И наоборот, против пористых пород с малой плотностью наблюдаются максимумы на диаграммах гамма-гамма-каротажа. Поэтому основная область применения этого метода - расчленение пород по их плотности. Радиус обследуемых пород равен 10 - 15 см от оси скважины. Получаемая по данным ГГК средняя объемная плотность пород может служить для расчета их пористости и оценки коллекторских свойств.

В нейтронных методах каротажа изучаются ядерные процессы, происходящие при облучении пород быстрыми нейтронами. Если порода содержит большое количество ядер водорода (вода, нефть, газ), то быстрые нейтроны превращаются в тепловые после небольших путей пробега (до 30 см) или вблизи источника. На больших расстояниях (свыше 40 см) плотность тепловых нейтронов будет меньшей. Поскольку тепловые нейтроны подвержены радиационному захвату с сопровождающим его вторичным гамма-излучением, то с ростом тепловых нейтронов растет вторичное гамма-излучение, а там, где тепловых нейтронов мало, гамма-излучение будет слабым.

При нейтрон-нейтронном каротаже (ННК), или нейтрон-нейтронном методе (ННМ), измеряется плотность тепловых нейтронов или их интенсивность  $I_{\text{нн}}$ . При нейтронном гамма-каротаже (НГК), или нейтрон-гамма методе (НГМ), измеряется интенсивность вторичного гамма-излучения  $I_{\text{нн}\gamma}$ , возникающего при радиационном захвате тепловых нейтронов ядрами элементов горной

породы. Наблюдения в методах ННК и НГК проводятся с зондами большого размера (40 - 60 см от источника нейтронов).

Нейтронные методы каротажа (ННК и НГК) применяются для расчленения геологических разрезов и особенно для выявления водород- и хлорсодержащих пород, а также оценки их пористости.

Среди искусственных методов ядерного каротажа на месторождениях твердых полезных ископаемых одним из наиболее перспективных является рентгенорадиометрический каротаж (РРК). В этом методе породы облучаются каким-нибудь радиоизотопным источником (например, селен-75, кобальт-57, железо-55 и др.). В результате облучения ядра рудных элементов возбуждаются, что сопровождается так называемым характеристическим рентгеновским излучением, энергетический спектр которого различен у разных элементов. Изучая спектры этого излучения или отношения интенсивностей в разных интервалах спектров, можно выделить в разрезах скважин руды, содержащие определенные элементы

8.3.3. Сейсмоакустические, термический, магнитный, гравитационный методы исследования скважин.

Сейсмоакустические методы исследования скважин основаны на изучении времени пробега упругих волн по породам, окружающим стенки скважин, от пункта возбуждения до сейсмоприемников. По способу возбуждения упругих волн и частоте колебаний различают сейсмический и акустический методы или виды каротажа.

При термическом (или геотермическом) каротаже вдоль ствола скважины непрерывно регистрируется температура среды. Для термических исследований чаще всего применяют электрические термометры (или термометры сопротивлений) разных марок и регистрирующее устройство обычной каротажной станции.

В магнитном скважинном методе (магнитном каротаже) изучается либо магнитная восприимчивость пород  $\chi$ , окружающих ствол скважины, либо изменения вертикальной составляющей геомагнитного поля  $\Delta Z$  (см. 4.2) с помощью скважинных магнитометров (см. 17.2). По магнитограммам можно судить о местоположении и мощности слоев с повышенными магнитными свойствами. Магнитный каротаж применяется при изучении разрезов

скважин, для выявления железных, полиметаллических руд с вкрапленностью ферромагнитных минералов, а также выделения пластов песчаников, кварцитов, изверженных пород. Ценное преимущество этого метода - возможность выявления высокомагнитных руд, расположенных в стороне (от 1 до 30 м) от скважины.

При гравиметрических исследованиях в скважинах (гравиметрическом каротаже) вдоль ствола скважины через 50 - 100 м с помощью специальных скважинных гравиметров измеряется приращение силы тяжести с глубиной. Гравиметрический картаж может проводиться как в необсаженных, так и в обсаженных скважинах. В результате обработки кривых  $\Delta g$  вдоль ствола скважины можно определить среднюю плотность пород в естественном залегании на разных глубинах и в радиусе нескольких метров от оси скважины.

