

Учреждение образования  
«Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина»

# Общая физика с основами геофизики (Основы геофизики)

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

*для студентов географического  
факультета специальности*

*1-02 04 05 География.*

*Дополнительная специальность*



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



1

Назад

Закреть

**Составитель:**

**Хадыева В.С.** – ассистент кафедры физической географии БрГУ имени А.С. Пушкина

**Рецензенты:**

**Волчек А.А.** – доктор географических наук, профессор, декан факультета водоснабжения и гидромелиорации БрГТУ;

**Богдасаров М.А.** – доктор геолого-минералогических наук, доцент, заведующий кафедры географии Беларуси БрГУ имени А.С. Пушкина

Учебно-методический комплекс составлен по курсу «Общая физика с основами геофизики (Основы геофизики)» и включает в себя содержание учебного материала, теоретический курс лекций, семинарские и лабораторные занятия, список тем для самостоятельной подготовки, вопросы к зачету, список литературы, приложения. Семинарские и лабораторные занятия предназначены для формирования у студентов системы знаний о разнообразных геофизических методах, о методах и приемах интерпретации материалов полевых работ и истолкования геофизических данных. Занятия сопровождаются использованием видеоматериалов и тестов для контроля знаний.

Учебно-методический комплекс предназначен для студентов географического факультета специальности 1-02 04 05 География. Дополнительная специальность.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



2

Назад

Заккрыть

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	5
Часть 1 Содержание учебного материала	9
Часть 2 Лекции	13
2.1 Основные понятия геофизики . . . . .	13
2.1.1 Сущность геофизики . . . . .	13
2.1.2 Классификация геофизики . . . . .	18
2.1.3 Связь геофизики с другими науками . . . . .	21
2.1.4 Задачи, решаемые геофизическими методами . . . . .	23
2.1.5 Эффективность геофизики . . . . .	24
2.1.6 История геофизических исследований . . . . .	26
2.1.7 Достоинства и недостатки геофизических методов . . . . .	41
2.1.8 Физические свойства горных пород . . . . .	46
2.2 Геофизические методы . . . . .	59
2.2.1 Гравиметрия . . . . .	59
2.2.2 Магнитометрия . . . . .	80
2.2.3 Электрические методы . . . . .	100
2.2.4 Сейсмические методы . . . . .	117
2.2.5 Радиометрия и ядерная геофизика . . . . .	137
2.2.6 Геотермия . . . . .	151
2.2.7 Разновидности геофизических методов . . . . .	161



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



3

Назад

Закреть

2.3	Применение геофизики . . . . .	168
2.3.1	Строение Земли по геофизическим данным . . . . .	168
2.3.2	Определение возраста горных пород . . . . .	180
2.3.3	Поиски полезных ископаемых . . . . .	185
2.3.4	Инженерная геофизика . . . . .	193
2.3.5	Археологическая геофизика . . . . .	197
2.3.6	Экологическая и медицинская геофизика . . . . .	199
2.3.7	Геофизические работы в Беларуси . . . . .	213
<b>Часть 3</b>	<b>Семинарские занятия</b>	<b>221</b>
<b>Часть 4</b>	<b>Лабораторные занятия</b>	<b>223</b>
<b>Часть 5</b>	<b>Список тем для самостоятельной подготовки</b>	<b>239</b>
<b>Часть 6</b>	<b>Вопросы к зачету</b>	<b>241</b>
<b>Литература</b> . . . . .		<b>243</b>
<b>Приложения</b> . . . . .		<b>246</b>



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



4

Назад

Закрыть

## Введение

Географы занимаются исследованием сложных процессов, которые происходят в Земле и в её оболочках. Чтобы понять сущность этих процессов, географам не обойтись без знаний общей физики. Но в то же время классическая физика не даёт ответа на многие актуальные вопросы современности, например на вопрос о запасах и исчерпаемости минеральных природных ресурсов, о динамике земных недр, вызванной техногенной деятельностью. В этом случае ценным источником информации является геофизика, данные которой географы используют также для исследования происхождения, эволюции, строения, состава Земли и её оболочек. Последние десятилетия ознаменовались стремительным развитием геофизических методов для исследования планет Солнечной системы и других небесных тел. Появляются новые виды съёмок, новая аппаратура, новые способы обработки геофизической информации. Геофизика давно стала самостоятельной наукой. К настоящему времени накоплен обширный материал по применению геофизических методов в географических исследованиях.

Курс «Общая физика с основами геофизики» состоит из двух разделов – «Общая физика», «Основы геофизики». Учебно-методический комплекс составлен по разделу «Основы геофизики».

Учебно-методический комплекс «Общая физика с основами геофизики (Основы геофизики)» разработан в соответствии с



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



5

Назад

Закреть

общеобразовательным стандартом ОСРБ 1-02 04 05-2008 для специальности 1-02 04 05 География. Дополнительная специальность и учебным планом специальности 1-02 04 05 География. Дополнительная специальность.

Учебно-методический комплекс составлен на основе типовой учебной программы «Общая физика с основами геофизики» для специальности 1-02 04 02 География, 1-01 04 05 География. Дополнительная специальность, утвержденной 11.11.2008 г. (Регистрационный № ТД – А.080/тип.), и включает в себя содержание учебного материала, теоретический курс лекций, два семинарских занятия, шесть лабораторных занятий, список тем для самостоятельной подготовки, вопросы к зачету, список литературы, приложения.

**Цель** учебно-методического комплекса «Общая физика с основами геофизики (Основы геофизики)» – формирование системы научных понятий о сложных геофизических процессах между отдельными компонентами природы и о различных геофизических методах, развитие умения их применения в отраслевых и комплексных физико-географических и экономико-географических дисциплинах.

**Задачи** комплекса:

- формирование системы основных понятий современной геофизики, ее истории, связи с географией, математикой, геологией и другими науками;



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



6

Назад

Закреть

- формирование системы знаний о природе физических полей Земли, о свойствах и закономерностях их распределения в пространстве и во времени, о разнообразных геофизических методах;
- овладение практическими навыками использования полученных знаний для решения научных и практических задач в отраслевых и комплексных физико-географических и экономико-географических работах.

В результате изучения разнообразных геофизических методов *студент должен знать*:

- роль и место геофизики в системе наук о природе и человеческом обществе, научно-техническом прогрессе;
- теоретические основы геофизики;
- методы геофизических исследований Земли и других планет Солнечной системы, их достоинства и недостатки при изучении различных природных явлений;
- современные достижения науки и техники в области геофизики;
- историю геофизических исследований в Беларуси.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



7

Назад

Заккрыть



## *Географ должен уметь:*

- использовать основные понятия геофизики для объяснения состояния и динамики географической оболочки и ее основных элементов;
- объяснять принцип действия геофизических приборов и пользоваться техническими средствами, применяемыми при геофизической съемке;
- успешно использовать материалы геофизических съемок при изучении различных природных явлений, что способствует формированию глубоких и прочных географических знаний.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) может использоваться как основное пособие в ходе изучения теоретического курса. Наличие внутренних гиперссылок облегчает поиск нужной информации по тексту ЭУМК. Внешние гиперссылки обеспечивают доступ к информационным порталам, содержащим материалы по предмету, не вошедшие в ЭУМК. Семинарские и лабораторные занятия сопровождаются использованием видеоматериалов и тестов для контроля знаний.

На изучение раздела «Основы геофизики» отводится 24 часа: 8 лекционных, 4 семинарских и 12 лабораторных часов. Итоговой формой контроля знаний является зачет.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



8

Назад

Заккрыть



# Часть 1

## Содержание учебного материала

### Курс «Общая физика с основами геофизики (Основы геофизики)»

**1. Основные понятия геофизики.** Введение. Понятия «геофизика» и «геофизические методы». Сущность геофизики. Геофизические поля. Естественные и искусственные физические поля. Параметры полей. Физические свойства минералов и горных пород. Классификация геофизики. Связь геофизики с другими науками. Задачи, решаемые с помощью геофизических методов. Эффективность геофизики. Достоинства и недостатки геофизических методов. История геофизических исследований. Состояние и перспективы развития геофизики.

**2. Геофизические методы. Гравиметрия.** История развития гравиметрии. Физические основы гравиметрии. Сила тяжести и гравитационное поле. Единицы измерения силы тяжести. Нормальное и аномальное поле. Природа гравитационных аномалий. Гравитационные аномалии Земли. Качественная и количественная интерпретация гравитационных аномалий. Форма Земли и понятие геоида. Физические принципы измерения силы тяжести. Маятниковые методы. Пружинные гравиметры. Измерение силы тяжести в воздухе, на море, на суше, в горных выработках. Плотность горных пород и закономерности ее изменения. Основные способы определения плотности. Определение плотности с



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



9

Назад

Закреть

помощью гамма-метода. Плотностные характеристики геосфер. Современные возможности и применение гравиметрии.

*Магнитометрия.* Физические основы магнитометрии. Магнитная индукция. Единицы измерения магнитных величин. Магнитное поле Земли. Поле диполя. Нормальное и аномальное магнитные поля. Геомагнитные вариации. Магнитные аномалии. Континентальные магнитные аномалии. Магнитное склонение и магнитное наклонение. Магнитный экватор и магнитный полюс. Изодинамы, изогоны, изоклины. Магнитные свойства минералов и горных пород. Принципы измерения геомагнитного поля и свойств горных пород на суше, с летательных аппаратов, под Землей (в горных выработках и буровых скважинах). Магнитометры. Задачи, решаемые с помощью магнитометрии. Палеомагнитные и археомагнитные измерения. Интерпретация результатов магнитометрии. Карты магнитного поля.

*Электрические методы.* Физические основы электрических методов. Естественные электрические и электромагнитные поля, их происхождение. Искусственные электрические и электромагнитные поля. Электромагнитные свойства минералов и горных пород. Принципы измерения постоянного электрического и переменного электромагнитного поля. Способы электрометрических наблюдений на поверхности Земли и в скважинах. Интерпретация результатов измерений. Задачи, решаемые с помощью электрических методов. Методы регистрации электромагнитного излучения.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



10

Назад

Закреть

*Сейсмические методы.* История сейсмических работ. Сущность сейсмических методов. Природа сейсмических полей. Естественные и техногенные поля. Землетрясения. Типы сейсмических волн и их характеристика. Скорости продольных и поперечных волн, поглощение сейсмических волн. Упругие свойства минералов, горных пород и сред. Сейсмические методы. Интерпретация результатов измерений. Задачи, решаемые с помощью сейсмических методов. Сейсмическая модель Земли. Сейсмические границы.

*Радиометрические и ядерно-геофизические методы.* История радиометрических работ. Единицы измерения радиоактивности. Радиационное поле. Естественное и искусственное поле. Радиационный фон. Радиоактивность минералов, горных пород и сред. Главные радиоактивные изотопы Земли. Радиометрические и ядерно-геофизические методы. Задачи, решаемые с помощью радиометрических и ядерно-геофизических методов. Определение возраста горных пород.

*Геотермия.* Тепловое поле Земли и его источники (внешние и внутреннее, естественные и искусственные). Основной источник внутреннего тепла Земли. Тепловой поток Земли и его вариации. Тепловой поток Луны и Марса. Методы и средства изучения теплового поля. Радиотепловая и инфракрасная съемка. Термические исследования на суше и акваториях. Термический каротаж. Теплофизические свойства минералов, горных пород и сред. Изменение температуры с глубиной. Объекты, исследуемые с помощью геотермии.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



11

Назад

Закреть

*Разновидности геофизических методов.* Геофизические методы исследования скважин. Морская геофизика. Дистанционные аэрокосмические геофизические методы.

**3. Применение геофизических методов.** Основные направления применения геофизических методов. Геофизические исследования сфер Земли. Физика твердого тела Земли. Гидрофизика. Физика атмосферы и ближнего космоса. Геофизика ландшафтов. Исследование динамики объектов. Поиски месторождений полезных ископаемых. Изучение Мирового океана. Определение возраста Земли. Исследование планет Солнечной системы. Экологическая геофизика. Медицинская геофизика. Геофизические исследования в Беларуси.

### Примерный тематический план

№	Название темы	Количество аудиторных часов		
		Лекции	Семинар. занятия	Лаборатор. занятия
1	Основные понятия геофизики	2	2	
2	Геофизические методы	4	2	8
3	Применение геофизических методов	2		4
	<b>Всего:</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>12</b>



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



12

Назад

Заккрыть

## Часть 2

### Лекции

## 2.1 Основные понятия геофизики

*Геофизика* (от греч. geo – Земля и physike – основы естествознания) является комплексом наук, исследующих физическими методами происхождение, эволюцию, строение, свойства, процессы Земли и других планет. Геофизика основана на изучении природы, структуры, неоднородности, временной изменчивости геофизических полей и их отклонений от нормы, что обусловлено неоднородностью состава и сложностью строения Земли и других планет, характером происходящих в них процессов, влиянием космического излучения и т. п., а также воздействием техногенной деятельности.

### 2.1.1 Сущность геофизики

При геофизических исследованиях информацию об объекте можно получить с помощью естественных и искусственных **физических полей**. Понятие «объект» относится как к объекту съемки – участку территории, местности, так и к объекту исследования – определенным типам горных пород, к явлениям или процессам, протекающим в Земле и в космическом пространстве.

К *естественным* физическим полям относятся: *гравитационное*,



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



13

Назад

Закреть

магнитное, тепловое, электромагнитное, сейсмическое (поле упругих механических колебаний) и *радиационное*. Через физические поля осуществляется взаимодействие Земли как планеты с Солнцем и со всем остальным макрокосмическим пространством. В пределах Земли и ее ближайших окрестностей природные физические поля принято называть *геофизическими*, что подчеркивает их непосредственную связь, генетическую и структурную, с нашей планетой.

*Искусственные поля* (техногенные физические поля) обусловлены работой механизмов и машин, энергетических установок, транспортных средств, средств связи и других источников антропогенной деятельности.

Естественные (природные) и искусственные (техногенные) геофизические поля являются *неуправляемыми*, т. е. они существуют помимо воли исследователей, использующих их для решения тех или иных задач по изучению оболочек Земли. Специально же для геофизических исследований широко используются *управляемые* поля, которые создаются искусственно с помощью разных источников: возбудителей упругих волн (взрывных или невзрывных), батарей и генераторов постоянного или переменного тока, источников гамма-излучения и нейтронов и др.

Каждое физическое поле характеризуется своими параметрами, например гравитационное поле – ускорением свободного падения, магнитное поле – полным вектором напряженности и различными его элементами, электромагнитное – векторами магнитной и электрической



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



14

Назад

Закреть

компонент, сейсмическое – временем и скоростями распространения различных упругих волн, радиационное – интенсивностью радиоактивных излучений, тепловое – распределением температур и тепловых потоков.

Распределение параметров полей зависит не только от общего строения Земли и околоземного пространства, от происхождения или способа создания полей, т. е. от *нормального* поля, но также и от неоднородностей среды (неоднородности геологического строения, присутствия техногенных объектов и др.), создающих *аномальные* поля.

Геофизическая съемка служит для выявления этих аномалий. Полевые геофизические работы, как правило, проводятся по правильной геометрической сети на площади или с постоянным шагом по профилям. Их результаты представляются в количественной форме, т. е. набором чисел, в отличие от геологических работ, данные которых часто качественные, в виде описаний и зарисовок. Многие геофизические станции в настоящее время оборудованы устройствами для полевой записи результатов измерений в цифровом виде. В полевых условиях иногда происходит первичная обработка материала, который потом передается на базу, где происходит его прием, камеральная обработка и интерпретация, а также хранение.

В ходе камеральной обработки определяются параметры геофизических полей, оценивается точность измерений по данным обработки контрольных записей, строятся различные геофизические карты и графики. Карты и графики геофизических аномалий являются объективными



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



15

Назад

Закреть



документами, отображающими строение геофизических полей, и имеют самостоятельное научное значение. Использование геофизических аномалий для решения конкретных задач, например для изучения геологического строения площадей, покрытых геофизическими съемками, становится возможным в результате интерпретации (истолкования) природы аномалий, определения параметров возмущающих объектов и их геологической приуроченности, закономерностей расположения этих объектов в геологическом пространстве.

Обычно различают **качественную и количественную интерпретацию**. При качественной интерпретации анализируются наблюденные геофизические аномалии с целью их классификации и описания, районирования, разделения, ориентировочного определения параметров и природы возмущающих объектов, выбора и подготовки аномалий для количественной интерпретации. Количественная интерпретация – это совокупность расчетов по математическим формулам или с использованием различного рода номограмм (палеток) для определения формы, глубины залегания и физических свойств возмущающих объектов, которые оцениваются числовыми значениями. Определение геометрических характеристик и физических свойств объекта по параметрам физических полей называется *решением обратной задачи геофизики*. Решение обратных задач чаще всего производится *методом подбора*. Сущность его заключается в том, что сначала строится предварительная модель объекта. По этой модели рассчитываются физические поля, ею создаваемые. Иногда



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



16

Назад

Закреть

рассчитанные поля изображаются в виде альбомов теоретических кривых. Рассчитанные поля сравниваются с полями, полученными в результате наблюдений. Критерием того, что предполагаемая модель близка строению среды, служит совпадение рассчитанных и наблюдаемых полей, в пределах определенного критерия, например точности. Если поле рассчитанной модели выходит за пределы принятого критерия, то ее изменяют, и такой подбор повторяется до тех пор, пока не будет достигнуто совпадения в пределах заданного критерия. Но подобранная таким образом модель зачастую бывает неоднозначной.

Анализ физических свойств горных пород района с конкретным геологическим строением позволяет создавать предварительные геолого-геофизические модели, которые подтверждаются, или отвергаются, уточняются, или перестраиваются в процессе интерпретации геофизических данных.

Усложнение геологических задач и увеличение глубинности разведки приводят к необходимости **комплексной интерпретации** данных, полученных разными геофизическими методами. Интерпретация с привлечением дополнительных данных называется *обобщающей*, или *сводной*, интерпретацией.

Таким образом, геофизические исследования представляют собой последовательность операций, позволяющую получить цепочку соответствующих параметров. На всех этапах геофизических работ применяются современные быстродействующие компьютеры с большим пакетом



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



17

Назад

Закреть

разнообразных программ. Широко применяются космические средства передачи информации на большие расстояния.

Геофизическая информация отражает физико-геологические неоднородности среды *в плане, по глубине и во времени*.

### 2.1.2 Классификация геофизики

Количество методов и модификаций геофизики более сотни, поэтому существуют разные подходы к их классификации и объединению в группы.

1. *По решаемым задачам* геофизика подразделяется на *общую* (фундаментальную, глобальную, планетарную) и *прикладную*.

*Общая геофизика*, в которой выделяют **солнечно-земную физику**, планетарную геофизику, физику атмосферы, физику «твёрдой» Земли, **гидрофизику**, изучает различные физические поля, космические объекты, различные процессы в межпланетной и околоземной среде, состояние ионосферы и магнитосферы Земли, форму радиационных поясов, солнечную активность, полярные сияния, магнитные бури, физические процессы и явления в атмосфере, гидросфере, твёрдой части Земли и др. В последнее время в связи с возрастающей ролью техногенной деятельности, по последствиям сравнимой с природными факторами, из общей геофизики выделилась еще одна новая наука – **геофизика биотехносферы**. Она предназначена для изучения влияния природных и техногенных



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



18

Назад

Закреть

физических полей на биосферу. В основе всей геофизики лежат накопление и анализ большого количества наблюдений, полученных в различных точках земного шара. Для хранения этой информации, её редукции и представления в удобном для научных целей виде созданы банки геофизических данных, использование которых было бы невозможно без широкого применения современных компьютеров и разработки стандартных и специализированных вычислительных методов. Это привело к возникновению в общей геофизике нового направления, получившего название **вычислительной геофизики**, которая разрабатывает методы и алгоритмы для решения некорректных и обратных задач, позволяет удобно комплексовать разнородные геофизические, геологические, геоморфологические и другие данные.