8.3.4. Методы контроля технического состояния скважин. Кавернометрия. Инклинометрия. Перфорация.

Для документации проходки глубоких скважин, обработки и интерпретации ГИС проводится технологический контроль результатов бурения. Он включает изучение технического состояния скважин (определение углов наклона, азимута забоев, диаметра скважины на разных глубинах, высоты цемента за обсадными трубами, качества цементации и др.), фототелеметрию стенок скважин, перфорацию скважин для допуска в нее воды, нефти, газа и др.

Для документации проходки глубоких скважин, обработки и интерпретации ГИС проводится технологический контроль результатов бурения. Он включает изучение технического состояния скважин (определение углов наклона, азимута забоев, диаметра скважины на разных глубинах, высоты цемента за обсадными трубами, качества цементации и др.), фототелеметрию стенок скважин, перфорацию скважин для допуска в нее воды, нефти, газа и др.

**Кавернометрия.** Для измерения диаметров скважин применяются специальный прибор - каверномер и оборудование обычной каротажной станции. Каверномер состоит из металлической гильзы, вдоль ствола которой располагаются ромбовидные рычаги-щупы, при подъеме каверномера рычаги под действием пружины раскрываются и плотно прижимаются к стенкам скважины. При изменении угла раскрытия рычагов движется закрепленный на них шток, который связан с ползунковым реостатом. Это приводит к изменению сопротивления реостата и тока в электрической цепи, который подается на регистратор. Установив в процессе градуировки зависимость между током и радиусом раскрытия рычагов, легко перевести график его

изменения в кривую изменения диаметра скважины (кавернограмму). Она служит для уточнения геологического разреза, изучения технического состояния скважин и интерпретации результатов скважинных исследований.

**Инклинометрия.** Для определения на любой глубине угла отклонения оси скважины от вертикали и азимута ее искривления по отношению к устью применяются специальный прибор - инклинометр и оборудование обычной каротажной станции.

**Перфорация.** Для извлечения нефти, газа, подземных вод из пластов, обсаженных трубами, надо пробить отверстие в трубах, чтобы обеспечить доступ жидкого или газообразного ископаемого в скважину, а затем подачу его на поверхность. Прострелочные работы в скважинах выполняются с помощью специальных устройств - перфораторов с использованием оборудования обычных каротажных станций. Операция по прострелу колонны обсадных труб производится различными стреляющими устройствами: пулевыми, беспулевыми, кумулятивными, торпедными перфораторами.

## **9. Геологические задачи, решаемые с помощью геофизических методов исследования.**

9.1. Классификация геофизических методов по решаемым геологическим задачам. Принципы комплексирования геофизических, геохимических и геологических методов изучения недр.

Геофизические методы исследования земной коры (их называют также прикладной и промысловой или региональной, разведочной и скважинной геофизикой) - это научно-прикладной раздел геофизики - фундаментальной науки, изучающей Землю и околоземное пространство с помощью естественных и искусственно создаваемых (управляемых) физических полей. Геофизика подразделяется на физику Земли, изучающую Землю как планету и содержащую такие разделы, как гравиметрия, магнитометрия, геоэлектрика, сейсмология, сейсмометрия, термометрия, ядерная геофизика, и геофизику ее оболочек: воздушной (атмосфера), водной (гидросфера) и каменной (литосфера).

В соответствии с решаемыми задачами основными прикладными направлениями геофизических исследований земной коры являются: глубинная; региональная; разведочная, подразделяемая на нефтегазовую, рудную, нерудную, угольную; инженерная, включающая инженерно-геологическую, гидрогеологическую, почвенно-мелиоративную, мерзлотно-гляциологическую, археологическую и техническую; экологическая геофизика. Формирование последней идет за счет экологических аспектов всех перечисленных прикладных направлений геофизики.