В соответствии с решаемыми задачами *прикладную геофизику* можно классифицировать следующим образом: *региональная, разведочная, инженерная, археологическая, экологическая и медицинская* геофизика. *Региональная геофизика* предназначена для внемасштабных глубинных исследований на глубинах до 100 км (глубинная геофизика), мелко-среднемасштабных структурных исследований на глубинах около 10 км (структурная геофизика) и крупномасштабных картировочно-поисковых съемок на глубинах до 2 км (картировочно-поисковая геофизика). К *разведочной* относят нефтегазовую, рудную, нерудную и угольную геофизику, применяемую для поисков и разведки месторождений соответствующих полезных ископаемых. *Инженерная* геофизика объединяет



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



19

Назад

Заккрыть

методы, предназначенные для инженерно-геологических, гидрогеологических, почвенно-мелиоративных и других исследований. *Экологическая геофизика* решает разнообразные экологические задачи и дает объективную физическую информацию для различных дисциплин экологического профиля. *Медицинская геофизика* предназначена для исследования влияния естественных (природных) и искусственных (техногенных) геофизических полей на здоровье людей.

2. По видам деятельности различают теоретическую, инструментальную, экспериментальную, вычислительную, интерпретационную геофизику.

3. По месту проведения работ геофизику подразделяют на *аэрогеофизику, космическую, наземную (полевую), морскую, подземную* геофизику, *геофизические исследования скважин*.

4. По используемым физическим полям геофизика подразделяется на: *гравиметрию и гравиразведку, магнитометрию и магниторазведку, электрометрию и электроразведку, сейсмологию, сейсмометрию и сейсморазведку, термометрию (геотермию) и терморазведку, радиометрию и ядерную геофизику*. Слово «метрия» в названиях геофизических методов раньше относилось к собственно инструментальным разделам этих методов. В настоящее время техника настолько тесно связана с технологией проведения работ, компьютерными способами регистрации, обработки и интерпретации материалов, основанными на выводах математической геофизики, что геофизические измерения переходят в



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



20

Назад

Закреть

исследования, т. е. исследуются закономерности в поведении тех или иных геофизических параметров, которые отражают особенности состава и строения пород и минералов. Поэтому в название методов, предназначенных для решения общих фундаментальных технических, физико-математических и физико-геологических задач, входит слово «метрия». Словом «разведка» выделяются научно-прикладные методы геофизики, применяемые для решения различных задач, главным образом связанных с поиском и разведкой полезных ископаемых.

### 2.1.3 Связь геофизики с другими науками

Геофизика, изучающая Землю и околоземное пространство с помощью естественных и искусственных физических полей, занимает среди точных и естественных наук уникальное стыковое положение. Она использует достижения этих фундаментальных наук или родственных им научно-прикладных дисциплин, получает от них прямые приемы решения собственных задач, а привносит в них косвенную геофизическую информацию, ставя иногда немало проблем теоретического и прикладного плана.

Геофизика связана с *геологическими* науками и имеет общие с этими науками объекты исследований – Землю и ее оболочки. Однако предметы исследований у них разные. Предметом геологических исследований являются минералы, горные породы, толщи, структуры, полезные



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



21

Назад

Закреть

ископаемые, а геофизических – параметры различных физических полей, которые или создаются этими геологическими объектами, или искажаются вследствие того, что объекты отличаются по геометрическим параметрам и физическим свойствам от вмещающих пород. Возрастание роли геофизики в связи с увеличением глубин и сложности разведки месторождений ведет к рациональному сочетанию геологических и геофизических методов, широкому использованию всеми геологами данных геофизики.

Методика и аппаратура геофизических методов исследования основаны на использовании *физики, механики, электроники, автоматики, космонавтики*. Решение геофизических задач настолько сложно, что здесь используются передовые достижения *математики* и самый высокий уровень компьютеризации. На геофизических задачах в немалой степени совершенствуется математический аппарат. Правильная интерпретация результатов всех геофизических методов возможна лишь при использовании данных *геологии, астрономии, химии, экологии, географии* и других наук.



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



22

Назад

Заккрыть



### 2.1.4 Задачи, решаемые геофизическими методами

Основными задачами, которые решаются геофизическими методами, являются следующие:

- изучение природы, структуры, неоднородности, временной изменчивости геофизических полей и их отклонений от нормы;
- определение формы, размеров и возраста Земли;
- изучение пространственно-временной динамики объектов;
- региональные и глубинные исследования;
- контроль за состоянием окружающей среды в глобальном масштабе;
- выполнение геофизического мониторинга;
- поиск и разведка месторождений полезных ископаемых;
- решение задач инженерной геофизики (исследование сейсмических шумов от промышленных установок и транспорта, обнаружение и распознавание ядерных взрывов, выбор территорий для строительства атомных электростанций, археологические исследования);
- исследование влияния естественных и искусственных геофизических полей на здоровье людей;
- изучение Луны, Марса, Венеры и других небесных тел;
- составление и обновление геофизических карт.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



23

Назад

Заккрыть

## 2.1.5 Эффективность геофизики

**Эффективность геофизики** определяется правильным *выбором метода* (или *комплекса методов*), рациональной и высококачественной *методикой* и *техникой* проведения работ, *уровнем помех* геологического и негеологического происхождения, *качеством геофизической интерпретации* и *геологического истолкования* результатов. При объединении методов в единый комплекс стремятся уменьшить неоднозначность интерпретации и, по возможности, решить все задачи, возникающие на данной стадии работ. Комплексирование бывает межметодным геофизическим (применение хотя бы двух–трех методов геофизики); разноразновым (использование хотя бы двух технологий съемок, различающихся по уровню проведения работ); междисциплинарным (включение различной геологической, географической, экологической и другой информации). В комплекс включают ряд методов, подобранных по следующим принципам: а) каждый метод решает одну из задач; б) некоторая задача решается лишь сочетанием ряда методов; в) задача решается несколькими методами, но каждым из них недостаточно уверенно, а в результате применения нескольких методов обеспечивается необходимая надежность ее решения. Комплексные геофизические исследования характеризуются стадийностью (переходом от простых методов к более трудоемким, от мелких масштабов к крупным). При выборе комплекса приходится учитывать экономическую эффективность, т. е. искать такое



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



24

Назад

Закреть

решение задач, которое, обеспечивая надежность их решения, требует минимально возможных затрат времени и средств.

Важным критерием эффективности геофизических методов является *уровень помех*. Различают помехи *геологического* и *негеологического* происхождения. К первым относят влияние перекрывающих и подстилающих пород, рельефа местности, неоднородности свойств вмещающих пород и т. д. Для электроразведки большой помехой являются рыхлые проводящие отложения в верхней части разреза и слои высокого сопротивления (каменная соль, ангидрит, межпластовые интрузии) на глубине, так называемые экраны. Рельеф очень сильно усложняет анализ данных гравиразведки. Толщи многолетнемерзлых пород создают трудности устройства заземлений при проведении электроразведки и возбуждения взрывов при сейсморазведочных работах. К помехам негеологического происхождения относят временные вариации геофизических полей. Электромагнитные поля характеризуются вариациями теллурических токов, связанных с солнечной активностью, и блуждающих токов техногенного происхождения, а также вариациями полей грозовых разрядов. Для большинства методов электроразведки это поля-помехи, требующие средств для их подавления или учета. В геофизике все более заметными становятся помехи, порождаемые деятельностью человека. Сейсмическая вибрация, блуждающие электрические токи, железные предметы в земле и на ее поверхности, подземные горные выработки, техногенные температурные аномалии нередко оказывают заметное



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



25

Назад

Закреть

влияние на качество геофизических измерений, а в некоторых случаях делают такие работы невозможными. Борьбу с помехами ведут либо методическими приемами, либо аппаратными средствами.

Особое место в эффективности геофизических методов играет обработка и интерпретация геофизических данных. Правильная интерпретация результатов всех геофизических методов возможна лишь на хорошей геологической основе, физической базе, математических теориях. Единство и взаимодействие геофизической информации и информации других наук – руководящий методологический принцип комплексной интерпретации и геологического истолкования результатов исследований.

### 2.1.6 История геофизических исследований

Возникновение и развитие геофизических наук значительно отставало от возникновения и развития геологических наук, при этом возникновение и развитие геофизических методов исследований, естественно, отставало еще значительно. Для развития геофизических методов необходимо было не только сформировать геологию как науку в историческом масштабе времени, но также развить и сформировать практически все направления естественных наук и, прежде всего, математику, физику, химию. Кроме того, должны были активно развиваться различные отрасли промышленности, экономика и другие сферы деятельности человека, что приводило бы к созданию той или иной техники и приборов.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



26

Назад

Закреть

По этой причине первые геофизические исследования относились к области классической физики и были чисто теоретическими. Некоторые современные ученые считают [Хосе де Акосту](#) основателем геофизики за исследования в области метеорологии и физики. В его трудах впервые появилась теория о распределении тепла в зависимости от широты, о направлении течений, об активности вулканов, землетрясений. Акоста объяснил природу физических явлений, увязав их периодичность и цикличность с фазами Луны.

Физико-математические основы геофизики были заложены в 17 веке, когда были открыты основные законы физики и осознана необходимость перехода к глобальным наблюдениям и созданию обсерваторий для накопления наблюдений. Зарождение геофизических методов разведки связано с началом использования магнитных компасов для поиска железных руд и электрических измерений для выявления сульфидных руд. Первые сведения о применении компаса для разведки магнитных руд в Швеции относятся к 1640 году. Теория гравитационного поля Земли берет свое начало с 1687 года, когда Ньютон сформулировал закон всемирного тяготения. В 1753 году Ломоносов высказал мысль о связи силы тяжести на земной поверхности с внутренним строением Земли и разработал идеи газового гравиметра. Первыми работами по электроразведке являются наблюдения в 1830 году Р. Фокса (Великобритания) естественной поляризации сульфидных залежей. В 1783 году П. Иноходцевым по отклонению стрелки компаса была открыта Курская



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



27

Назад

Закреть

магнитная аномалия. Со времени установления Кулоном закона взаимодействия магнитных масс (1785 год) начинает развиваться теория земного магнетизма.

Как комплексная самостоятельная наука геофизика определилась к середине 19 века, когда были накоплены достаточно обширные материалы геофизических наблюдений, позволившие приступить к их обобщению и физическому истолкованию.

Впервые идею международных геофизических исследований Земли высказал австрийский геофизик Карл Вайпрехт еще в 1875 году. Он писал: «Новые знания по геофизике ограничены из-за отсутствия одновременных наблюдений в разных точках, которые позволили бы сделать сравнения. Но это будет возможно лишь когда страны, считающие себя передовыми в отношении научного прогресса, решатся работать сообща, полностью исключив всякое национальное соперничество. Необходимо окружить северную полярную область кольцом станций, на которых проводились бы одновременно в течение одного года при помощи одинаковых приборов и одинаковыми методами различные наблюдения. Главное внимание при этом должно быть уделено геофизике». Призыв был услышан научной общественностью мира, и 1 августа 1882 года начался [Первый Международный полярный год](#) (I МПГ). Его программа базировалась на изучении погоды в высоких широтах Северного полушария, движения дрейфующих льдов, исследовании геомагнитных явлений в областях, окружающих магнитный полюс планеты. Для воплощения в



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



28

Назад

Закреть

жизнь этой программы впервые в мировой истории объединились учебные одиннадцать стран. Президентом Международной полярной комиссии, которая возглавила все работы, был избран представитель России академик Г.И. Вильд. Скоординировав национальные программы и задачи работ, геофизики Австро-Венгрии, Великобритании, Дании, Голландии, Норвегии, Швеции, Германии, Франции, Соединенных Штатов Америки, Канады и России направили экспедиции в труднодоступные районы, создали зимовки и обсерватории в ключевых для науки пунктах Заполярья (рисунок 2.1). Результаты МПГ публиковались в течение семи лет и заняли 36 объемистых томов. Они включали уникальные сведения о дрейфующих льдах, условиях погоды, геомагнитных явлениях; были составлены первые карты, показывающие распределение полярных сияний в полосе, окружающей магнитный полюс. Эти сведения легли в основу дальнейшей многолетней деятельности геофизиков, создающих единую теорию физических процессов, охватывающих планету. Чисто условно к Международному полярному году можно отнести завершение первого этапа формирования геофизики как комплексной науки.

Первыми систематическими разведочными работами были съемки Курской магнитной аномалии (КМА) ([приложение А](#)), начатые в 1894 году. В 1919 году на КМА были начаты систематические магнитные съемки. Применение геофизики расширилось в 1920-х годах, когда гравиметрические и сейсмические исследования доказали свою



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



29

Назад

Закреть





Рисунок 2.1 – Арктические станции в период Первого Международного полярного года

эффективность в обнаружении соляных куполов и связанных с ними нефтяных залежей на побережье Мексиканского залива в США и Мексике. В 1925 году был проведен Первый геофизический съезд.

Качественно новый этап развития геофизики начался в конце 30-х – начале 40-х годов, когда были построены первые реальные геофизические модели Земли и начали оформляться основные прикладные методы геофизики: грави-, магнито-, электро-, сейсмо-, терморазведка.

Развитие науки и техники приобрело большой размах в середине 20 века. Появилась потребность в новых сведениях по планетарной



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



30

Назад

Закреть

геофизике. Новые средства исследования, такие как радиолокатор, ракета, радиоактивные изотопы, электронные вычислительные машины, телеметрические системы, радиотелескопы, дали в руки ученых невиданные возможности. Профессор Леон Беркнер, член Международного совета научных союзов (МСНС), в 1952 году от имени МСНС предложил провести новые геофизические исследования, которые охватили бы наблюдениями всю Землю в целом. Намерение провести очередные после Международного полярного года исследования быстро трансформировалось в идею [Международного геофизического года \(МГГ\)](#), который явился одним из крупнейших научных проектов 20 столетия [16]. В изучении Земли приняли участие 67 стран: Аргентина, Австралия, Австрия, Бельгия, Боливия, Бразилия, Бирма, Гана, Канада, Куба, СССР, Франция, Чили, Эквадор и другие. Период проведения МГГ с 1 июля 1957 года по 31 декабря 1958 года впоследствии был продлен до конца 1959 года. Комитетом была утверждена эмблема МГГ, изображающая Землю, повернутую к зрителю своей наименее изученной стороной – Антарктидой (рисунок 2.2).

СССР принял активное участие в грандиозном событии. Это был период политической оттепели, открылась возможность для советских ученых принимать участие в работах по международным проектам. В 1954 году решением Правительства СССР был создан специальный орган для координации научных исследований – Межведомственный комитет по подготовке и проведению МГГ при Президиуме АН СССР



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



31

Назад

Закреть



Рисунок 2.2 – Эмблема МГГ

(ныне Геофизический центр РАН). Деятельность Комитета освещалась в специальном информационном бюллетене, первый номер которого вышел в 1956 году. Запуск первого ИСЗ стал центральным событием МГГ; впервые ученые получили возможность взглянуть на Землю «со стороны». Программа исследований была многогранной. Она предусматривала изучение метеорологических явлений и физики атмосферы, постоянного и переменного магнитного поля Земли, полярных сияний и свечений ночного неба, ионосферы и законов распространения радиоволн, метеоров и космических лучей, несущих информацию о физической обстановке на ближних и дальних подступах к планете.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



32

Назад

Закреть

Программа включала всестороннее изучение физических процессов в Мировом океане, исследования вариаций силы тяжести на поверхности планеты, колебаний широт и долгот и точные определения фигуры Земли. 1 июля 1957 года на 4 тысячах научных станций, расположенных по всем континентам, около 30 тысяч специалистов были готовы к всесторонним геофизическим наблюдениям. Одним из наиболее многочисленных отрядов геофизиков во всем мире был советский. В программе исследований приняли участие научные корабли «Витязь», «Михаил Ломоносов», единственная в мире немагнитная шхуна «Заря», австралийская «Диамантина», американский «Ист-Уинд», немецкий «Гаусс», французская «Жанна Д'Арк», английский «Эксплорер».

Трудами многих специалистов (рисунок 2.3) в различных странах за 30 месяцев МГГ был накоплен невиданный в истории свод фактов о жизни нашей планеты. Эти данные воплощены в огромном количестве бланков и таблиц, графиков и карт, в километрах фото- и киноплёнки, на которых запечатлены все физические процессы, характеризующие Землю. Такие материалы уникальны: они созданы в единственном экземпляре непосредственно в ходе наблюдений. Одна из важнейших идей МГГ – обеспечить широчайшему кругу ученых доступ к его результатам, чтобы стало возможным их сопоставление, без чего нельзя ожидать достоверных выводов о процессах, охватывающих Землю в целом.

Национальные Комитеты МГГ двух ведущих стран – СССР и США – организовали у себя Мировые центры данных (МЦД) для хранения



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



33

Назад

Закреть



Рисунок 2.3 – Ведущие геофизики мира: М. Николе (Бельгия), Ж. Кулон (Франция), Л. Беркнер (США), В.В. Белоусов (СССР), С. Чепмен (Великобритания). Беркли, США, 1963 год

информации МГГ. Один из них (МЦД А) разбросан по нескольким городам США, другой (МЦД Б) находится в Москве в Геофизическом центре РАН. В обоих МЦД сосредоточены результаты наблюдений по всем разделам геофизики, входившим в программу МГГ. Эти центры безвозмездно обмениваются между собой копиями всего, что ими получено от наблюдателей. Специалисты всех стран имеют возможность получить из любого МЦД интересующие его материалы.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



34

Назад

Закреть

Научная продукция МГГ печаталась в виде журнальных статей, отдельных сборников и книг во многих странах. Однако потребовалось и общее издание. В Англии издали международные «Анналы МГГ», в СССР результаты исследований печатались в серии трудов «Результаты МГГ». Международный геофизический год ознаменовал начало нового направления в филателии. Символ МГГ в виде точки спутника на околоземной орбите явился основным элементом марки Японии, вышедшей в первый день геофизического года. Такой же рисунок имел и специальный штемпель первого дня, гашение которым производилось на токийском почтамте (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Штемпель первого дня МГГ (Япония)



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



35

Назад

Закреть

Начало МГГ отмечено и другим почтовым штемпелем. С 1 по 31 июля 1957 года в Эссене (ФРГ) гасили почтовую корреспонденцию механическим спецштемпелем, подобного которому еще не было в истории почты. На рисунке – изображение искусственного спутника с усами радиоантенн, совершающего полет вокруг Земли. Это было первым в мире почтовым гашением, давшим графический портрет искусственного спутника на орбите. Позже многие тысячи почтовых марок были выпущены в разных странах мира, в том числе и в СССР (рисунок [2.5](#) ).

МГГ оказался очень плодотворным благодаря установившемуся в то время духу сотрудничества ученых всех стран, принимавших в нем участие. Поэтому МГГ вошел в историю науки и в историю человечества как одно из самых гуманных и благородных начинаний. С окончанием МГГ стало ясно, что дальнейшее изучение планеты остается международным и глобальным. Необходимо научное сотрудничество как на стадии подготовки эксперимента, так и в ходе его проведения и анализа результатов. В последовавший за МГГ период были проведены следующие проекты: Международный год спокойного Солнца (1964–1965), Проект верхней мантии (1961–1971), Международный геодинамический проект (1971–1980), Международный год активного Солнца (1969–1971), Международные исследования магнитосферы (1976–1979), ЭЛАС (изучение электропроводности астеносферы (1978–1985), Международный год солнечного максимума (1979–1981). Международный проект «[Гео-траверс](#)», Международная программа «Литосфера» и Международный



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



36

Назад

Закреть



проект «Континентальные окраины» продолжают в наши дни. Программа проекта «Верхняя мантия» была посвящена изучению внутреннего строения Земли, установлению роли процессов, протекающих в астеносфере (пластичном слое в верхней мантии), формированию и развитию структур земной коры. Исследования по этому проекту привели к разработке новой теории в науках о Земле – «плитовой тектонике», предусматривающей направленное движение литосферных плит по астеносферному слою. Программа Геодинамического проекта предусматривала изучение физических свойств земных недр, эндогенных процессов, приводящих к формированию полезных ископаемых, исследование медленных вековых колебаний суши и моря, расположение океанов и континентов в прошлом, развитие рифтовых структур континентов и океанов. Изучению зоны перехода от континента к океану был посвящен проект «Геотраверс», направленный на изучение глубинного строения недр Земли в западной части Тихого океана в регионах Охотского, Японского и Филиппинского морей. В совместных исследованиях приняли участие ученые университетов и научных институтов России, Японии и Китая. На основе комплексной интерпретации геолого-геофизических данных были построены глубинные разрезы земной коры и верхней мантии. Работа была направлена на решение фундаментальной проблемы глубинного строения активных континентальных окраин Дальнего Востока, которые характеризуются высокой сейсмичностью, вулканизмом и катаклизмами, опасными для проживающего здесь



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



37

Назад

Закреть

населения. Задача всех международных программ, проектов, экспедиций состояла в том, чтобы лучше познать различные физические аспекты жизни нашей планеты.



Рисунок 2.5 – Отображение МГГ в филателии

В последнее время значение геофизики резко возросло в связи с тем, что стоящие перед ней проблемы – изучение и оценка природных ресурсов, охрана окружающей среды, прогноз погоды и стихийных бедствий, исследование Мирового океана, космические исследования, контроль за ядерными испытаниями – принадлежат к числу основных проблем человечества. В связи с этим геофизика снова выдвинулась на одно из центральных мест в современном естествознании.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



38

Назад

Закреть

Сведения о первых геофизических работах на территории Беларуси относятся к 1875 году. В это время доцент Казанского университета [И.Н. Смирнов](#) производил магнитную съёмку в районе Минска. Позднее, в 1904, 1924, 1927 годах в том же пункте проводились повторные магнитные измерения сотрудниками Главной геофизической обсерватории (Петербург). С 1930 года на территории Беларуси начали выполняться отдельные геофизические работы. С 1 января 1936 года стала функционировать Минская геофизическая обсерватория. В 1938 году здесь был создан пункт векового хода, на котором велись регулярные наблюдения магнитного поля. В послевоенные годы геофизические работы проводились в достаточно большом объеме с целью изучения верхней части осадочного чехла и поисков месторождений полезных ископаемых. Уже в 1949 году на основании результатов геофизических работ было открыто Старобинское месторождение калийных солей. В конце 60-х годов по программе Международного геофизического года началось исследование глубинных зон Земли. Через территорию Беларуси проходил международный геофизический профиль Адриатическое море – Балтийское море. Он пересекал территорию Беларуси по направлению Овруч – Бобруйск – Браслав. В зоне профиля выполнялось глубинное сейсмическое зондирование, геотермические, гравиметрические, магнитометрические исследования. В Беларуси первые инструментальные исследования сейсмичности начались в 1965 году после строительства геофизической обсерватории «Плещеницы» в Логойском районе.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



39

Назад

Закреть

Важную роль в развитии таких исследований в республике сыграла международная программа, являющаяся составной частью «Проекта верхней мантии». Сейсмическая станция в Плещеницах, расположенная на пересечении двух европейских сейсмических геотраверсов – широтного и меридионального, была включена в число станций – участниц согласованных исследований. В целом белорусская наблюдательная сейсмическая сеть была организована в 1980 году и вошла в состав Единой сети сейсмических наблюдений СССР. Сейсмологический мониторинг осуществлялся в непрерывном режиме в геофизических обсерваториях «Плещеница» и «Нарочь», сейсмических станциях «Солигорск», «Брест», «Гомель», «Глушкевичи», «Полоцк», «Могилёв», «Литвяны». В связи с неудовлетворительными геолого-геофизическими условиями станции «Брест», «Гомель» и «Глушкевичи» были в разное время закрыты. Современная сеть наблюдений состоит из 6 сейсмических станций. В 2001 году в Беларуси был создан Центр геофизического мониторинга, являющийся составной частью Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь. Геофизический мониторинг проводится ежегодно по следующим направлениям: сейсмический мониторинг, геомагнитный мониторинг, мониторинг гравитационного поля Земли. Для изучения современных вертикальных движений на Белорусском геодинамическом полигоне, созданном в 1976 году, по профилю Вильнюс – Поставы – Нарочь – Плещеницы – Борисов – Минск – Молодечно проводятся высокоточные гравиметрические и магнитные измерения.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



40

Назад

Закреть

Две геофизические экспедиции (Центральная геофизическая экспедиция в Колодищах Минского района и Геофизическая экспедиция в Минске) выполняют региональные, поисковые, инженерные и другие геофизические работы.

Дальнейший рост минерально-сырьевой базы Беларуси, требующий разведки полезных ископаемых на все больших глубинах, а также расширение объемов инженерно-гидрогеологических, мелиоративных, техногенных изысканий приведут к дальнейшему расширению применения геофизических методов исследований, их широкому комплексированию с другими методами, а значит, необходимости их изучения различными специалистами, в том числе и географами.

### 2.1.7 Достоинства и недостатки геофизических методов

Геофизические методы имеют много преимуществ по сравнению с другими методами, исследующими Землю и ее оболочки, решающими инженерно-геологические, экологические и другие задачи. Если геологические и геохимические методы являются *прямыми*, методами близкого действия, основанными на непосредственном, точечном или локальном изучении минерального, петрографического или геохимического состава вскрытых выработками пород, то геофизические методы являются *косвенными, дальнедействующими*, обеспечивающими *равномерность, объемный характер получаемой информации* и практически



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



41

Назад

Закреть

неограниченную глубинность. При этом *производительность* геофизических работ значительно *выше*, а *стоимость* в несколько раз *меньше* по сравнению с разведкой с помощью неглубоких (до 100 м) и в сотни раз меньше при бурении глубоких (свыше 1 км) скважин.

Методы непосредственного изучения недр, например бурение скважин, не дают возможности познать строение Земли глубже, чем на несколько километров от её поверхности. Самая глубокая в мире скважина (Кольская) пробурена до глубины немного больше 12260 метров, ещё меньшие глубины достигнуты при бурении океанического дна. Таким образом, непосредственному изучению доступны глубины, не превышающие 0,2 % радиуса планеты. Поэтому геофизические методы являются основными для изучения земной коры, мантии и ядра. В ряде случаев геофизические методы позволяют определить параметры глубоко залегающего объекта: форму, глубину залегания верхней и нижней кромок, направление и угол падения. Бурение или горные выработки дают тот же результат, но затраты на них значительно выше.

Геофизические методы обладают эксплуатационной гибкостью. Измерения могут быть проведены на суше и на море, в заболоченных и покрытых лесом местах, на снегу и на льду, в городских условиях, где затруднено применение геологических методов.

Геофизические методы обеспечивают достаточную представительность информации и позволяют значительно повысить надежность, информативность и достоверность как геологических, так и инженерных



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



42

Назад

Закреть

изысканий. Сегодня в широких масштабах повсеместно проводится строительство, реконструкция зданий и сооружений, поиск причин появления трещин в фундаментах и стенах строений. Исследование грунтов под этими зданиями и сооружениями может проводиться традиционными методами инженерно-геологических изысканий либо более современными методами инженерной геофизики. При инженерно-геологических изысканиях бурят скважины, чтобы отобрать грунт для лабораторного определения их физико-механических свойств. Достоинства данного метода состоят в получении прямых, то есть лабораторных, показателей, натуральных определений уровня, качества и химического состава грунтовых вод. Но такой метод является трудоемким и дорогостоящим. Особенно трудно изучать свойства грунта под возведенным зданием. Бурение в таком случае выполняется вне контура основания, поэтому можно получить недостоверные сведения, особенно если грунты неоднородны. Преимущество геофизических методов состоит в том, что они дают возможность оценить строение и свойства грунтов в массиве по площади и в глубину без разрушения исследуемого объекта в отличие от исследования точечным способом с применением бурения.

Технология большинства геофизических методов не оказывает воздействия ни на изучаемые объекты, ни на окружающую среду, поэтому геофизические работы могут выполняться на особо охраняемых природных территориях, в охранных историко-археологических зонах. Актуальность и преимущество проведения геофизической разведки особенно



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



43

Назад

Закреть



возрастает при экстренных исследованиях территорий, где раскопки не запланированы или по каким-либо причинам невозможны, а также в случаях, когда ни в рельефе местности, ни в растительности нет каких-либо признаков погребенных объектов или они находятся под угрозой исчезновения в силу природных и техногенных процессов. При невозможности проведения раскопок на всей территории в зоне строительства такая геофизическая информация может оказаться единственным источником знаний о нераскопанной части памятника.

Геофизические методы разведки современны и являются мощным инструментом ускорения научно-технического прогресса в геологии, так как они наиболее восприимчивы к новым достижениям науки и техники в связи с использованием компьютеризированных измерительных комплексов. Запись большинства геофизических измерений выполняется с помощью цифровых приборов, поэтому эти измерения практически готовы для ввода в компьютер без операции оцифровки.

Но в то же время у геофизических методов есть свои недостатки. По геофизическим данным, не используя данных других методов, невозможно установить геологическую природу объекта. Лишь сопоставляя геофизические аномалии с аномалиями над уже известными геологическими объектами, можно получить геологическое истолкование геофизических данных.

Выявление геофизических аномалий – сложная техническая и математическая проблема, поскольку оно проводится на фоне не всегда



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



44

Назад

Закреть

однородного и спокойного нормального поля, среди разнообразных помех геологического и негеологического происхождения. Результаты геофизических исследований дают право на отрицание наличия искомого объекта, но не дают право на утверждение его присутствия. Например, известно, что сульфиды характеризуются аномалиями высокой проводимости. Допустим, поисковые геофизические работы одним из электроразведочных методов проведены на двух смежных территориях. На одной из них аномалий проводимости не выявлено. Это дает право утверждать, что продолжать на ней поиски сульфидных руд на глубинах, обеспечиваемых использованным методом, бессмысленно. На другой территории выявлено несколько аномалий проводимости. Но утверждать, что хотя бы одна из них связана с телом сульфидов, нельзя, потому что есть много других геологических объектов, создающих аналогичные аномалии. Правда, площадь дальнейших поисков в этом случае сужается.

Сложность геофизической интерпретации объясняется как неоднозначностью решения обратной задачи (одно и то же распределение параметров физического поля может соответствовать различным соотношениям физических свойств и размеров объектов), так иногда и приближенностью самого решения. Поэтому из нескольких возможных вариантов интерпретации необходимо выбирать наиболее достоверный.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



45

Назад

Заккрыть

### 2.1.8 Физические свойства горных пород

Детальная физическая характеристика геологических образований составляет основу геофизики и обуславливает наиболее информативное решение различных задач. **Физические свойства** – это характерные качества, присущие веществам. Сюда относится плотность, упругость, электропроводность, теплопроводность, радиоактивность и др. Исследование физических свойств в геофизике характеризуется своими задачами, теорией и методикой и выделяется как область петрофизики. Петрофизика – неразрывная, составная часть геофизики, наиболее тесно связанная с физикой веществ. Из многих физических свойств горных пород петрофизика изучает главным образом свойства, создающие физические поля, которые могут быть измерены геофизическими методами. Физические свойства горных пород обуславливаются внутренней энергией систем, а также влиянием внешних факторов – таких как температура, давление, магнитное поле Земли. Установлена зависимость физических свойств горных пород от их общего минерального и химического состава, структурно-текстурных особенностей, степени диагенеза и метаморфизма. Эта зависимость различна для разных генетических типов горных пород.

Физическую характеристику геологических образований определяют по физическим полям [14], измеренным на поверхности земли, в воздухе и в скважинах, по физическим свойствам образцов горных пород.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



46

Назад

Закреть

Аэро- и наземные геофизические методы позволяют получить объемную физическую характеристику пород в естественном залегании на различных глубинах, в том числе на глубинах, недоступных бурению. Каротаж дает возможность установить характер линейного распределения исследуемых свойств в естественных условиях. Лабораторные методы позволяют получить высокую точность определения физического параметра в образце при детальном изучении его свойства и текстурно-структурных особенностей в изменяющихся термодинамических условиях. Свойства образца при этом не всегда точно отражают свойства породы в естественном залегании. Несовпадение свойств может быть обусловлено различными пределами изменения состава и текстурно-структурных особенностей образца исследуемого геологического образования, несоответствием физического состояния образца в лабораторном эксперименте и породы, находящейся в естественном залегании в условиях обводненности, механических и тепловых напряжений и т. п. Однако большинство физических свойств горных пород определяются в лабораторных условиях на образцах, взятых из обнажений, горных выработок и скважин.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



47

Назад

Закреть

## Характеристика основных геофизических свойств горных пород

1. Физическим параметром, на котором базируется *гравиметрия*, является *плотность*. Плотностью горных пород « $\sigma$ » называется отношение массы твердой, жидкой и газовой фаз горной породы  $m$  к занимаемому объему  $V$ :

$$\sigma = \frac{m}{V}.$$

В полевой геофизике единицей измерения плотности является г/см<sup>3</sup>. Из числа физических параметров плотность наиболее изучена. Она зависит от удельного веса твердого скелета, объема пустот (трещин, пор), степени их наполнения и удельного веса их наполнителя, от возраста, глубины залегания и пр. Плотность горных пород изменяется в пределах 1,2–3,5 г/см<sup>3</sup>. Большинство породообразующих минералов имеют среднюю плотность (амфиболы, апатит, карбонаты, кварц, нефелин, оливины, пироксены, полевые шпаты, слюды, хлориты и др.). Относительно пониженными значениями характеризуются гипс, опал, графит, сера, галит, сильвин; повышенными – некоторые оливины, гранаты, эпидоты, циркон, магнетит и другие рудные минералы. Плотность магматических пород зависит главным образом от состава пород и растет с увеличением их основности. Плотность метаморфических пород зависит от минералогического состава и степени метаморфизма исходных



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



48

Назад

Закреть

пород. Плотность осадочных пород в значительной мере определяется их пористостью. Плотность природных подземных вод при нормальных условиях изменяется от значений  $1,01 \text{ г/см}^3$  (пресная вода) до  $1,24 \text{ г/см}^3$  (рассол).

Среднюю плотность горных пород можно определить по данным гравиметрических съемок вдоль профилей, пересекающих характерные формы рельефа. Плотность пород в массиве с достаточной степенью точности (с погрешностью 1–3 %) можно определить с помощью гамма-метода, основанного на эффекте различной степени поглощения и рассеяния радиоактивного гамма-излучения в средах с различной плотностью. С этой целью в изучаемом участке массива пород бурят на расстоянии 20–70 см друг от друга параллельные шпуры или скважины. В одном из шпуров помещают закрытый источник гамма-излучения (обычно радиоактивный изотоп  $\text{Co-60}$ ,  $\text{Cs-137}$  или  $\text{Ra-226}$ ). Во втором параллельном шпуре помещают регистрирующий зонд с детектором (счетчиком гамма-квантов). Перемещая зонды с источником и детектором вдоль скважин, фиксируют интенсивность гамма-излучения, прошедшего через толщу горной породы между скважинами, и по тарировочным графикам или номограммам устанавливают плотность пород на исследуемых участках.

2. Основными магнитными параметрами горных пород являются магнитная восприимчивость  $\chi$  и остаточная намагниченность  $J_r$ . Магнитная восприимчивость  $\chi$  – это способность веществ



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



49

Назад

Закреть

намагничиваться под действием внешнего магнитного поля. Параметр  $\chi$  – величина безразмерная, которая оценивается обычно в долях единицы СИ. По особенностям взаимодействия с внешним магнитным полем и по величине  $\chi$  все минералы и горные породы разделяются на *диамагнетики*, *парамагнетики* и *ферромагнетики*. *Диамагнетики* являются практически немагнитными породами. Коэффициент магнитной восприимчивости для них отрицательный ( $\chi < 0$ ) и обычно имеет порядок  $10^{-5}$  ед. СИ. Намагничивание диамагнетиков направлено против намагничивающего поля. К диамагнетикам относится большинство породообразующих минералов (кварц, кальцит, гипс, ангидрит, ортоклаз, циркон, графит и др.). У *парамагнетиков* магнитная восприимчивость положительна и также невелика. Парамагнитные вещества не обладают самопроизвольной намагниченностью. В отсутствие внешнего поля их магнитный момент равен нулю. При наличии поля атомные магнитные моменты парамагнетиков ориентируются в направлении силовых линий поля. *Ферромагнетики* характеризуются высокими положительными значениями магнитной восприимчивости  $\chi$ . Наиболее распространенными ферромагнитными минералами являются магнетит, титаномагнетит, сидерит, пирротин, якобит. В отличие от диа- и парамагнетиков ферромагнитные минералы обладают свойством сохранять остаточную намагниченность и при отсутствии внешнего поля.

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



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



50

Назад

Закреть



ферромагнитных минералов. По величине магнитной восприимчивости все горные породы подразделяются на *слабомагнитные, среднемагнитные, сильномагнитные* и *очень сильномагнитные*. Наибольшей магнитной восприимчивостью обладают породы магматического происхождения. Магнитная восприимчивость метаморфических пород несколько меньше по сравнению с магматическими. Осадочные породы обычно практически немагнитны или очень слабомагнитны. Наименьшей магнитной восприимчивостью обладают известняки, доломиты, ангидриты, гипсы, соли и другие породы, состоящие в основном из диамагнитных минералов. Слабомагнитные разновидности установлены среди песков, песчаников и глин, причем обычно при переходе от песчано-пылеватых пород к глинистым их магнитная восприимчивость возрастает.

*Остаточная намагниченность  $J_r$*  – намагниченность, создаваемая магнитным полем, сохраняющаяся после прекращения его действия. Остаточная намагниченность представляет как бы законсервированное магнитное поле прошлых геологических эпох, т. е. характеризует намагниченность пород, приобретенную ими в момент формирования. Свойство некоторых горных пород длительное время сохранять остаточную намагниченность явилось основой для развития палеомагнитных методов исследования горных пород, позволяющих получать ценные сведения о структуре геомагнитных полей прошлых геологических эпох.

3. Основными *электрическими* свойствами горных пород являются *удельное электрическое сопротивление  $\rho$  и поляризуемость  $\eta$* .



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



51

Назад

Закреть

Величина удельного электрического сопротивления характеризует способность горных пород проводить электрический ток. Удельное электрическое сопротивление – это сопротивление, которое оказывает кубический метр горной породы со стороной 1 м электрическому току, направленному перпендикулярно к одной из граней куба. Единица удельного сопротивления – Ом·м. Величина, обратная удельному электрическому сопротивлению, называется удельной электропроводностью и измеряется в сименсах на метр (См/м).

Горную породу в качестве проводника электрического тока можно представить как агрегат, состоящий из твердого минерального скелета, жидкости и газов. На удельное сопротивление такого агрегата влияет минеральный состав, количество растворенных солей, пористость, влажность, трещиноватость, зернистость, температура и пр. Например, при увеличении температуры на 40 °С сопротивление уменьшается примерно в 2 раза, что объясняется увеличением подвижности ионов. При замерзании сопротивление горных пород возрастает скачком, так как свободная вода становится практически изолятором.

Удельное электрическое сопротивление горных пород изменяется в очень широких пределах от  $10^{-8}$  до  $10^{12}$  Ом·м. Изверженные породы характеризуются наиболее высокими значениями удельных сопротивлений. Это связано с тем, что именно данной группе пород свойственна очень малая пористость, от которой зависит сопротивление. Сопротивление плотных изверженных пород измеряется тысячами и иногда



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



52

Назад

Заккрыть

десятками тысяч Ом·м. Метаморфические породы занимают промежуточное положение между осадочными и изверженными породами. Удельное электрическое сопротивление тем больше, чем больше степень метаморфизма. Среди метаморфических пород своим малым удельным сопротивлением выделяются графитизированные и углефицированные породы, главным образом сланцы. Осадочные породы характеризуются низкими по сравнению с другими типами пород сопротивлениями. Это объясняется их значительной пористостью. Однако среди пород этой группы выделяются породы, отличающиеся повышенным сопротивлением. К ним относятся каменная соль, гипсы, известняки, сухие песчаники и некоторые другие. Удельное электрическое сопротивление нефтей достигает  $10^{16}$  Ом·м. Электрическое сопротивление залежей нефти и газа нефтегазоносных пластов может превосходить сопротивление водоносных пластов в 100 раз и более.

*Вызванной поляризацией* называется способность пород поляризоваться при прохождении электрического тока и создавать в окружающем пространстве электрическое поле после выключения тока. Поляризуемость  $\eta$  равна отношению разности потенциалов вызванной поляризации  $\Delta U_{\text{ВП}}$ , измеренной по истечении определенного времени (обычно 0,5–1 с) после отключения питающего тока, к разности потенциалов первичного поля  $\Delta U$ :

$$\eta = \frac{\Delta U_{\text{ВП}}}{\Delta U} \times 100 \% .$$



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



53

Назад

Заккрыть

Поляризуемость является величиной безразмерной и выражается в процентах. Значение  $\eta$  для различных пород изменяется в пределах 0,1–40 %. Большой поляризуемостью обладают породы, содержащие рассеянные вкрапления электронных проводников. Повышенной поляризуемостью характеризуются месторождения нефти и газа. Это связано с наличием пирита, образовавшегося благодаря сложным взаимодействиям залежей нефти и газа с вмещающими породами. Для пород, не содержащих электронно-проводящих минералов, величина  $\eta$  составляет 1–6 %. Отмечается возрастание поляризуемости по мере уменьшения диаметра слагающих породу частиц.