Принципиальная возможность проведения геологической разведки на основе различных физических полей Земли определяется тем, что распределение параметров полей в воздушной оболочке, на поверхности акваторий или земли, в горных выработках и скважинах зависит не только от происхождения естественных или способа создания искусственных полей, но и распределения в Земле геометрических и литолого-петрографических неоднородностей. Эти неоднородности отличаются по физическим свойствам от вмещающей среды, и в результате создаются аномальные физические поля. Аномалией, или полезным сигналом, в геофизике считается отклонение измеренного параметра поля от нормального, за которое чаще всего принимается поле над однородным полупространством. При этом возникновение аномалий связано с тем, что объект поисков, называемый источником аномалий (возмущений) или аномалосоздающим объектом, либо сам создает поле в силу естественных причин, например, естественное постоянное электрическое поле вокруг рудных залежей, либо искажает искусственно созданное поле вследствие различия физических свойств, например, за счет отражения сейсмических или электромагнитных волн от контактов разных толщ.

Эффективность выделения аномалий во многом определяется методикой (способом) проведения работ, куда входит система наблюдений, т.е. выбор расстояний между пунктами наблюдений (шаг съемки при профильных наблюдениях) и между профилями (при площадной съемке). Густота сети наблюдений зависит от решаемых задач, масштабов съемок, простирания, размеров и глубины залегания разведываемых объектов, в крест предполагаемого простирания которых профили обычно и ориентируются.

Существуют различные виды классификации геофизических методов исследования земной коры по:

- используемым полям (грави-, магнито-, электро-, сейсмо-, термогеофизика и ядерная геофизика);
  - технологиям и месту проведения работ (аэрокосмические, полевые, акваториальные, подземные методы и геофизические исследования скважин);
  - прикладным, целевым направлениям и решаемым задачам (глубинная, региональная, разведочная, инженерная и экологическая геофизика);
  - видам деятельности (теоретическая, инструментальная, экспериментальная, вычислительная и интерпретационная геофизика).
- Особое место в геофизике занимают геофизические исследования скважин (ГИС), отличающиеся от прочих геофизических методов специальной аппаратурой, техникой проведения наблюдений и имеющие большое прикладное значение при документации разрезов скважин и их эксплуатации при добыче нефти и газа.

Как отмечалось выше, верхние оболочки Земли являются предметом

исследования не только геофизики, но и других наук: геологии со всеми разделами, геохимии, географии и др. Геофизические методы исследования, базируясь на этих науках, являются, прежде всего, геологическими. Вместе с тем, давая другим наукам о Земле всевозможную информацию, они изменяют сам характер геолого-разведочных работ. О большой роли геофизики говорит, например, такой факт: треть ассигнований и четверть специалистов в геолого-разведочных организациях связаны с геофизикой. Вместе с тем важнейшим методологическим принципом, под которым понимается теория рациональной деятельности, для геофизической разведки является комплексирование: межметодное геофизическое (применение хотя бы двух-трех из перечисленных методов геофизики), разноуровневое (аэрокосмические, аквально-полевые, подземно-скважинные наблюдения), междисциплинарное (использование геологической, гидрогеологической, биологической, экологической, медицинской и другой информации). Методика комплексных исследований характеризуется стадийностью (переходом от простых методов к более трудоемким, от мелких масштабов к крупным), выбором типовых комплексов для определенных условий и решаемых задач, переходом к рациональным, экономически обоснованным методам решения конкретных задач. Теория комплексной интерпретации на базе компьютерных технологий разрабатывается в рамках вычислительной геофизики или геофизической информатики. Цель комплексной интерпретации сводится к достижению однозначности геологических выводов путем выбора, анализа, оптимизации ФГМ.

Необходимость комплексирования геофизических методов обусловлена тем, что каждый из них, во-первых, теоретически некорректен, т.е. малым изменениям сигналов от изучаемых объектов могут соответствовать большие изменения их физико-геометрических параметров. Закономерность эта известна как принцип эквивалентности. Во-вторых, по мере увеличения глубинности разведки уменьшается отношение величины сигнала к уровню геологических и технических помех. Поэтому, несмотря на совершенствование методов, отношение сигнал/помеха увеличивается слабо. По этим причинам определение геометрических и физических параметров аномалосоздающих объектов оказывается неоднозначным. Для ограничения некорректности необходима дополнительная информация: применение ряда методов с разными физическими основами, уровнем некорректности и точности разведки, использование параметрических скважин, с помощью которых можно определить петрофизические характеристики объектов, уточнить их геометрические размеры. Тем не менее повышение точности съемок, использование накопления сигналов, применение сложных компьютерных способов обработки и комплексирование методов должны обеспечить возрастание роли геофизики