4. *Упругими* параметрами горных пород, используемыми в геофизике, являются *скорости сейсмических волн*. Скорость волн  $v$  равна отношению длины пути  $S$  соответствующей волны к времени пробега  $t$  этого пути:

$$v = \frac{S}{t} .$$

Скорость волн в первую очередь определяется литологическим составом пород, однако условия их формирования и залегания также имеют существенное значение, вследствие чего для каждой породы можно указать только пределы возможных значений скоростей. Наименьшими скоростями характеризуются слабо сцементированные породы верхней части геологического разреза, в которых скорость продольных волн



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



54

Назад

Закреть

$V_P$  обычно не превышает 1 км/с. В терригенных породах скорость редко доходит до 3,5 км/с. В гидрoхимических и карбонатных отложениях она имеет большее значение и достигает 6,5 км/с. Высокими значениями скорости характеризуются метаморфические породы. В изверженных породах скорость продольных волн достигает 7 км/с. На глубине 20–60 км скорость может превышать 8 км/с. С увеличением раздробленности, трещиноватости, рыхлости, пористости  $V_P$  уменьшается. Чем больше возраст пород и глубина залегания, тем больше скорость.

5. Физическими свойствами, используемыми в *радиометрии* и *ядерной геофизике*, являются *естественная радиоактивность* и *искусственная радиоактивность*.

*Естественной радиоактивностью* называется самопроизвольный распад неустойчивых атомных ядер, спонтанно превращающихся в ядра других элементов и сопровождающийся испусканием альфа-, бета-частиц, гамма-квантов и другими процессами. Известно более 230 радиоактивных изотопов, но основная доля альфа-, бета-, гамма-излучения горных пород связана с радиоактивным распадом урана-238, урана-235, тория-232 и калия-40. Самые распространенные радиоактивные элементы имеют период полураспада, сравнимый с возрастом Земли, поэтому они являются основными источниками радиогенного тепла в прошлом, настоящем и будущем. Наиболее распространенные породообразующие минералы объединяются в четыре группы: *слаборадиоактивные* (кварц, калиевые полевые шпаты, плагиоклаз, нефелин); *нормальной и*



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



55

Назад

Закреть

*слабо повышенной радиоактивности* (биотит, амфиболы, пироксены); *повышенно-радиоактивные* (магнетит, апатит, эвдиалит, флюорит, ильменит); *высокордиоактивные* (уранит, настуран, торинанит, торит, монацит, циркон).

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. 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 (граниты), а из осадочных – песчаник, глина, калийные соли, ангидриты и особенно тонкодисперсный морской ил, обладающий способностью адсорбировать радиоактивные элементы, растворенные в воде. *Высокое содержание радиоактивных элементов* в радиоактивных рудах, зонах околорудных изменений и ореолах рассеяния. Это позволяет широко использовать радиометрические методы для поисков урановых и ториевых руд.

*Искусственная радиоактивность* характеризует способность горных пород рассеивать, замедлять и поглощать гамма-кванты или нейтроны разных энергий, которыми облучаются породы при применении ядерно-геофизических методов. Основным гамма-лучевым свойством породы



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



56

Назад

Закреть

является ее способность поглощать и рассеивать гамма-лучи, а основным нейтронным свойством – способность поглощать и рассеивать нейтроны. Количественно эти свойства описываются полным линейным коэффициентом ослабления и поглощения. Величину, обратную коэффициенту ослабления и поглощения нейтронов, называют полной длиной пробега нейтронов.

6. Основным *теплофизическим* параметром горных пород является *теплопроводность*. Другие теплофизические свойства (теплоемкость, температуропроводность, тепловое расширение) играют меньшую роль в формировании теплового режима Земли и используются в геофизике редко. Теплопроводность  $\lambda$  характеризует способность вещества проводить теплоту и численно равна плотности теплового потока  $q$  при градиенте температуры, равном единице:

$$\lambda = \frac{q}{\text{grad } T} .$$

Единицей измерения теплопроводности в системе СИ является Вт/(м·К). Теплопроводность горных пород зависит от состава, структуры, текстуры, плотности, пористости, влажности, температуры, возраста и других факторов. 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



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



57

Назад

Закреть



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. Среди осадочных горных пород чрезвычайно низкой теплопроводностью характеризуются бурые и каменные угли, углеродистые горючие сланцы, торф. Повышенная плотность магматических и метаморфических пород (по сравнению с осадочными), значительно меньшая пористость и содержание воды обуславливают более высокие значения теплопроводности и меньшие колебания этой величины. Повышенной теплопроводностью характеризуются вкрапленные руды, содержащие акцессорные и рудные минералы.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



58

Назад

Заккрыть

## 2.2 Геофизические методы

### 2.2.1 Гравиметрия

Слово *гравитация* в переводе с греческого означает *тяжесть*. В настоящее время под гравитацией понимают распределение силы тяжести на Земле, планетах и других космических телах, а также в самом космическом пространстве. Наука, изучающая эти явления, получила название **гравиметрии**. Физической основой гравиметрии является способность различных по плотности горных пород и сред создавать различные изменения в гравитационном поле [10].

Начало экспериментальному изучению силы тяжести было положено Г. Галилеем, проводившим опыты над падением тел под действием силы тяжести. Г. Галилей показал, что мерой силы тяжести является ускорение, которое сила тяжести сообщает свободно падающему телу. В 1590 году Г. Галилей первым определил численное значение ускорения силы тяжести. В его честь единица измерения получила название Гал ( $1 \text{ Гал} = 1 \text{ см/с}^2$ ). Спустя примерно сто лет исследования Г. Галилея продолжил голландский ученый Х. Гюйгенс. Он разработал методы измерения силы тяжести и теорию колебаний физического маятника. Первое свидетельство изменения силы тяжести с широтой было получено в 1672 году французским астрономом Ж. Рише, который обнаружил разницу в показаниях маятника в Европе и в Южной Америке. Правильное толкование этому факту дал И. Ньютон в 1687 году в третьем



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



59

Назад

Закреть

томе своего классического труда «Математические начала натуральной философии». В этой книге И. Ньютон сформулировал закон всемирного тяготения. Этим было положено начало гравиметрии. Мысль о связи силы тяжести с внутренним строением Земли впервые высказал М.В. Ломоносов.

Развитию теоретических основ гравитационного поля способствовали работы К. Маклорена, П. Лапласа, А. Лежандра, С. Пуассона, К. Гаусса, Д. Стока и других ученых, создавших теорию потенциала физического поля. Одновременно с развитием теоретических основ совершенствовались и методы измерения силы тяжести. Создание в 1881 году Р. Штернеком маятникового прибора для относительных определений силы тяжести позволило перейти к массовым измерениям силы тяжести, детальному изучению распределения ее на земной поверхности. Применению гравиметрии для геологических целей способствовало изобретение венгерским физиком Р. Этвешем в 1896 году гравитационного вариометра. Позже начались работы по конструированию гравиметра. Гравиметр, годный для полевых измерений, впервые создал шведский геофизик Исинг в 1918 году.

К началу пятидесятих годов были созданы специальные гравиметры для измерений на море и аэрогравиметры. Дальнейшее развитие гравиметрии связано с совершенствованием гравиметрической аппаратуры, повышением ее точности и надежности, автоматизацией процессов измерения и обработки полученных материалов.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



60

Назад

Закреть

## Гравитационное поле

Каждое тело на поверхности Земли и внутри планеты испытывает воздействие различных механических сил [2], из которых важнейшими являются сила притяжения Земли  $F$ , центробежная сила  $P$ , обусловленная вращением Земли вокруг своей оси, и сила притяжения Луны, Солнца и других планет ( $F_{\text{ЛС}}$ ).

Согласно закону Ньютона, сила притяжения Землей массой  $M$  единичной массы на ее поверхности равна:

$$F = G \times \frac{M}{R^2} ,$$

где Земля приближенно рассматривается как шар с радиусом  $R$ ;  $G$  – гравитационная постоянная, равная  $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$ . Сила притяжения направлена к центру масс Земли.

Центробежная сила направлена наружу, перпендикулярно оси вращения Земли. Центробежная сила, действующая на единичную массу, определяется из соотношения:

$$P = \omega^2 \times r ,$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения Земли, а  $r$  – расстояние до оси вращения Земли (рисунок 2.6). По сравнению с силой притяжения центробежная сила мала. На экваторе она максимальна и равна 3,39 Гал,



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



61

Назад

Закреть

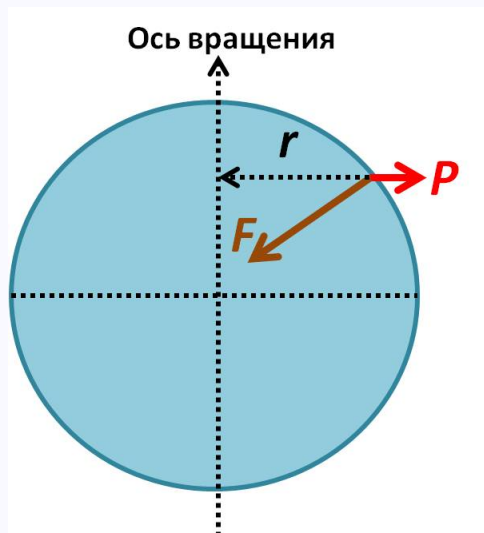


Рисунок 2.6 – Направление гравитационных сил

а к полюсам постепенно уменьшается до нуля. Центробежная сила не связана с распределением масс в Земле и легко может быть учтена.

Воздействие притяжения Луны, Солнца и других объектов на много порядков слабее силы притяжения, однако при высокоточных гравиметрических исследованиях оно учитывается.

Согласно второму закону Ньютона, сумма всех действующих на тело сил называется силой тяжести  $F_T$  и равна произведению массы на ускорение:

$$F + P + F_{\text{ЛС}} = F_T = mg .$$



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



62

Назад

Закреть

В общем случае равнодействующая этих трех сил на единичную массу ( $m = 1$ ) в гравиметрии называется ускорением силы тяжести или просто силой тяжести  $g$ :

$$F + P + F_{\text{ЛС}} = F_T = g .$$

*Гравитационное поле* является одной из важнейших характеристик нашей планеты и других космических тел. Его изучение необходимо для исследования в Земле неоднородных масс, изучения ее фигуры, законов баллистики, в частности оценки траекторий полетов космических кораблей вокруг Земли.

Измеряемыми параметрами гравитационного поля являются сила тяжести  $g$  и ее градиенты ( $g_x, g_y, g_z$ ). В гравиметрии за единицу измерения силы тяжести принимается миллигал (мГал):  $1 \text{ мГал} = 10^{-3} \text{ Гал} = 10^{-5} \text{ м/с}^2$ .

Сложная структура гравитационного поля, обусловленная неправильностями фигуры Земли и особенностями распределения плотностей масс, создает значительные трудности при определении силы тяжести. Эта задача значительно облегчается, если гравитационное поле Земли представить в виде двух полей: основного, или *нормального*, и остаточного, или *аномального*, и каждое из них изучить отдельно. За физическую модель Земли при этом принимают так называемый уровенный эллипсоид вращения, внешняя поверхность которого является уровенной и



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



63

Назад

Закреть

сила тяжести в каждой точке направлена по нормали к этой поверхности. Центр уровненного эллипсоида совмещают с центром масс Земли, а ось его вращения – с осью вращения Земли. Гравитационное поле, создаваемое уровненным эллипсоидом на его поверхности и во внешнем пространстве, называют *нормальным гравитационным полем*, а силу тяжести – *нормальной* и обозначают буквой  $\gamma$ . Определив параметры уровненного эллипсоида, можно вычислить нормальное поле силы тяжести. Уровненный эллипсоид, принимаемый за физическую модель Земли при определении ее фигуры и гравитационного поля, принято называть *Нормальной Землей*. Первой формулой нормального распределения силы тяжести является формула Гельмерта, полученная еще в 1884 году. Позже такие формулы выводились многими авторами. Использование различных формул приводило к различию результатов расчетов. Поэтому исторически сложилось, что в разных странах были приняты и законодательно закреплены определенные формулы. Гравиметрические наблюдения в СССР и социалистических странах обрабатывались по формуле Гельмерта 1909 года, а в большинстве стран Европы и Америки – по международной формуле Кассиниса 1930 года. Формула Гельмерта для вычисления нормальной силы тяжести  $\gamma$  на поверхности эллипсоида на широтах  $\varphi$  имеет следующий вид:

$$\gamma = 978.030(1 + 0.005302 \sin^2 2\varphi - 0.000007 \sin^2 2\varphi) .$$



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



64

Назад

Закреть



В таблице 2.1 приведены нормальные значения силы тяжести, вычисленные по этой формуле. И в настоящее время существует несколько вариантов расчета значений нормального гравитационного поля как для всей поверхности Земли, так и для территорий отдельных государств, что создает трудности при анализе гравитационных данных. Если наблюдаемые значения силы тяжести не согласуются с нормальными значениями, то говорят об *аномалиях силы тяжести*. Аномальные значения силы тяжести  $\Delta g$  получают вычитанием из наблюдаемых величин  $g$  нормальных значений силы тяжести  $\gamma$  в точках наблюдения:

$$\Delta g = g - \gamma .$$

Распределение аномалий силы тяжести на все Земле показано на рисунке 2.7.

В равнинных областях аномалии силы тяжести не выходят за пределы нескольких десятков мГал. В горах и на островах они могут достигать сотен мГал. Наиболее мощная отрицательная аномалия (–60 мГал), связанная с внутренним строением Земли, расположена в северной части Индийского океана около полуострова Индостан.

Для геологических целей важны аномалии, причиной которых являются плотностные неоднородности. Но эти аномалии искажаются влиянием притягивающих масс, расположенных выше или ниже уровня эллипсоида (моря) (рисунок 2.8), формирующих определенные формы рельефа.



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



65

Назад

Закреть

Таблица 2.1 – Значения нормальной силы тяжести по формуле Гельмерта

$\varphi$ , градусы	$\gamma$ , мГал
0	978030
10	978186
20	978633
30	979321
40	980166
50	981066
60	981914
70	982606
80	983058
90	983216



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



66

Назад

Закрыть

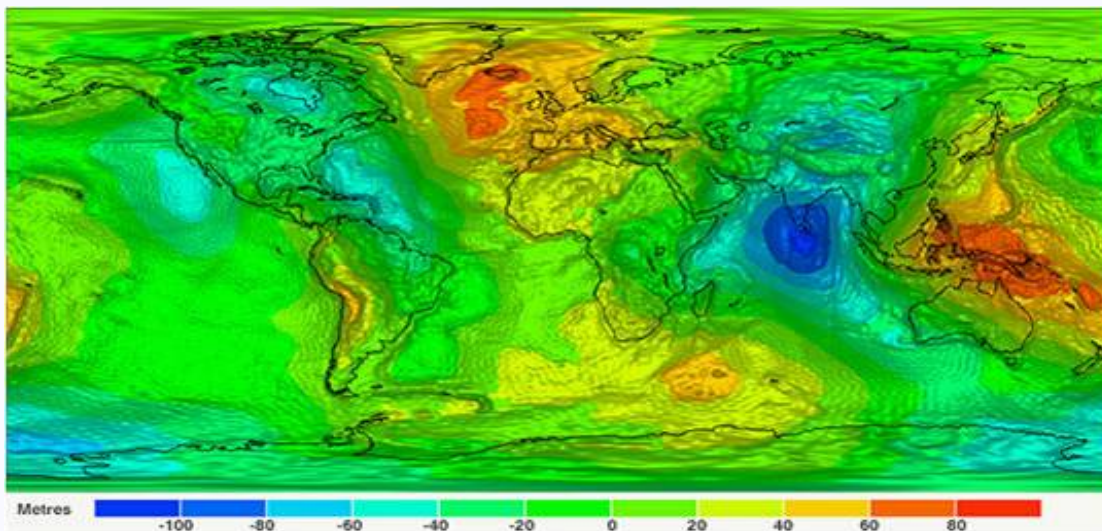


Рисунок 2.7 – Карта гравитационных аномалий Земли

Эти притягивающие массы увеличивают или уменьшают силу тяжести. Поэтому прежде чем сопоставить наблюдаемые значения силы тяжести  $g$  и нормальные значения  $\gamma$ , в наблюдаемые значения должны быть внесены поправки, позволяющие привести их к единому уровню эллипсоида или моря. Одна из поправок за влияние этих масс называется поправкой за высоту точки наблюдения или редукцией Фая. Другая поправка называется поправкой за влияние рельефа (редукция Буге). Кроме этих поправок существует много других, применение которых основано на различных предположениях о распределении масс и учете их влияния.



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



67

Назад

Закреть

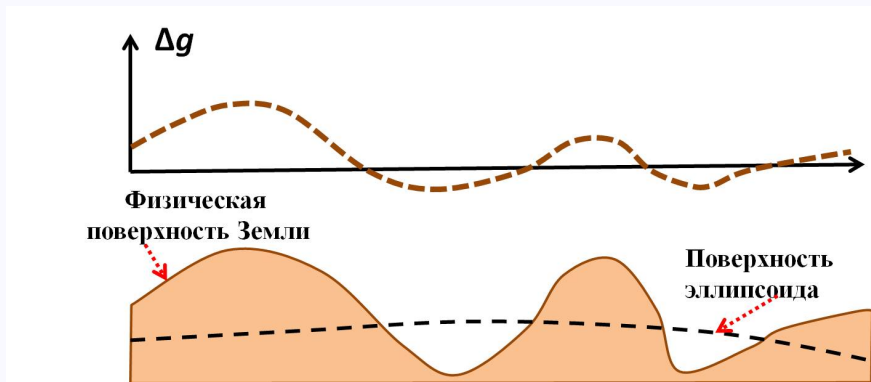


Рисунок 2.8 – Аномалия силы тяжести из-за влияния рельефа

Причин расхождения измеренных и нормальных значений силы тяжести много. Одной из них является высота точки, в которой производились измерения. Чем больше высота, тем точка находится дальше от центра Земли и тем меньше сила тяжести. Увеличение высоты точки на один метр вызывает уменьшение  $g$  на 0,3086 мГал. Большое значение имеет также плотность горных пород, слагающих участок, на котором проводятся измерения. Чем больше плотность, тем больше сила тяжести. На показания приборов оказывает влияние и рельеф местности. Но даже в одной фиксированной точке сила тяжести не остается постоянной. Изменение величины  $g$  связано с влиянием Луны и Солнца. Амплитуда лунных вариаций достигает 0,2 мГал, а солнечных – 0,1 мГал. Современные приборы высокой чувствительности позволили зарегистрировать временные изменения гравитационного



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



68

Назад

Закреть

поля, которые обусловлены неравномерностью вращения Земли. Сила тяжести меняется в результате тектонических движений, землетрясений, извержения вулканов, перемещения водных и атмосферных масс, изменения угловой скорости и мгновенной оси суточного вращения Земли. Аномалии силы тяжести обусловлены также инженерной деятельностью человека: извлечением из недр Земли значительного количества ископаемого сырья, искусственным снижением или повышением уровня подземных вод, созданием обширных водохранилищ, строительством крупных городских агломераций и пр.

Исследование траекторий движения искусственных спутников позволило создать высокоточные карты гравитационных аномалий Луны (рисунок 2.9).

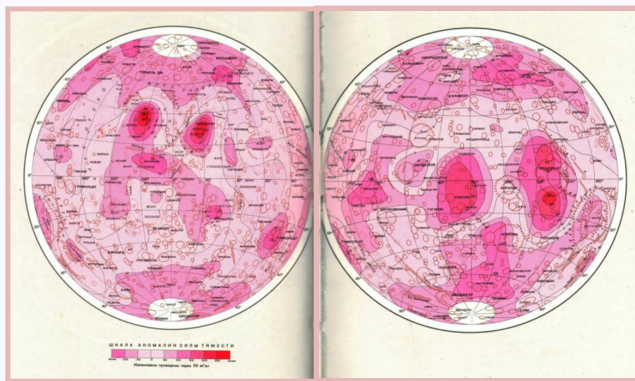


Рисунок 2.9 – Карта аномалий силы тяжести на Луне



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



69

Назад

Закреть

На Луне были обнаружены положительные аномалии до 220 мГал. Большинство ученых некоторые зоны аномально высокой гравитации связывают с характерными для Луны образованиями – так называемыми морями, которые заполнены, по данным радарного зондирования, толстым – до сотен метров – слоем пыли.