Иными словами, в связи с тем, что геологическая эффективность любого отдельно взятого геофизического метода оказывается не очень высокой,

важной проблемой становится системный подход к изучению недр. Практически он сводится к внутриметодному геофизическому комплексированию, основанному на использовании различных физических полей, и межметодному комплексированию геофизических исследований совместно с другими геолого-разведочными. Поскольку разведываемые объекты характеризуются многообразием свойств и связей, то геологическая эффективность при их изучении в общем случае станет тем выше, чем более широким будет комплекс. В свою очередь, возрастание количества комплекслируемых методов ведет к удорожанию стоимости исследований и увеличению времени на их выполнение. Проблема поиска компромисса между этими факторами - одна из сложных в теории и практике комплексирования геофизических исследований недр.

9.2. Региональные, глубинные и структурные геофизические исследования в мелких и средних масштабах. Их роль при изучении строения Земли, земной коры, фундамента и осадочного чехла как на суше, так и в океанах.

## **10. Организация геофизических работ в России, странах СНГ, других странах мира.**

10.1 Роль и место геофизических исследований в общем комплексе геологических работ. Масштабы и точности применяемых геофизических съемок. Последовательность геофизических работ. Опережающие и сопровождающие геофизические исследования. Проектирование геофизических работ, определение стоимости геофизических работ.

Геофизические исследования являются неотъемлемой частью разноплановых геологических исследований направленных как на решение задач изучения Земли, земной коры, ее верхних оболочек, так и на поиск месторождений полезных ископаемых.

Наибольший объем геофизических исследований как в абсолютном, так и в денежном выражении в мире выполняется в нефтяной и газовой геологии. По многолетним оценкам 80-82% процента средств потраченных в мире на геофизику относится к сейсморазведке при поисках нефти и газа. Не менее широко геофизика используется и при поисках месторождений металлов и неметаллов. В России принято делить геофизические съемки на профильные и площадные, в первом случае наблюдения выполняются по отдельным линиям во втором – по системе профилей, равномерно покрывающих изучаемую площадь. Расстояния между профилями и точками наблюдений на них определяют сеть съемки, которая выражается в метрах (например сеть 100 x 20 м). Сеть съемки определяет масштаб съемки. В России принято говорить о масштабах 1:50000 (расстояние между профилями 500м), 1:25000

(250м), 1:10000 (100м), 1:5000 (50м) и т. д. Масштаб съемки определяется решаемыми геологическими задачами и размерами изучаемых аномалиеобразующих тел, так чтобы они не пропускались выбранной сетью наблюдений.

Точность выполняемых геофизических измерений определяется по результатам повторных измерений и регламентируется решаемыми геологическими задачами, в частности величиной ожидаемых аномалий изучаемых геологических тел.

Геофизические работы в общем случае опережают геологические наблюдения, и в этом случае они называются опережающими. Если геофизические исследования выполняются в процессе выполнения геологических наблюдений, их принято называть сопровождающими.

Перед проведением геофизических работ пишется соответствующий проект, где, где ставятся геологические задачи, решаемые проектируемыми методами, а также определяются главные параметры выполняемых съемок:

- метод
- сеть наблюдений
- точность съемок
- ориентировка профилей
- используемая аппаратура
- методы оценки точности
- приемы обработки получаемых данных

Определение стоимости геофизических методов определяется исходя из трудозатрат для выполнения того или иного метода, затрат времени или производительности метода, стоимости используемой аппаратуры и материалов, природных условий проведения работ, транспортных затрат для их организации. В России в государственных организациях для определения стоимости используются специальные сборники норм времени для различных методов, масштабов условий проведения работ (ССН), утвержденные МПР.

В мире стоимость геофизических работ формируется рыночными методами в условиях жесткой конкуренции среди геофизических компаний и меняется при малейшем увеличении производительности труда за счет новых методик и аппаратуры. Как правило, исполнители геофизических работ в этом случае определяются на конкурсной основе

10.2. Структура геофизической службы в Российской Федерации и ряде зарубежных стран. Государственная геофизическая служба. Частные специализированные геофизические компании. Научное обеспечение геофизических исследований.