### ***Принципы измерения силы тяжести***

Для измерения силы тяжести могут быть использованы разнообразные физические явления, которые зависят от силы тяжести, например колебание маятника, растяжение пружины с грузом, падение тел в пустоте, подъем жидкости в капиллярном сосуде и многие другие. Однако только некоторые из них позволяют определить силу тяжести с необходимой точностью.

Все существующие методы измерения силы тяжести могут быть разделены на *динамические* и *статические*. Динамическими называются такие методы, в которых наблюдается движение тела под действием силы тяжести, при этом измеряемой величиной является время. Статическими называются такие методы, в которых наблюдается изменение положения равновесия тела под действием силы тяжести и некоторой другой силы, которая уравнивает силу тяжести. При этом измеряемой величиной является линейное либо угловое смещение тела. В качестве уравнивающей силы может использоваться упругая сила твердых тел (пружин, нитей, мембран и т.п.). Измерения силы тяжести



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



70

Назад

Закреть

бывают абсолютными и относительными. При абсолютных измерениях определяют полную величину силы тяжести  $g$ , при относительных – не полное значение, а приращение  $\Delta g$  в данной точке относительно некоторой другой, опорной, сила тяжести в которой известна. В качестве опорных точек выбираются пункты гравиметрической сети страны, которые располагаются в городах и крупных населенных пунктах, а часто на базе экспедиций или партий. Сеть опорных гравиметрических пунктов на всей Земле в конечном итоге связана с пунктом в Потсдаме (Германия), где в начале 20 века было определено абсолютное значение ускорения силы тяжести (981 274 мГал), которое постоянно уточняется.

Классическим методом определения абсолютной величины силы тяжести являются маятниковые измерения, предложенные в свое время еще Х. Гюйгенсом. Маятниковые методы основаны на измерении периода колебания маятника. Сила тяжести  $g$  с периодом колебания маятника  $T$  и его длиной  $l$  связана соотношением:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} .$$

В гравиметрии маятниковый способ применялся в течение длительного времени. Однако маятниковый способ определения силы тяжести имеет существенные недостатки. Для измерений силы тяжести с точностью до 1 мГал длина маятника должна быть определена с точностью до 1 мкм, а период колебаний – с точностью до  $10^{-7}$  с. Поэтому



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



71

Назад

Закреть



процесс наблюдения с маятниковым прибором занимал около 12 часов. В результате маятниковые приборы стали вытесняться другими более производительными устройствами. Позже появилась возможность использования маятникового метода в сочетании с новейшей электронной аппаратурой, позволяющей достаточно быстро и точно определять период колебания маятника. Кроме этого появилась возможность высокоточных абсолютных измерений силы тяжести способом падающего груза, или баллистическим способом. Расстояние, пройденное телом в процессе падения, измеряется лазерным интерферометром, а время падения – высокоточным электронным устройством. Для выполнения абсолютных измерений силы тяжести требуется большое количество вспомогательного оборудования, поэтому их обычно проводят лишь в обсерваториях и некоторых опорных гравиметрических пунктах высшего класса.

Для относительных измерений силы тяжести широко применяются статические методы. На статическом принципе создано большое количество различных конструкций приборов, которые называются *гравиметрами* (рисунок 2.10).

Главной частью любого гравиметра является его упругая, или чувствительная, система, деформация которой под действием веса груза служит мерой изменения силы тяжести. Чувствительным элементом большинства современных гравиметров является кварцевая пружина или кварцевая нить, находящаяся в так называемом астазированном, или напряженно-неустойчивом упругом, состоянии. Эталонная масса



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



72

Назад

Закреть



Рисунок 2.10 – Гравиметры

(грузик), подвешенная на пружине или нити, под действием силы тяжести отклоняется от положения равновесия (рисунок 2.11). Разность таких отклонений на любом пункте наблюдения и на опорной точке, отсчитываемая по шкале специальной оптической системы, позволяет рассчитать  $\Delta g$ .

Гравиметры обеспечивают несколько большую точность измерений, чем маятниковые приборы, портативны и просты в обращении. Чувствительность современных гравиметров меняется от 0,1 до 0,005 мГал. Существует специальная гравиметрическая аппаратура для измерений силы тяжести с движущихся объектов (подводных кораблей, самолётов).



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



73

Назад

Заккрыть

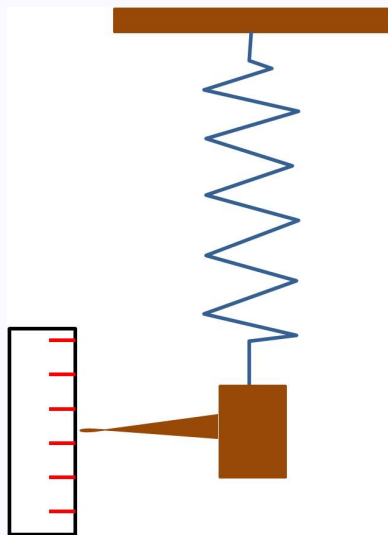


Рисунок 2.11 – Принципиальная схема статического гравиметра

В приборах осуществляется непрерывная запись изменения ускорения силы тяжести по пути корабля или самолёта. Имеются гравиметры для измерений на дне мелководных бассейнов, в буровых скважинах. Специальными приемами глобального изучения поля силы тяжести Земли и других планет являются альтиметрические наблюдения, позволяющие посредством определения орбит спутников (форм и высоты) рассчитывать аномальные гравитационные поля и изучать их динамику. Отклонение орбит спутников от теоретически рассчитанных позволяет вычислить распределение силы тяжести. Гравиметрические съемки подразделяются на региональные, поисковые и детальные. Региональные



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



74

Назад

Закреть

съёмки выполняются для изучения общего характера гравитационного поля на обширных территориях. По этим материалам устанавливаются общие закономерности гравитационного поля в пределах крупных регионов, выполняется тектоническое районирование. Поисковые съёмки проводятся на отдельных перспективных площадях, установленных по региональным работам. Цель поисковых съёмок – выделение локальных структур, которые могут содержать полезные ископаемые (нефть, газ и т. д.). Детальные съёмки выполняются с целью изучения отдельных локальных структур. Данные детальной съёмки могут использоваться для расчета глубины залегания и геометрии локальных структур. Гравиметрические съёмки также подразделяют на площадные и профильные. Площадной называется съёмка, в которой пункты наблюдений достаточно равномерно заполняют изучаемую территорию. Для площадной съёмки строят гравиметрические карты. Профильная съёмка выполняется по отдельным маршрутам (профилям). Результат такой съёмки – графики аномалий силы тяжести (рисунок 2.12).

Интерпретация данных гравиметрии состоит в определении источников аномалий, формы и глубины залегания плотностных границ, в установлении связи этих границ с геологическими границами.

### *Понятие геоида*

Понятие фигуры Земли неоднозначно и может трактоваться в зависимости от того, какие требования предъявляются к точности реше-



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



75

Назад

Закреть

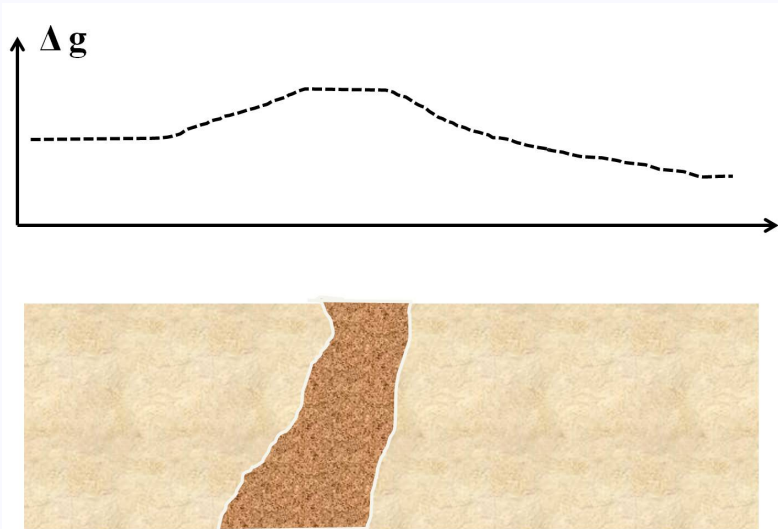


Рисунок 2.12 – График гравитационной аномалии

ния тех или иных задач, требующих знания формы и размеров Земли. В одних случаях Землю можно принять за *шар*, в других, например при решении многих задач геодезии и картографии, – за *двухосный эллипсоид вращения* с малым полярным сжатием и т. п. При решении задач высшей геодезии под фигурой Земли принимают фигуру, ограниченную физической поверхностью Земли, т. е. поверхностью ее твердой оболочки на суше и невозмущенной поверхностью морей и океанов.

Суша составляет третью часть земной поверхности. Возвышается она над уровнем моря на малую величину по сравнению со средним радиусом Земли. Более 70 % земной поверхности покрыто морями и океанами.



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



76

Назад

Закреть

Поэтому за фигуру Земли в первом приближении принимают фигуру, ограниченную невозмущенной поверхностью морей и океанов и продолженную под материками так, чтобы отвесные линии во всех ее точках были перпендикулярны к ней. Такую фигуру Земли по предложению немецкого физика Листинга называют **геоидом**. Изучением геоида ученые занимаются более ста лет. В настоящее время на акватории Мирового океана геоид с высокой точности изучают методом спутниковой альтиметрии, измеряя расстояния от спутника до подспутниковых точек на поверхности морей и океанов. Эти измерения показали, что невозмущенная морская поверхность не везде совпадает с уровенной поверхностью потенциала силы тяжести, в отдельных районах отклонения по высоте достигают  $\pm(1,5-2)$  м. Поэтому при теоретически строгом подходе под геоидом понимают фигуру Земли, ограниченную уровенной поверхностью потенциала силы тяжести, проходящей через начало отсчета высот, совпадающее с некоторым средним уровнем Мирового океана.

По результатам измерений силы тяжести на поверхности Земли и по наблюдениям спутников строятся карты поверхности геоида. В настоящее время наиболее точную **форму геоида** удалось определить с помощью данных, полученных со спутника GOCE Европейского космического агентства (рисунок 2.13). Он был запущен в марте 2009 года, летает на высоте около 250 километров – ниже, чем другие спутники, которые ведут наблюдения за планетой. Основная задача спутника – определить форму геоида с точностью в 1–2 см, выявить гравитационные



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение

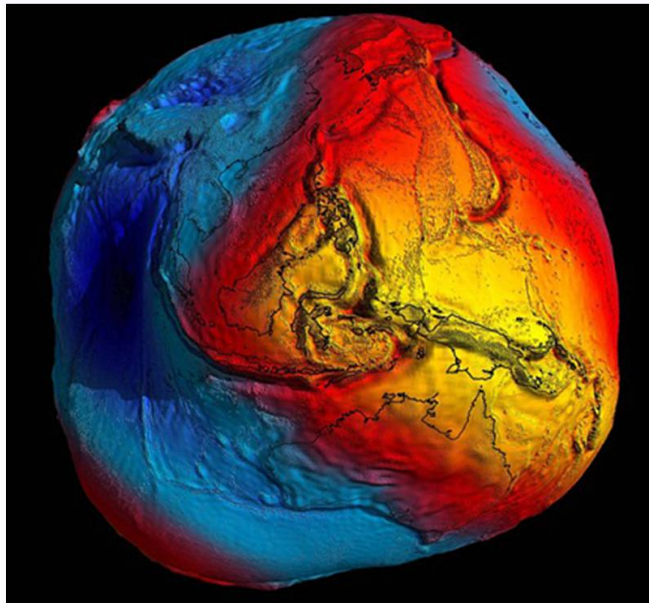


77

Назад

Закреть

аномалии и составить карту гравитационного поля Земли. Спутник GOCE позволяет обновлять информацию каждые два месяца. Сила тяжести отличается в разных местах Земли.



**Желтые участки - самая высокая сила тяжести,**  
**красные - высокая сила тяжести,**  
**синие и голубые участки - пониженная сила**  
**тяжести.**

Рисунок 2.13 – Форма геоида и гравитационные аномалии по данным спутника GOCE



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



78

Назад

Заккрыть



Высоты геоида характеризуют отклонение его уровня от поверхности эллипсоида (рисунок 2.14). Эти отклонения не связаны с главными топографическими особенностями, а обусловлены исключительно глубинным строением земной коры и мантии. Минимум геоида связан с Индийским океаном. Здесь, в области экватора, он располагается на 80–110 м ниже поверхности эллипсоида.

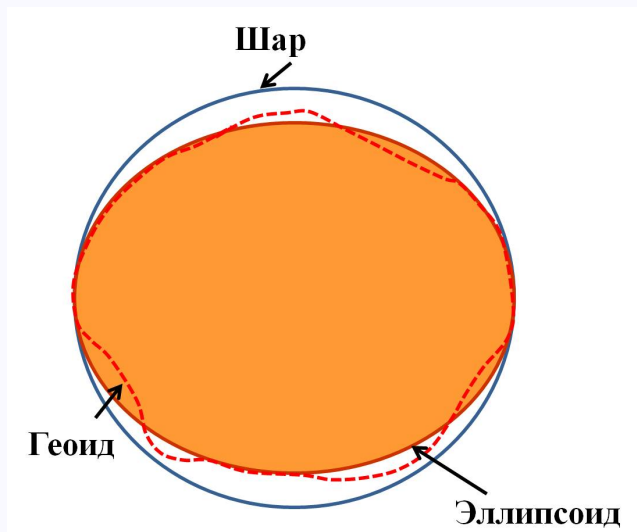


Рисунок 2.14 – Сравнение формы эллипсоида, геоида и шара



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



79

Назад

Заккрыть

## 2.2.2 Магнитометрия

*Магнитометрия* – один из методов геофизики, основанный на изучении магнитного поля Земли и других планет, а также магнитных свойств горных пород и полезных ископаемых.

**Магнитометрия** начала свое развитие с компаса, а точнее с сильно-магнитной железной руды – магнетита. Самое раннее полулегендарное упоминание о применении магнетита в качестве компаса содержится в китайской летописи 2637 года до нашей эры. В это время компас использовался для ориентировки в пустыне. Есть археологические данные, что простейшие компасы применялись в Южной Америке, в древних государствах инков, ацтеков и майя. Описание простейшего компаса в Европе появилось лишь в 1187 году. Первая книга «Письмо о магните» была написана П. Перегрином в 1269 году. Создание европейцами компаса способствовало великим географическим открытиям. Х. Колумб использовал его при путешествии в Америку. Он, в частности, обнаружил явление западногоклонения стрелки компаса от направления на Полярную звезду. Еще раньше в Европе было установлено восточноеклонение. В последующем было открыто явление наклонения компасной стрелки от горизонтальной оси. Существенный вклад в изучение магнетизма внес английский врач В. Гильберт (1544–1603). Он показал, что Землю в первом приближении следует рассматривать в виде элементарного магнита с двумя полюсами. В 17 веке, когда в Швеции



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



80

Назад

Закреть

Д. Тиласом был изобретён прибор для поисков магнитных руд – шведский горный компас, зародилась магниторазведка. Первая магнитная карта в изолиниях была составлена в 1701 году английским физиком и астрономом Э. Галлеем. Большой вклад в развитие магнитометрии внес великий русский ученый М.В. Ломоносов. Он усовершенствовал морские астрономические и навигационные приборы, создал самопишущий компас. Ш.О. Кулон в 1785 году установил закон взаимодействия магнитных полюсов. В 19 веке стали создаваться обсерватории для стационарного изучения магнитного поля ([приложение Б](#)).

С середины 19 века появились приборы для полевых геомагнитных измерений. Первой планомерной магнитной съемкой считается съемка европейской части России, проводившаяся доцентом Казанского университета И.Н. Смирновым с 1871 по 1878 год. Измерения выполнялись с целью изучения характера земного магнитного поля и составления магнитной карты. Однако съемку можно считать и разведочной, потому что по ее данным в двух точках, расположенных около города Белгорода, было выявлено сверханомальное магнитное поле – Курская магнитная аномалия. Первые магниторазведочные работы характеризуются очень малыми объемами полевых измерений. Например, И.Н. Смирновым за семь лет выполнены измерения только на 280 точках. Эти работы проводились по личной инициативе и за счет личных сбережений. В дореволюционное время поиск месторождений магнитным методом носил эпизодический характер, а более планомерные и крупные по объему съемки



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



81

Назад

Закреть

выполнялись лишь по инициативе Русского географического общества на территории современного Курского железорудного бассейна. После революции в 1919 году была создана специальная комиссия для изучения Курской магнитной аномалии. Магниторазведочные работы начали выполняться в большом объеме.

Важным этапом в развитии магнитометрии явился первый опыт измерения магнитного поля с самолета. Он был осуществлен А.А. Логачевым в 1936 году в полете по маршруту Новгород – Валдай. Создание аэромагнитного метода в десятки раз ускорило съемку магнитного поля на крупных площадях, резко снизило стоимость единицы обследованной площади, сделало возможной съемку в труднодоступных малонаселенных районах. Первая магнитная съемка в движении, выполненная с самолета, предопределила возникновение автомобильной и гидромагнитной съемки. В 50-х и 60-х годах 20 века в Финляндии, Швеции и СССР были разработаны аппаратура и методика магниторазведки в буровых скважинах. Первый спутник с магнитометром на борту был запущен в 1958 году. И в настоящее время происходит усовершенствование техники, повышение точности измерения магнитного поля, расширение круга решаемых задач.

### *Магнитное поле*

Происхождение основного магнитного поля остается до настоящего времени неясным. Учеными по этому поводу было высказано несколько



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



82

Назад

Закреть

гипотез. Наиболее достоверной и приемлемой гипотезой, объясняющей магнетизм Земли, является гипотеза вихревых токов в ядре (**видеоматериал**). Она основана на том установленном геофизическим путем факте, что на глубине 2900 км под мантией Земли находится «жидкое» ядро с высокой электрической проводимостью. Благодаря так называемому гиромангнитному эффекту и вращению Земли 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, которые создают (регенерируют) магнитное поле, как это происходит в динамо-машинах. Увеличение магнитного поля Земли приводит к новому увеличению вихревых токов в ядре, которое, в свою очередь, вызывает увеличение магнитного поля. Процесс подобной регенерации продолжается до тех пор, пока рассеяние энергии вследствие вязкости ядра и его электрического сопротивления не компенсируется добавочной энергией вихревых токов и другими силами. В первом приближении магнитное поле Земли может быть уподоблено полю однородно намагниченного шара, или полю диполя, расположенного в области центра Земли (рисунок 2.15).

Ось такого диполя по отношению к оси вращения Земли составляет  $11,5^\circ$ . Места выхода продолжений оси этого диполя на земную поверхность называют *геомагнитными полюсами*. Принято считать магнитный полюс, близкий к северному географическому полюсу, южным (отрицательным) геомагнитным. Наоборот, магнитный полюс,



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



83

Назад

Закреть

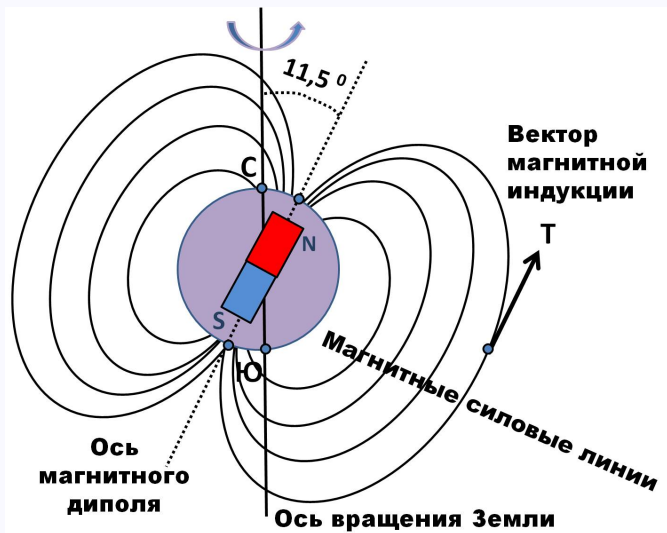


Рисунок 2.15 – Поле диполя

находящийся в Антарктиде, – северным (положительным) геомагнитным полюсом.