В Российской Федерации, как и во всем мире, геофизические исследования выполняются подразделениями государственной геофизической службы и частными компаниями. В большинстве случаев за рубежом имеют место



специализированные геофизические компании, выполняющие на высоком уровне группы методов или даже один геофизический метод, что определяет их высокий уровень.

В целом частные компании по специализации можно разделить на следующие группы:

- компании, выполняющие те или иные геофизические съемки;
- компании, разрабатывающие и выпускающие геофизическую аппаратуру и оборудование;
- компании, специализирующиеся на разработке соответствующего программного обеспечения для производства геофизических работ
- компании совмещающие в той или иной мере все эти направления.

.

## Словарь геофизических терминов

Аномалия геофизическая

Аномалиеобразующий объект

Альбедо

Альтитуда

Буге редукция

Вариометр

Вертикальное электрическое зондирование

Волна сейсмическая

Гамма-спектрометр

Геофизика

Геофизические методы поисков

Гравиметрия

Геотермия

Годограф

Гравиметр

Градиент

Градиентометр

Гравитационное поле Земли

Естественный радиоактивный элемент

Изостазия

Каппаметр

Каротаж

Кенигсбергера фактор

Корреляция аномалий

Коэффициент установки

Магнитное поле

Магнитометр

Магнитные вариации

Мохоровичича граница  
Магнитная восприимчивость  
Мощность экспозиционной дозы  
Обратная задача геофизики  
Остаточная намагнитченность  
Опорная сеть  
Прямая задача геофизики  
Поляризуемость  
Поле геофизическое  
Пористость  
Радиометр  
Трансформация поля геофизического  
Точность съемки геофизической  
Установки электроразведочные:  
-симметричная  
-дипольная  
-комбинированная  
-трехэлектродная  
Фая редукция  
Электроразведка  
Электрод  
-приемный  
-питающий  
Электромагнитное поле Земли  
Электрическое сопротивление горных пород  
Электрическое профилирование  
Эманация  
Эманометр

#### **2.1.7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ**

Не предусмотрено.

#### **2.1.8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

Смотри пункт 2.1. 5. УМКД.

#### **2.1.9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ (СЕМИНАРСКИМ) ЗАНЯТИЯМ**

#### **2.1.10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНИХ ЗАДАНИЙ И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ**

Для студентов очного обучения предусмотрены домашние задания в виде самостоятельного изучения отдельных тем. Задания выполняются письменно и докладываются на занятии во время экспресс-опроса. Для студентов заочно-сокращенной формы предусмотрены индивидуальные темы для выполнения контрольных работ.

#### **2.1.11. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВЫПУСКНИКОВ**

Не имеется.

#### **2.1.12. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРЕПОДАВАНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Современные информационные технологии применяются для проверки остаточных знаний у студентов с помощью тестирования. В учебном процессе также используются: электронные библиотечные ресурсы АмГУ и других ВУЗов России.

#### **2.1.13. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПРОФЕССОРСКО- ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОМУ СОСТАВУ ПО ОРГАНИЗАЦИИ МЕЖСЕССИОННОГО И ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ**

См. материалы в УМО АмГУ

## **2.1.14. КОМПЛЕКТЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ, КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ, ДОМАШНИХ ЗАДАНИЙ**

Выдача заданий к лабораторным работам осуществляется по методическим пособиям:

5. 1. Геофизические методы исследований. / Под ред. Хмелевской В.К.. М.: Недра, 1988.

Темы контрольных работ включают 2 вопроса. 1 - направлен на усвоение геофизических терминов; 2 – направлен на самостоятельное изучение применимости геофизических методов для решения геологических задач

### **Образец варианта контрольной работы.**

1. Метод вертикального электрического зондирования.
2. Возможности магниторазведки при поисках месторождений железа.

## **2.1.16. КОМПЛЕКТЫ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ БИЛЕТОВ ДЛЯ ЭКЗАМЕНА ПО «ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ» И КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ**

Билеты к экзамену утверждаются ежегодно на заседании кафедры.

### **Образец экзаменационного билета**

#### **АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Утверждено на заседании кафедры

Кафедра ГиП

« » 2008г.

Факультет ИФФ

Специальность 130301

Курс 4

Дисциплина

Зав. кафедрой

Т.В.Кезина

«Геофизические методы поисков  
и разведки МПИ»

### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1**

1. Магнитное поле Земли, особенности его строения и происхождения, изменения во времени. Нормальное и аномальное магнитные поля.
2. . Классификация методов геофизических исследований в скважинах.
- 3.. Аппаратура для измерения радиоактивности. Полевые радиометры.

### **Перечень вопросов к экзамену.**

1. Плотность горных пород, полезных ископаемых и методы ее измерения.
2. Магнитные параметры горных пород и методы их измерения.
3. Устройство гравиметра, типы гравиметров.
4. Типы магнитометров. Устройство и работа протонного магнитометра.
5. Классификация методов электроразведки, типы геофизических полей, используемых в электроразведке.
6. Понятие геофизической аномалии. Принципы выделения аномалий.
7. Геологическая интерпретация геофизических полей, понятие о качественной и количественной интерпретации.
8. Методы сейсморазведки. Методы отраженных и преломленных волн.
9. Магнитное поле Земли, особенности его строения и происхождения, изменения во времени. Нормальное и аномальное магнитные поля.
10. Классификация методов геофизических исследований в скважинах
11. Аппаратура для измерения радиоактивности. Полевые радиометры
12. Виды геофизических полей используемых в геофизике, Классификация геофизических методов.
13. Использование геофизических методов для решения региональных геологических задач.
14. Использование геофизических методов при геологическом картировании.
15. Геофизические методы при поисках месторождений нефти и газа, изучении осадочных бассейнов.
16. Геофизические методы при поисках месторождений угля.
17. Геофизические методы при поисках месторождений черных металлов.
18. Геофизические методы при поисках месторождений цветных металлов.
19. Геофизические методы при поисках благородных металлов.
20. Прямая и обратная задачи геофизики. Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий методом подбора.
21. Простейшие приемы количественной интерпретации гравитационных и магнитных аномалий.

22. Понятие о комплексировании геофизических методов. Рациональный комплекс геофизических методов.
23. Виды геофизических съемок. Наземные, воздушные, аквальные, подземные съемки.
24. Масштабы геофизических съемок, сеть съемки. Понятие о точности геофизической съемки.
25. Топографические работы при проведении геофизических съемок.
26. Общие принципы обработки и интерпретации каротажных диаграмм.
27. Обработка результатов гравиметрических съемок. Редукции гравиметрических карт, аномальное и нормальное поля.
28. Обработка результатов магнитометрических съемок. Опорная сеть. Учет магнитных вариаций.
29. Общие сведения о естественной радиоактивности горных пород. Радиоактивность руд, горных пород, природных вод, почвенного воздуха и атмосферы.
30. Трансформации гравитационного и магнитного полей.

## Основные критерии оценки знаний студентов

Оценка	Полнота, системность, прочность знаний	Обобщенность знаний
5	Изложение полученных знаний в устной, письменной или графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются единичные несущественные ошибки, самостоятельно исправляемые студентами	Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявление причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений; свободное оперирование известными фактами и сведениями с использованием сведений из других предметов
4	Изложение полученных знаний в устной, письменной и графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются отдельные несущественные ошибки, исправляемые студентами после указания преподавателя на них	Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявлений причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений, в которых могут быть отдельные несущественные ошибки; подтверждение изученного известными фактами и сведениями
3	Изложение полученных знаний неполное, однако это не препятствует усвоению последующего программного материала; допускаются отдельные существенные ошибки, исправленные с помощью преподавателя	Затруднения при выполнении существенных признаков изученного, при выявлении причинно-следственных связей и формулировке выводов
2	Изложение учебного материала неполное, бессистемное, что препятствует усвоению последующей учебной информации; существенные ошибки, не исправляемые даже с помощью преподавателя	Бессистемное выделение случайных признаков изученного; неумение производить простейшие операции анализа и синтеза; делать обобщения, выводы

### 2.1.17. КАРТА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ДИСЦИПЛИНЫ КАДРАМИ ПРОФЕССОРСКО–ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТАВА

Ф.И.О.	должность	специальности
Носырев М. Ю.	Доцент к.г.-м.н.	