Основным параметром геомагнитного поля является *полный вектор магнитной индукции*  $T$ , который часто для краткости называют *магнитным полем*. Магнитная индукция определяет, с какой силой магнитное поле действует на заряд  $q$ , движущийся со скоростью  $v$ . Вектор магнитной индукции  $T$  направлен всегда так, как сориентирована свободно вращающаяся магнитная стрелка в магнитном поле. Составляющие вектора  $T$  по осям координат (рисунок 2.16) называются северной  $T_x$ , восточной  $T_y$  и вертикальной  $T_z$ . Проекция вектора  $T$  на



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



84

Назад

Закреть

горизонтальную плоскость называется горизонтальной составляющей  $T_H$ . Единицей магнитной индукции в системе СИ является тесла (Тл), более мелкие единицы – микротесла (мкТл), равная  $10^{-6}$  Тл, и нанотесла (нТл), равная  $10^{-9}$  Тл.

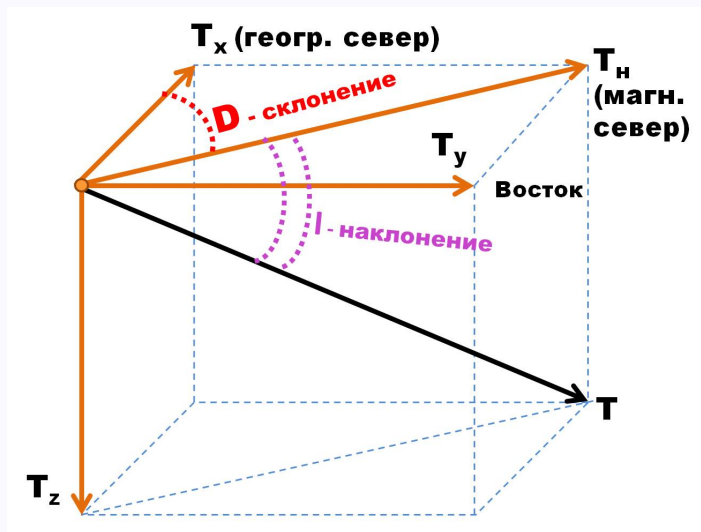


Рисунок 2.16 – Элементы геомагнитного поля

Угол, образуемый горизонтальной составляющей  $T_H$  и северной составляющей  $T_x$ , называется *магнитным склонением*  $D$ . Магнитное склонение считается положительным (восточным), если северный конец магнитной стрелки компаса отклонен к востоку от географического меридиана, и отрицательным (западным) – если к западу. Склонение изменяется от  $0^\circ$  до  $\pm 180^\circ$ . Угол между вектором геомагнитного поля  $T$  и



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



85

Назад

Закреть



горизонтальной плоскостью называется *магнитным наклоением*  $I$ . Наклонение положительно, когда вектор  $T$  направлен вниз от горизонтальной плоскости, что имеет место в Северном полушарии, и отрицательно, когда  $T$  направлен вверх – в Южном полушарии. Магнитное наклонение изменяется от  $0^\circ$  на экваторе до  $\pm 90^\circ$  на полюсах.

Геомагнитное поле Земли заметно отличается от поля диполя, образуя по крайней мере 4 мощные геомагнитные аномалии – Восточно-Азиатскую, Приантарктическую, Бразильскую и Канадскую. Их называют материковыми, или континентальными, а происхождение связывают с наличием дополнительных магнитных диполей на верхней и нижней границах «жидкого» ядра. *Нормальным* (или главным) геомагнитным полем принято считать поле однородно намагниченного шара и дополнительных диполей в ядре, обуславливающих материковые аномалии. Карта эпохи какого-то года является Международным эталонным геомагнитным полем или нормальным магнитным полем. Карты нормального магнитного поля принято строить через 5 лет. Они несколько изменяются за эти годы, что объясняется как вариациями поля во времени, так и появлением новых данных глобальных магнитных съемок (космических, воздушных, наземных, аквальных).

Области на поверхности Земли, в которых значение и направление вектора магнитного поля Земли существенно отличается от нормальных значений геомагнитного поля, называются *региональными или локальными аномалиями*. Региональные аномалии простираются на



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



86

Назад

Закреть

больших территориях и связаны с наличием крупных структур, сложенных породами и железными рудами с высокими магнитными свойствами. Локальные аномалии обусловлены разной намагниченностью геологических структур или залежей руд. По величине магнитные аномалии иногда превосходят нормальное поле Земли в несколько раз. Например, известная Курская аномалия на отдельных участках почти в четыре раза превышает местное нормальное поле. Аномалии бывают положительными и отрицательными. За положительные принято считать те, для которых вектор  $T$  и его составляющие совпадают по направлению с направлением нормального поля. Таким образом, полное постоянное магнитное поле складывается из нормального и аномального полей.

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

*Вековые* вариации магнитного поля происходят в течение длительных периодов времени в десятки и сотни лет и приводят к значительным изменениям среднегодовых значений элементов земного магнетизма. Под изменением того или иного элемента магнитного поля понимают разности значений этих элементов в разные эпохи, деленные на число лет между эпохами. Вековой ход рассчитывают по наблюдениям напряженности поля на обсерваториях и опорных пунктах.



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



87

Назад

Закреть

Поскольку подобных многовековых наблюдений мало, то закономерность вековых вариаций установить трудно, хотя намечается их изменение с периодом в несколько сотен лет. Степень изменения элементов земного магнитного поля различна для разных районов Земли, имеется несколько зон (фокусов), в которых они максимальны. Возникновение вековых вариаций, видимо, объясняется процессами, протекающими внутри Земли (в ядре и на границе ядра с мантией). В меньшей степени они связаны с особенностями строения земной коры. В качестве иллюстрации характера вековых изменений приводится таблица изменения магнитного склонения в четырех городах (таблица 2.2).

Из таблицы видно, что даже за непродолжительный в масштабах истории отрезок времени магнитное склонение в Пекине изменилось на  $3^\circ$ , в Москве – на  $7^\circ$ , в Киеве – на  $8^\circ$ , а в Санкт-Петербурге – на  $9^\circ$ . Что примечательно, в Киеве склонение поменяло направление с западного на восточное.

На постоянное поле Земли накладывается переменное магнитное поле (вариации *годовые, суточные, магнитные бури*), вызванное внешними процессами, происходящими в ионосфере [9]. *Годовые вариации* – это изменения среднемесячных значений магнитного поля. Они характеризуются небольшой амплитудой. *Суточные вариации* связаны с солнечно-суточными и лунно-суточными изменениями магнитного поля. Вариации достигают максимума в полдень по местному времени и при противостоянии Луны. Амплитуда суточных вариаций зависит от магнитной



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



88

Назад

Закреть



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



89

Назад

Заккрыть

Таблица 2.2 – Вариации магнитного склонения

Год	Киев	Москва	Пекин	Санкт-Петербург
1900	1°44' W	3°20' E	2°40' E	0°11' E
1910	0°50' W	4°10' E	2°58' E	0°57' E
1920	0°30' E	5°18' E	3°27' E	2°13' E
1930	1°48' E	6°18' E	3°45' E	3°33' E
1940	2°49' E	7°06' E	3°52' E	4°45' E
1950	3°37' E	7°52' E	4°09' E	5°56' E
1960	4°14' E	8°24' E	4°22' E	6°38' E
1970	4°22' E	8°17' E	4°29' E	6°36' E
1980	4°35' E	8°17' E	4°46' E	6°49' E
1990	5°00' E	8°39' E	4°59' E	7°24' E
2000	5°32' E	9°16' E	5°08' E	8°16' E
2010	6°28' E	10°16' E	5°46' E	9°28' E

широты района наблюдения и изменяется от первых десятков до 200 нТл при переходе от экватора к полюсам. Годовые и суточные вариации являются плавными, периодическими. Их называют *невозмущенными вариациями*. Кроме невозмущенных вариаций, существуют *возмущенные вариации*, к которым относятся *непериодические импульсные вариации* и *магнитные бури*. Магнитные бури бывают разной интенсивности – до 1000 нТл и более, чаще в северных и южных широтах. Они возникают спорадически и проходят по всей земной поверхности либо одновременно, либо с запаздыванием на несколько часов. Продолжительность магнитных бурь колеблется от нескольких часов до нескольких суток. Намечается четкая связь между интенсивностью магнитных бурь и солнечной активностью. В годы максимумов солнечной активности, период которых около 11 лет, наблюдается наибольшее число бурь. Магнитные бури зависят от возмущений в ионосфере, которые, в свою очередь, связаны со вспышками на Солнце и приходом на Землю корпускулярных потоков. Магнитным бурям сопутствуют полярные сияния, ухудшение радиосвязи, возникновение магнитотеллурических полей.

Таким образом, в более общем виде магнитное поле Земли состоит из трех частей – нормального, аномального и переменного. Оно относится к слабым полям. Магнитная индукция изменяется от 24 мкТл у берегов Южной Америки до 69 мкТл у южного магнитного полюса. На магнитных полюсах Земли вертикальные составляющие магнитной индукции геомагнитного поля примерно равны 60 мкТл (горизонтальная



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



90

Назад

Закреть

равна нулю), на экваторе горизонтальная составляющая приблизительно равна 30 мкТл (вертикальная равна нулю). Магнитное поле Земли простирается вверх до высоты примерно 90 тыс. км. До высоты 44 тыс. км величина его убывает, а в слое от 44 тыс. км до 80 тыс. км магнитное поле неустойчиво, в нем постоянно происходят резкие колебания. Выше 80 тыс. км интенсивность поля падает.

### ***Палеомагнетизм и археомагнетизм***

В 50-е годы 20 века было обнаружено, что горные породы, как осадочные, так и магматические, если они подвергались интенсивным механическим или тепловым воздействиям, сохраняют «память» о магнитном поле, в котором они образовались. Это явление получило название остаточной намагниченности. Объясняется тем, что ферромагнитные минералы (гематит, магнетит, ильменит, пирротин и др.), входящие в состав пород, в момент осаждения осадка или кристаллизации магмы, из которой они выпадают первыми, приобретают ориентировку, отвечающую ориентировке магнитного поля, в котором протекал процесс осадконакопления или магматизма. Эта ориентировка сохраняется до тех пор, пока соответствующие минералы не будут нагреты до точки Кюри. Ориентировка выражается в том, что магнитное склонение направлено на северный магнитный полюс, а наклонение зависит от широты: чем она выше, тем наклонение больше. Наиболее велика и стабильна термоостаточная намагниченность, которую приобретает ферромагнетик в



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



91

Назад

Закреть

остывающих лавах, так что изверженные породы оказываются хранителями отпечатков геомагнитного поля, существовавшего во время их остывания. Совершенно иную природу имеет ориентационная намагничённость осадочных пород: осаждающиеся в воде частицы, как крошечные стрелки компасов, в какой-то мере ориентируются по направлению геомагнитного поля.

Открытие остаточной намагничённости положило начало новому научному направлению – [палеомагнетизму](#). Для палеомагнитных исследований берутся ориентированные образцы горной породы, что достигается в настоящее время выбуриванием их из обнажений или взятием ориентированных кернов из скважин. Изучая остаточную намагничённость этих образцов, можно оценить положение геомагнитного полюса во время их образования, если удалось доказать, что остаточная намагничённость не изменилась вследствие последующей перемагничённости или изменения положения породы в пространстве, например вследствие тектонических нарушений. При обработке данных предполагается, что вектор остаточной намагничённости пропорционален и параллелен полному вектору магнитной индукции древнего магнитного поля. Кроме того, полагается, что это поле совпадает с полем диполя.

В результате палеомагнитных исследований сделан вывод, что геомагнитное поле в геологическом прошлом менялось, и весьма существенно. Изменения сводятся к двум основным типам: медленному перемещению полюсов и относительно быстрым сменам поля на обратное или



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



92

Назад

Закреть



инверсиям геомагнитного поля. Если инверсии существовали, то они охватывали весь земной шар и для всех континентов были одновременными. В целом палеомагнитные исследования помогают решать проблему строения и развития Земли.

При археомагнитных исследованиях изучают намагниченность предметов древней культуры – кирпичей и керамических изделий. Эти предметы при обжиге приобрели намагниченность, обусловленную действием на них существовавшего в то время геомагнитного поля, и в какой-то мере сохранили ее до настоящего времени. По направлению вектора остаточной намагниченности можно получить представление о древнем магнитном поле.

### *Принципы измерения магнитного поля*

При изучении магнитного поля могут измеряться полные значения вектора магнитной индукции  $T$ , магнитное склонение  $D$ , магнитное наклонение  $I$  или их изменения. Изменения элементов, наблюдаемые при переходе из одной точки земной поверхности в другую, принято называть приращениями магнитного поля. Изменения, происходящие в одних и тех же точках со временем, называются вариациями. Элементы магнитного поля измеряются с помощью разнообразных магнитометров, магнитных теодолитов, вариационных станций, кардановых подвесов, инклинаторов.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



93

Назад

Закреть

Измерения вектора магнитной индукции  $T$  проводятся с помощью наземных, самолетных, спутниковых, корабельных, скважинных магнитометров [7]. По принципу устройства выделяется четыре основных типа магнитометров – оптико-механические, феррозондовые, протонные и квантовые. Исторически первыми для измерения магнитного поля использовались оптико-механические приборы, действующие на основе взаимодействия магнитной стрелки с геомагнитным полем. Чувствительным элементом приборов является подвижный магнит, который укрепляется на каркасе, металлической ленте или кварцевой нити с обеспечением одной степени свободы. Под действием изменения поля магнит отклоняется от первоначального положения. По амплитуде этого отклонения можно судить об изменении магнитного поля. Феррозондовые магнитометры основаны на использовании нелинейной зависимости магнитной проницаемости сплавов с большой магнитной восприимчивостью от величины намагничивающего поля. Наибольшее распространение получили феррозондовые магнитометры со стержнями из железоникелевого сплава с двумя обмотками, навитыми одна на другую. Во внутреннюю обмотку подается переменный ток. Под действием внешнего магнитного поля в наружной измерительной катушке возникает электродвижущая сила, пропорциональная внешнему магнитному полю. В качестве рабочего тела ядерно-прецессионных (протонных) магнитометров используется водородосодержащая жидкость (вода, керосин, спирт). Под действием внешнего магнитного поля протоны испытывают



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



94

Назад

Закреть

свободную прецессию, частота которой пропорциональна полному вектору магнитного поля. Физической основой квантовых магнитометров является изменение частоты электромагнитного излучения, возникающего при переходе атомов вещества с одного энергетического подуровня на другой, в зависимости от внешнего магнитного поля. Разность энергии подуровней прямо пропорциональна магнитной индукции. Измеряя эту разность энергии или частоту переходов между подуровнями, можно найти магнитную индукцию внешнего магнитного поля. Вид некоторых современных магнитометров и процесс полевой магнитной съемки представлен на рисунках [2.17](#), [2.18](#).



Рисунок 2.17 – **Квантовый магнитометр**

*Направление магнитной индукции* в данной точке можно получить с помощью *карданова подвеса* (рисунок [2.19](#)), укрепив магнитную стрелку так, чтобы она могла свободно вращаться вокруг вертикальной и вокруг горизонтальной оси. Стрелка устанавливается по направлению



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



95

Назад

Закреть



Рисунок 2.18 – Полевая магнитная съемка

магнитной индукции поля. Свободно подвешенная магнитная стрелка сохраняет горизонтальное положение только на линии магнитного экватора. К северу от магнитного экватора северный конец магнитной стрелки опускается, причем тем больше, чем меньше расстояние до магнитного полюса. На магнитных полюсах стрелка становится вертикально.

Для измерения *магнитного наклона* служит *инclinатор* (рисунок 2.20). Он представляет собой магнитную стрелку, укрепленную на горизонтальной оси и снабженную вертикальным разделенным кругом для отсчета углов наклона. Стрелка всегда вращается в плоскости этого круга, но сама эта плоскость может поворачиваться вокруг



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



96

Назад

Закреть

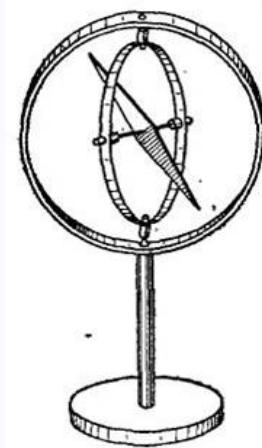


Рисунок 2.19 – Карданов подвес

вертикальной оси. При измерении наклона круг устанавливается в плоскости магнитного меридиана.

Результаты полевых магнитометрических работ изображаются в виде графиков по отдельным маршрутам, карт графиков и карт изолиний. Изолиниям всех элементов магнитного поля присвоены названия. Изолинии магнитной индукции называются изодинамами, изолинии склонения – изогонами, изолинии наклона – изоклинами. На картах может быть изображена характеристика наблюдаемого, нормального или аномального полей. На картах магнитных аномалий проявляются положительные и отрицательные аномалии (рисунок [2.21](#)).



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



97

Назад

Закреть

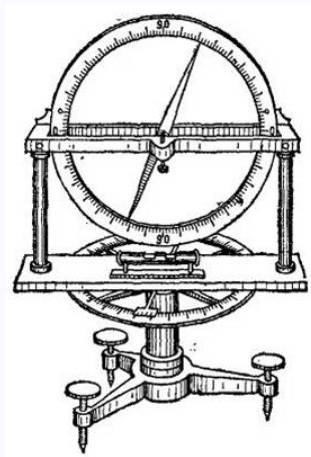


Рисунок 2.20 – **Инклинатор**

Материковую аномалию относят к положительной, когда фактическое поле больше поля диполя. При съемках участков небольших площадей аномальное поле отсчитывают не от единого нормального поля, а от ближайшего, наблюдаемого над выходами мощных толщ немагнитных пород.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



98

Назад

Закрыть

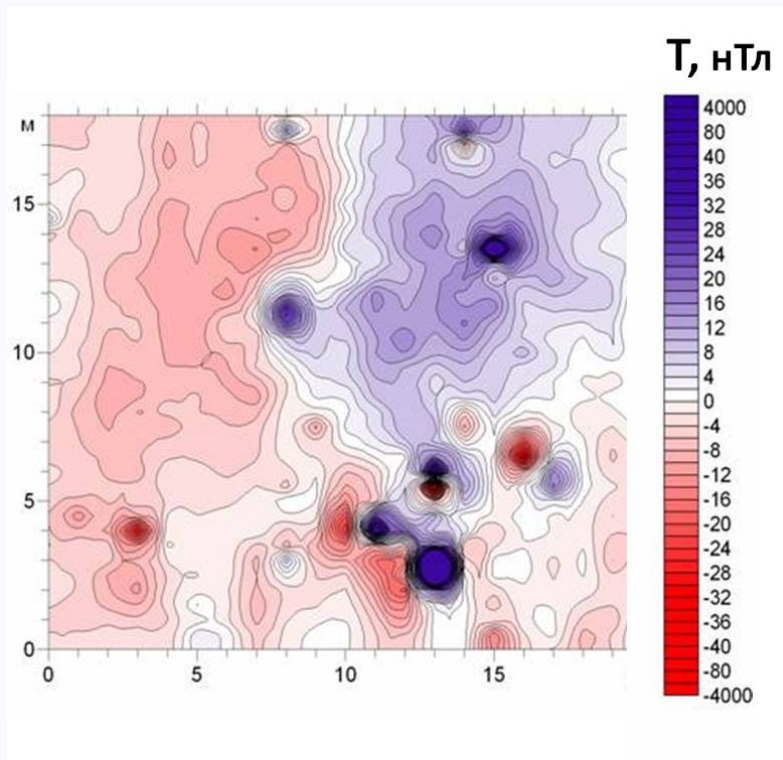


Рисунок 2.21 – Карта магнитных аномалий



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



99

Назад

Закреть



### 2.2.3 Электрические методы

**Электроразведка** (электрометрия) – один из основных методов в общем комплексе геофизических методов. Она основана на изучении особенностей распространения постоянных и переменных электромагнитных полей и определении по измеренным полям электромагнитных параметров среды, несущих важную информацию о петрофизических свойствах, литологическом составе, термодинамическом и фазовом состоянии пород в земных недрах. Горные породы в зависимости от их состава, структуры и условий залегания обладают различными электрическими свойствами – удельным электрическим сопротивлением, диэлектрической проницаемостью и др. Таким образом, реальный геологический разрез можно рассматривать как часть пространства, заполненную средами с различными геоэлектрическими свойствами. Эти свойства, а также геометрические параметры сред – мощность, глубина залегания, угол падения пород и др. – определяют геоэлектрический разрез, характеризующий геологическое строение района.

Прямая задача электроразведки состоит в определении электромагнитного поля по заданным источникам поля и параметрам геоэлектрического разреза. Анализ решения прямой задачи позволяет предвидеть результаты наблюдения поля в различных геологических условиях и на этом основании выбирать целесообразные способы исследования поля, методику обработки и изображение результатов.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



100

Назад

Закреть

Обратная задача электроразведки заключается в определении геоэлектрического разреза по наблюдаемому электромагнитному полю. Этот процесс принято называть интерпретацией результатов полевых наблюдений. Переход от наблюдаемого поля к геоэлектрическому разрезу осложняется некоторой неоднозначностью решения обратной задачи. Данному электромагнитному полю, полученному в результате наблюдений с практически достижимой точностью, могут соответствовать геоэлектрические разрезы с различными значениями параметров. Из этих разрезов интерпретатор должен выбрать один, соответствующий истинному геологическому строению исследуемого района. При решении обратной задачи приходится использовать предварительные данные об электрических свойствах горных пород, слагающих исследуемую площадь, данные о ее геологическом строении, результаты исследований другими геофизическими методами и т. п. Все это позволяет уменьшить степень неоднозначности решения обратной задачи, т. е. повысить достоверность результатов интерпретации.

Области практического применения электроразведки весьма разнообразны. Электрические методы используются при поисках рудных месторождений, залежей нефти и газа, при решении структурных и глубинных геоэлектрических задач, в гидрогеологии, инженерной геологии, экологии. При этом используются весьма разнообразные и многочисленные электроразведочные методы и их модификации.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



101

Назад

Закреть

Электроразведка является наукой сравнительно молодой. Истоки учения об электричестве Земли относятся середине 18 века. В 1753 году М.В. Ломоносов и Г.В. Рихман провели научные исследования электрических (грозовых) явлений в атмосфере. Первые работы по применению электричества при поисках полезных ископаемых относятся к 1829 году, когда А. Фокс наблюдал над медно-колчеданными месторождениями Корнуэллса (Англия) естественные электрические поля, связанные с окислительно-восстановительными процессам. Общий прогресс физики в конце 19 и начале 20 века коснулся также и методов изучения геологического строения Земли; он дал толчок развитию прикладной геофизики в целом и электрических методов разведки в частности. В 1903 году русским инженером Е.И. Рагозиным была опубликована монография «О применении электричества для разведки рудных залежей». Важную роль в развитии прикладной электроразведки сыграли исследования, проведенные французским ученым К. Шлюмберже. В 1910 году он создал и практически опробовал один из основных методов электроразведки – метод вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ). Предложенная им методика полевых работ и интерпретации получаемых данных оказалась настолько простой и совершенной, что метод ВЭЗ в своем первоначальном виде применялся до 50-х годов 20 века, а в несколько усовершенствованном виде используется до сих пор. А первые успешные работы с использованием переменного тока были проведены Зундбергом и Лундбергом в Швеции в 1918 году. В 1919 году шведские учёные



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



102

Назад

Закреть

Н. Лундберг и К. Зундберг своими работами положили начало электроразведке переменными полями. Большую роль в развитии теории электроразведки постоянным током сыграли исследования немецкого учёного И. Гуммеля и в особенности румынского учёного С. Стефанеску, разработавших методы расчёта электрических полей точечных источников. В 1924 году А.А. Петровский впервые провел электроразведочные работы методами естественного поля.

Исторически сложилось так, что электроразведка явилась одним из первых геофизических методов, которые начали широко применяться в конце 20-х – начале 30-х годов 20 века при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. В двадцатые годы электроразведку использовали в основном при поисках и разведке рудных месторождений. Проводившиеся работы носили в значительной мере опытный характер, объём производственных работ был невелик. В 1928 году электроразведку начинают применять для поисков и разведки нефтеносных и газоносных структур. В последующие годы объём этих работ существенно возрастает в соответствии с общим увеличением объёма геофизических работ при поисках нефти и газа и организацией геофизической службы в нефтяной промышленности. В 1932 году были проведены первые электроразведочные работы с целью поисков и разведки месторождений ископаемых углей. В 1930 году А.С. Семеновым впервые проводятся электроразведочные работы для решения гидрогеологических и инженерно-геологических задач.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



103

Назад

Закреть

За истекшие годы электроразведка прошла большой путь – от простейших методов сопротивлений на постоянном токе до сложных современных методов электромагнитных зондирований с естественными и мощными искусственными источниками поля. Изменились не только методика и техника работ, но и представления о моделях геоэлектрических разрезов, используемых при интерпретации. Особенно бурное развитие теория интерпретации электроразведочных данных испытала за последнее десятилетие. Если в предшествующие годы при интерпретации применялись одномерные модели геоэлектрических разрезов (т. е. такие модели, в которых электромагнитные параметры среды являются функцией только глубины), то теперь при анализе электроразведочных данных все чаще используются двумерные и даже трехмерные геоэлектрические модели. Это потребовало создания соответствующего математического аппарата интерпретации, использующего современные достижения электродинамики неоднородных проводящих сред и вычислительной математики.

### *Электромагнитное поле Земли*

Электромагнитное поле Земли обусловлено сложным комплексом геофизических явлений. Распределение потенциала поля несёт в себе определённую информацию о строении Земли, о процессах, протекающих в нижних слоях атмосферы, в ионосфере, магнитосфере, а также в ближнем межпланетном пространстве и на Солнце.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



104

Назад

Закреть

Существование электрического поля в атмосфере Земли связано в основном с процессами ионизации воздуха и пространственным разделением возникающих при ионизации положительных и отрицательных электрических зарядов. Ионизация воздуха происходит под действием космических лучей ультрафиолетового излучения Солнца; излучения радиоактивных веществ, имеющихсся на поверхности Земли и в воздухе; электрических разрядов в атмосфере и т. д. Происхождение естественных переменных полей атмосферной природы связано и с грозовой активностью. При каждом ударе молнии в Землю возбуждается электромагнитный импульс. Молнии наиболее распространены в тропических зонах, однако летом они часты даже в полярных широтах. В целом под воздействием гроз в Земле везде и всегда существует слабое грозовое поле, которое называют шумовым. Приливные движения воздушных масс, ветры, турбулентность также являются источником генерации электрического поля в атмосфере.

Для геофизиков большой интерес представляют *магнитотеллурические поля*, захватывающие колоссальные объемы Земли и приземного пространства. Происхождение этих полей объясняется воздействием на ионосферу Земли потока заряженных частиц, посылаемых космосом, а в основном корпускулярным излучением Солнца. Попадая в постоянное магнитное поле Земли, этот поток фокусируется в приполярных областях и возмущает равновесное состояние ионизированных газов в ионосфере. Сложные токовые системы, возникающие при этом



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



105

Назад

Заккрыть

в ионосфере, служат источниками вторичного электромагнитного поля, накладывающегося на постоянное электромагнитное поле Земли. Магнитотеллурическое поле проникает в Землю до глубин от десятков до нескольких сотен километров. Наиболее устойчивыми, постоянно и повсеместно наблюдаемыми в утренние и дневные часы, особенно летом и в годы повышенной солнечной активности, являются короткопериодные колебания с периодом от единиц до сотен секунд. Колебания с иными периодами меньше по интенсивности. Интенсивность (амплитуда) вариаций магнитотеллурического поля зависит от солнечной активности, географического положения и геологического строения места наблюдения. Амплитуда вариаций электрической составляющей естественного магнитотеллурического поля может достигать 100–200 мВ/км при средних значениях 30–40 и фоновом уровне 0,1–10 мВ/км.

Естественные электрические поля, наблюдаемые на земной поверхности, связаны с различными причинами, например, с изменением *электрохимической активности* горных пород (рисунок 2.22).

В геологическом разрезе условия для образования электрического поля возникают на телах из минералов с электронной проводимостью (сульфиды, графит, уголь-антрацит), если эти тела находятся в водонасыщенных породах с ионной проводимостью. Изменение окислительно-восстановительных условий на контакте электронного проводника и вмещающей среды связано с уменьшением содержания кислорода с глубиной. В верхней части электронного проводника складывается



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



106

Назад

Закреть



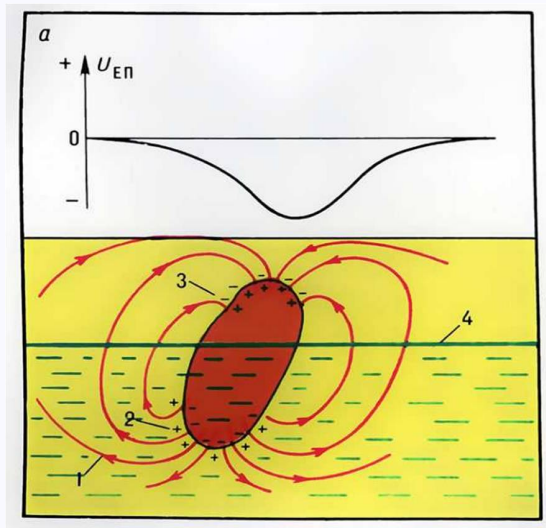


Рисунок 2.22 – Возникновение электрического поля вокруг рудной залежи

окислительная обстановка, а в нижней – восстановительная. Окисление вещества представляет собой уход электронов (отрицательных зарядов) из кристаллической решетки, и в верхней части тела на внешней стороне контакта накапливается отрицательный заряд, а на внутренней – положительный. На нижней стороне происходит восстановление (поглощение электронов), и на контакте с внешней стороны накапливается положительный заряд. Процесс идет непрерывно, происходит устойчивое разделение зарядов. На границе фаз с разной по природе проводимостью возникает двойной электрический слой. Этот слой характеризуется скачком потенциала, величина и знак которого зависят от свойств, состава и



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



107

Назад

Закреть

состояния проводника и вмещающей среды, участвующих в процессе образования двойного электрического слоя. Интенсивность естественных полей электрохимической природы, наблюдаемых над рудными телами, составляет 20–1800 мВ при фоновых значениях в 5–100 мВ.

К постоянным естественным электрическим полям относятся также *фильтрационные*. При фильтрации подземных вод через пористые горные породы возникают поля, обязанные своим существованием наличию двойного электрического слоя на границе твердой и жидкой фаз горной породы. Величина потенциала фильтрации может достигать 40–200 мВ. Особый вид земных электрических полей представляют *термофильтрационные* поля, возникающие в рыхлых песчано-глинистых и скальных породах за счет фильтрации подземных и поверхностных вод разной температуры. Идентификационный признак полей этого вида – изменение электрического потенциала от 40 до 400 мВ в зависимости от суточных вариаций температуры в приповерхностной части геологического разреза. В пределах верхней части литосферы весьма часто можно наблюдать условия, благоприятные для формирования потенциалов, возникающих на контактах пород разного литологического состава или проявляющихся вследствие изменения химического состава подземных вод. Величина потенциала может достигать 45–100 мВ на контактах песчаных и глинистых пород.

Электрические поля в морях индуцируются переменным магнитным полем Земли, а также возникают при движении проводящей морской



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



108

Назад

Закреть

воды (морских волн и течений) в магнитном поле.

В настоящее время электроразведкой широко изучаются постоянные и переменные электрические поля *техногенного* происхождения. Источниками электрического поля блуждающих токов служат промышленные предприятия, электрифицированные железные дороги, станции катодной противокоррозионной защиты. Источниками электромагнитных полей промышленной частоты (50 и 400 Гц) могут служить высоковольтные электрические трансформаторные подстанции, токонесущие провода воздушных линий электропередачи (ЛЭП), тяговые электромоторы и энергетические установки. Антенны радиовещательных и телепередающих станций, излучатели специальных средств связи и радиолокационных станций, а также многие промышленные установки, лабораторные приборы, бытовая и оргтехника являются источниками электромагнитных полей в диапазоне радиоволн (0,1 МГц–300 ГГц).

### *Принципы измерения электромагнитных полей*

Вследствие многообразия используемых полей электроразведка в своем составе имеет более 200 методов и их модификаций, которые характеризуются видом электромагнитного поля, типом возбуждения поля, измеряемыми компонентами, методикой и техникой полевых работ, способами обработки и интерпретации полученных данных, решаемыми задачами.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



109

Назад

Закреть

В зависимости от расположения источников поля и точек наблюдения различают *наземную, морскую, скважинную, шахтную и аэроэлектро-разведку*. В зависимости от природы исследуемых электромагнитных полей выделяются методы *естественных* полей и методы *искусственных* полей. Вторая группа методов более многочисленна, что связано с разнообразием способов возбуждения поля. Два основных способа искусственного возбуждения электромагнитного поля в земле – *гальванический* и *индуктивный* [17] .

Гальванический способ характеризуется тем, что два заземления А и В, погруженные в землю, присоединяются к полюсам какого-либо источника постоянного или переменного тока (батареи сухих элементов, аккумуляторы, генераторы и др.) (рисунок 2.23). Разность потенциалов между двумя заземлениями обуславливает возникновение в земле электрического тока.

В индуктивном способе источниками поля являются незаземленные контуры различной формы и размеров, питаемые от генераторов переменного тока разной частоты. Переменное электромагнитное поле тока, текущего в незаземленном контуре, является предметом полевых измерений.

Помимо названных двух способов, применяется комбинированный способ возбуждения поля, представляющий собой сочетание гальванического и индуктивного. При этом исследуемое поле состоит из двух частей; одна из этих частей создается заземлениями, а вторая – током,



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



110

Назад

Закреть

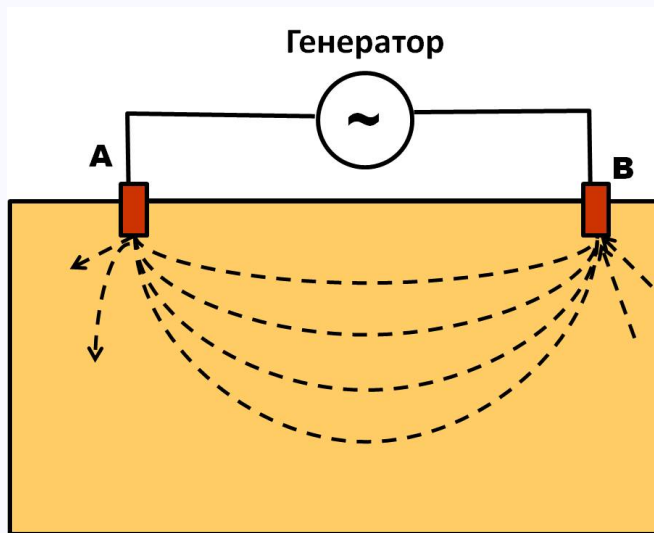


Рисунок 2.23 – Гальванический способ возбуждения поля

текущим в проводах, соединяющих генератор с заземлениями. Из всех перечисленных выше способов используются разнообразные установки, отличающиеся одна от другой конструкцией и взаимным положением заземлений, конфигурацией и размерами незаземленных контуров и т. п. Постоянные электромагнитные поля обычно исследуют путем измерения разностей потенциалов между различным образом выбранными точками земли. В эти точки помещают заземления, которые подключают к прибору, измеряющему разность потенциалов (рисунок 2.24). В результате измерений вычисляется удельное электрическое сопротивление горных пород.



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



111

Назад

Закреть

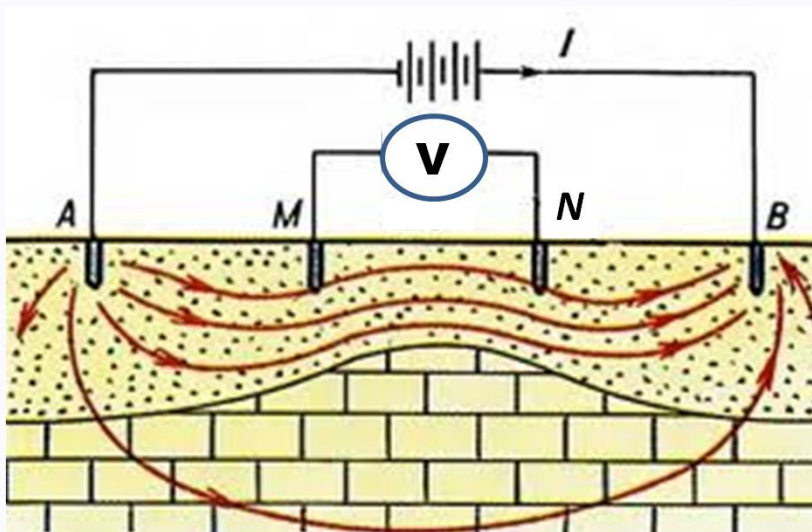


Рисунок 2.24 – Схема установки для электроразведки постоянным током

В методах электроразведки, использующих переменные электромагнитные поля, измеряют как магнитную, так и электрическую составляющую поля, а в некоторых методах – соотношение между ними. Для измерения электрического поля так же, как и в методах постоянного поля, применяют заземленные измерительные линии. Для измерения магнитной составляющей обычно используют многовитковые индукционные рамки. Известно, что ЭДС, наведенная переменным магнитным полем в такой рамке, пропорциональна ее эффективной площади, компоненте поля, перпендикулярной к плоскости витков, а также скорости изменения поля со временем. Эту ЭДС измеряют специальными приборами,



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



112

Назад

Закреть

подключенными к рамке. Переменные электромагнитные поля, меняющиеся по закону синуса или косинуса, характеризуются амплитудой и фазой электрической и магнитной составляющих, а также ориентацией вектора поля в пространстве. Все эти величины зависят от характера геоэлектрического разреза, поэтому их измерение дает информацию об этом разрезе. В случае нестационарных переменных полей можно измерять мгновенное значение поля в заданный момент времени и скорость их изменения со временем. В зависимости от геологических условий и типа решаемых задач частоту исследуемого поля можно изменять от нуля (постоянное поле) до частот, измеряемых мегагерцами.

По принципу изучения разреза в вертикальном или горизонтальном направлениях методы электроразведки разделяются на *зондирование* и *профилирование*. К **электромагнитным зондированиям** относят группу методов электроразведки, в которых аппаратура, методика и система наблюдений направлены на то, чтобы в каждой точке зондирования получить информацию об изменении электромагнитных свойств среды с глубиной, т. е. по вертикали. Для этого на изучаемом участке параметры поля и установок изменяют таким образом, чтобы поле постепенно проникало на все большие глубины. Для увеличения глубинности используют различные приемы, например дистанционный, когда постепенно увеличивают расстояние между питающими электродами АВ, следовательно, чем больше расстояние между ними, тем на большую глубину проникает электрический ток (рисунок 2.25).



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



113

Назад

Закреть



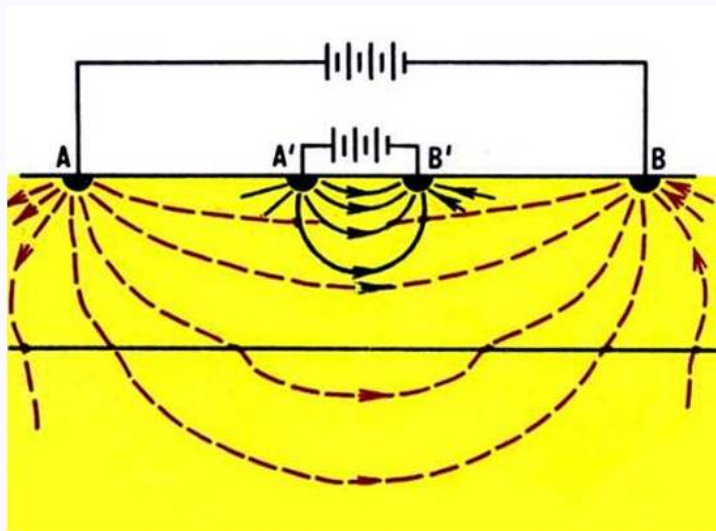


Рисунок 2.25 – Схема электрондирования

Электромагнитное профилирование включает большую группу методов электроразведки, в которых методика и техника наблюдений направлены на то, чтобы в каждой точке профиля получить информацию об электромагнитных свойствах среды примерно с одинаковой глубины. Особенностью профилирования, в отличие от зондирования, является то, что при этом способе во всех точках наблюдения размеры установки, т. е. взаимное положение питающих (AB) и измерительных (MN) заземлений остаются неизменными (рисунок 2.26), в то время как вся установка от замера к замеру перемещается вдоль некоторого направления, называемого электропрофилем. Таким образом, если зондирования



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



114

Назад

Закреть

предназначены для изучения горизонтально или полого залегающих слоев, то профилирования служат для исследования горизонтальных разрезов, представленных крутослоистыми средами или включениями объектов с разными электромагнитными свойствами.

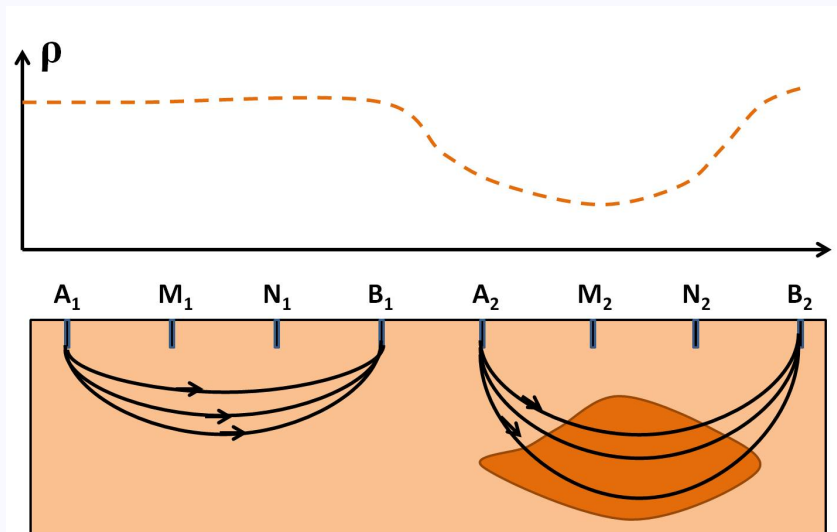


Рисунок 2.26 – Схема электропрофилирования

В настоящее время существуют различные электроразведочные установки, управляемые с помощью компьютера. На рисунке 2.27 изображена установка RESECS, предназначенная для проведения исследований методом измерений на постоянном токе с высоким разрешением. При помощи одного семижильного кабеля можно подключить до 960 электродов. Любую пару электродов можно выбрать в качестве излучателей



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



115

Назад

Закреть

тока. До восьми пар других электродов могут служить в качестве приемных электродов для проведения синхронных геоэлектрических измерений (восьмиканальная конфигурация). Благодаря быстрому переключению каналов при помощи программных средств обеспечивается высокая скорость получения данных – до двух тысяч частных значений в час.



Рисунок 2.27 – Установка RESECS



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



116

Назад

Закрыть

## 2.2.4 Сейсмические методы

*Сейсмическая разведка* является самым глубинным, во многих случаях наиболее точным, хотя самым дорогим и трудоемким методом геофизики, основанным на изучении распространения упругих сейсмических волн, возбуждаемых искусственным или естественным путем [5]. Упругие волны распространяются во все стороны от источника возбуждения и проникают в толщу земли на большую глубину. Здесь они претерпевают отражение и преломление и частично возвращаются к поверхности земли, где создаваемые ими колебания регистрируются специальной аппаратурой. Измеряя время распространения волн и изучая характер колебаний, определяют глубину залегания и форму тех геологических границ, на которых произошло преломление или отражение, а также судят о составе пород, через которые прошла волна. Сейсморазведка позволяет с высокой точностью определять углы наклона слоев осадочной толщи даже при большой глубине залегания. Поэтому сейсмические методы широко используют для обнаружения в недрах Земли границ раздела, выделения основных геосфер, построения сейсмической модели Земли. Сейсмические методы используют для изучения землетрясений, поиска и разведки месторождений, для решения разнообразных инженерно-геологических задач (исследование шумов от промышленных установок, транспорта, обнаружение и распознавание ядерных взрывов, выбор территорий для строительства атомных электростанций и пр.).



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



117

Назад

Закреть

Возникновение сейсморазведки как одного из геофизических методов относится к началу 20 века. В первом периоде развития сейсморазведка основывалась главным образом на теоретических предпосылках и методах *сейсмологии* – науки о землетрясениях. К этому времени сейсмология достигла больших успехов благодаря работам ряда крупных сейсмологов, и прежде всего выдающегося русского ученого академика Б.Б. Голицына, создавшего совершенные методы регистрации сейсмических колебаний и обогатившего сейсмологию многими основополагающими теоретическими работами.

Первые сейсморазведочные работы методом преломленных волн были проведены в 1927 году в Криворожском железорудном бассейне, на Курской магнитной аномалии. Полевые работы методом отраженных волн были начаты в 1935 году под руководством академика Г.А. Гамбурцева, сыгравшего выдающуюся роль в создании и развитии сейсморазведки. В годы Великой Отечественной войны с помощью сейсморазведки были открыты новые месторождения нефти и газа. Впервые вблизи Баку были начаты работы по применению сейсморазведки в море; была разработана методика проведения сейсмических работ в пустынях и в районах вечной мерзлоты. После окончания войны в короткое время было осуществлено техническое перевооружение сейсморазведки. Новые многоканальные сейсмические станции позволили значительно повысить качество и производительность полевых работ. Были развиты новые приемы интерпретации и созданы новые модификации



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



118

Назад

Закреть

сейсморазведки. Большое значение приобрело глубинное сейсмическое зондирование. С 1959 года происходит постепенное перевооружение сейсморазведки аппаратурой с регистрацией на магнитную ленту. С 70-х годов 20 века начался новый этап технического перевооружения – внедрение цифровой полевой и обрабатывающей техники. Благодаря успешному использованию новых технических средств и творческому развитию методических приемов в большинстве нефтяных провинций во всем мире с помощью сейсморазведки открыто и разведано огромное число месторождений и решено много других задач.

### *Природа сейсмических волн*

В настоящее время *сейсмология* занимается измерением и анализом всех движений, которые происходят в Земле. День и ночь тысячи сейсмических станций, расположенных в различных уголках земного шара, регистрируют дрожание земной поверхности, обусловленное различными причинами, как природными, так и искусственными.

Одна из основных задач *сейсмологии* – исследование землетрясений. При землетрясениях из ограниченной области под поверхностью Земли излучаются упругие колебания – сейсмические волны. Область, из которой излучаются эти волны, называется фокусом, очагом либо гипоцентром землетрясения, а его проекция на поверхность Земли – эпицентром землетрясения. Распространяются ударные волны во все стороны от очага, по мере удаления от него их интенсивность постепенно



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



119

Назад

Закреть

уменьшается. Наиболее сильные землетрясения иногда ощущаются на расстояниях более 1500 км от очага и могут быть зарегистрированы специальными высокочувствительными приборами *сейсмографами* даже в противоположном полушарии. Очаги большей части землетрясений лежат в земной коре на глубинах не более 16 км, однако в некоторых районах глубины очагов достигают 700 км.

Хотя уже с давних времен ведутся многочисленные исследования, нельзя сказать, что причины возникновения землетрясений полностью изучены. По характеру процессов в их очагах выделяют несколько типов землетрясений, основными из которых являются тектонические, вулканические и техногенные. Тектонические землетрясения возникают вследствие внезапного снятия напряжения, например при подвижках по разлому в земной коре. Вулканические землетрясения происходят вследствие резких перемещений магматического расплава в недрах Земли или в результате возникновения разрывов под влиянием этих перемещений. Техногенные землетрясения могут быть вызваны подземными ядерными испытаниями, заполнением водохранилищ, добычей нефти и газа методом нагнетания жидкости в скважины, взрывными работами при добыче полезных ископаемых и пр. Менее сильные землетрясения происходят при обвале сводов пещер или горных выработок.

Сейсмические волны, распространяющиеся из очага землетрясения, делятся на *объемные* и *поверхностные*. Объемные волны бывают двух типов – *продольные* и *поперечные*. Продольные волны, направление



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



120

Назад

Закреть



которых совпадает с направлением перемещения частиц среды, раньше других достигают сейсмоприемников, поэтому их называют первичными (primary) и обозначают индексом Р. Поперечные волны обусловлены смещением частиц под прямым углом к направлению распространения волн. Они распространяются только в твердой среде. К сейсмоприемнику поперечные волны приходят позже продольных, поэтому их называют вторичными (secondary) и обозначают индексом S. Скорость продольных и поперечных волн с глубиной возрастает, что приводит к искривлению их пути. Продольные и поперечные сейсмические волны, в отличие от поверхностных, в течение 10–20 мин пронизывают всю Землю. Поэтому они названы объемными волнами. По выражению Б.Б. Голицына, землетрясения являются «фонарем, освещающим внутреннее строение нашей планеты».

При распространении продольных и поперечных волн в толще Земли непрерывно увеличивается объем среды, вовлекаемой в колебательный процесс. Поверхность, соответствующая максимальному продвижению волн определенного типа в данный момент, называется фронтом этих волн. Траекторией волны называется линия, соединяющая точку, находящуюся на фронте волны, с источником волны. В связи с тем, что скорость волн постепенно увеличивается с глубиной, направления их распространения представляют собой кривые, обращенные выпуклостью вниз (рисунок 2.28).



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



121

Назад

Закреть

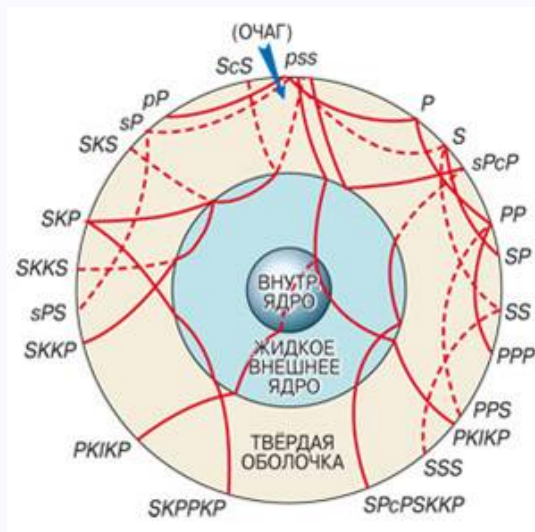


Рисунок 2.28 – Схема распространения сейсмических волн

Траектории волн P и S совпадают, хотя первые распространяются быстрее. Сейсмические станции, находящиеся вдали от эпицентра землетрясения, регистрируют не только прямые волны P и S, но также волны этих типов, уже отраженные один раз от поверхности Земли – PP и SS (или PR1 и SR1), а иногда – отраженные дважды – PPP и SSS (или PR2 и SR2). Существуют также отраженные волны, которые проходят один отрезок пути как P-волна, а второй, после отражения, – как S-волна. Образующиеся обменные волны обозначаются как PS или SP. На сейсмограммах глубокофокусных землетрясений наблюдаются также и другие типы отраженных волн, например волны, которые, прежде чем достичь



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



122

Назад

Закреть

регистрирующей станции, отразились от поверхности Земли. Их принято обозначать маленькой буквой, за которой следует заглавная, например  $pR$ . Эти волны очень удобно использовать для определения глубины очага землетрясения. На глубине 2900 км скорость Р-волн резко падает, а S-волны не распространяются ниже этого уровня, соответствующего границе земного ядра и мантии. Оба типа волн частично отражаются от этой поверхности, и некоторое количество их энергии возвращается к поверхности в виде волн, обозначаемых как  $PcP$  и  $ScS$ . Р-волны, прошедшие сквозь земное ядро, обозначаются  $PKP$  или  $P'$ . Волны, проникающие сквозь внутреннее ядро, обозначаются как  $PKIKP$  или  $SKIKS$ .

Помимо продольных и поперечных волн вдоль земной поверхности распространяются *поверхностные волны Лява* (частицы грунта смещаются из стороны в сторону в горизонтальной плоскости под прямым углом к направлению распространения волны) и *Рэлея* (частицы колеблются вверх-вниз и назад-вперед). Поверхностные волны часто обозначаются сокращенно как L-волны. Поверхностные волны от особо сильных землетрясений могут несколько раз опоясывать Землю.

Дальность распространения объемных и поверхностных волн, длительность их существования зависят от интенсивности землетрясения, глубины залегания очага, скорости распространения упругих волн и их поглощения в разных оболочках Земли. Вследствие землетрясений, а их количество составляет около 800 тысяч в год, в Земле практически постоянно существует поле сейсмических колебаний.



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



123

Назад

Закреть

Кроме землетрясений, сейсмографы регистрируют сейсмические колебания, вызванные взрывами вулканов, ударами метеоритов, штормами в океане, береговыми приboями, разрядкой напряженного состояния массивов горных пород в результате разнообразных динамических процессов. Специалисты считают, что сейсмичность Земли связана также с солнечной активностью. В целом между этими параметрами существует обратная связь: максимумам солнечной активности соответствует относительно низкая сейсмическая активность. Современная мировая сеть сейсмостанций представлена на рисунке [2.29](#).

Большой интерес для сейсмических и экологических исследований представляют микросейсмы техногенного происхождения. Разработка месторождений полезных ископаемых, строительство массивных сооружений, различные взрывы приводят к сжатию, уплотнению, разжижению грунтов, к проседанию земной поверхности, обвалам, оползням. Эти процессы сопровождаются сейсмическими шумами. Источником микросейсм является наземный автомобильный и железнодорожный транспорт, воздушный транспорт, промышленные предприятия. В целом сейсмические шумы порождаются городами. На сейсмограммах отчетливо заметны «антропогенные циклы» – начало и конец рабочего дня, воскресные дни и даже перерывы на обеденное время. Шумы большого города связаны с одновременным действием большого количества источников, поэтому современные сейсмические станции для регистрации землетрясений стараются выносить за пределы городских территорий.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



124

Назад

Закреть

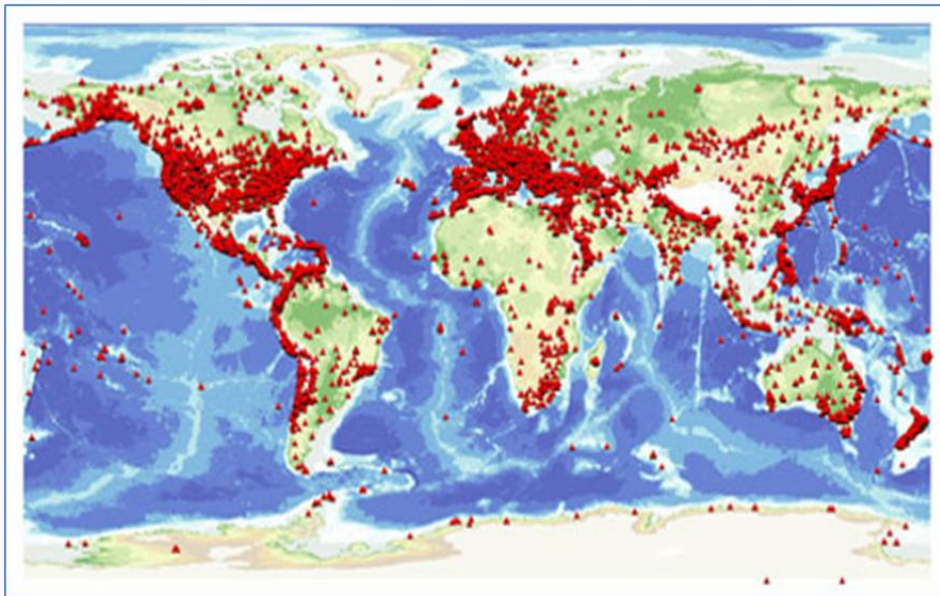


Рисунок 2.29 – Схема распространения сейсмических волн

### *Принципы регистрации сейсмических волн*

Сейсмические волны, достигая поверхности Земли, вызывают ее колебания, которые в большинстве случаев могут наблюдаться лишь при помощи специальных приборов. Самый древний прибор для регистрации землетрясений – *сейсмоскоп* (рисунок 2.30) – был создан в 132 году китайским астрономом Чжан Хеном. Он состоял из металлического сосуда диаметром 90 см. Внутри этого художественно оформленного сосуда находился маятник. По бокам сосуда располагались восемь чаш,



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



125

Назад

Закреть

украшенных головами драконов. В каждой чаше лежал металлический шарик. При сильном землетрясении маятник ударял по шарикам и они сваливались в маленькие сосуды в форме лягушек с открытыми ртами, и раздавался звон. О направлении сейсмического удара судили по тому, куда выталкивался шарик.



Рисунок 2.30 – Древний китайский сейсмоскоп

Первый европейский сейсмоскоп был разработан в 1703 году французским ученым Д. Отфеем. Прибор состоял из деревянной тарелки диаметром 25 см, заполненной ртутью. На уровне поверхности ртути по бокам сосуда было вырезано восемь дырочек с желобками, напротив которых устанавливались чашки. В них выливалась ртуть при сейсмическом



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



126

Назад

Закреть



толчке. Чашка с наибольшим количеством ртути указывала направление главного толчка. Такие сейсмографы были весьма примитивными, малочувствительными и не позволяли фиксировать время землетрясения. Более совершенные приборы стали создаваться во второй половине 19 века.

В настоящее время для измерения упругих колебаний горных пород используются разнообразные *сейсмографы*. Первые сейсмографы были весьма громоздкими, но с развитием науки и техники они были значительно модернизированы. Однако старые приборы на ряде станций продолжают свою службу. Это необходимо для сравнения характеристик землетрясений в прошлом и сейчас. Первый современный сейсмограф был сконструирован академиком Б.Б. Голицыным в 1906 году. Конструктивно сейсмограф состоит из инертной массы, подвешенной на пружине в жестком массивном корпусе. Упругие волны вызывают колебания корпуса, тогда как инертная масса стремится сохранить свое положение. Если к инертной массе присоединить механическое записывающее устройство, например перо, легко касающееся бумаги, закрепленной на корпусе вращающегося барабана, то можно получить сейсмограмму (рисунок 2.31 ).

Кроме такого механического способа записи существуют оптические или электромагнитные способы автоматической регистрации сейсмических волн от землетрясений. Сейсмографами измеряют как горизонтальные, так и вертикальные смещения горных пород. Принцип устройства



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



127

Назад

Закреть



сейсмографа, регистрирующего вертикальные смещения, показан на рисунке 2.32, а горизонтальные – на рисунке 2.33.

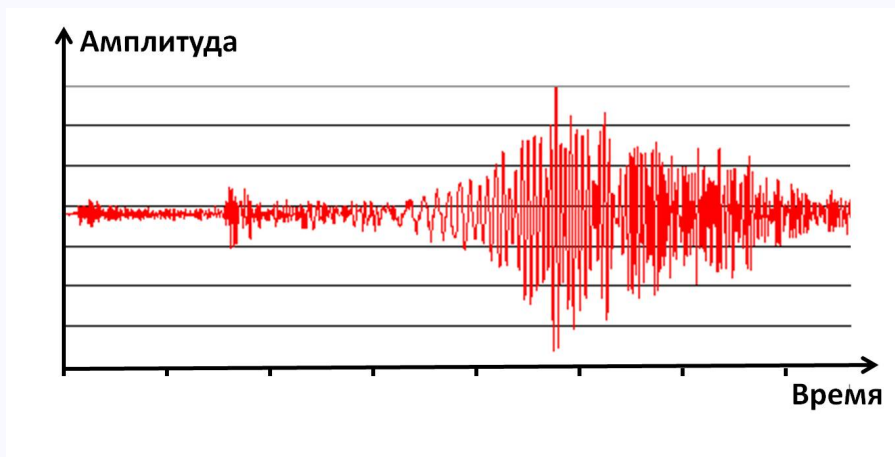


Рисунок 2.31 – Сейсмограмма землетрясения

Сейсмические волны применяются не только для изучения землетрясений, но и для поиска месторождений, построения сейсмической модели Земли и пр. Для решения этих задач нет необходимости дожидаться каждый раз землетрясения. Сейсмические волны могут быть вызваны искусственно. Возбуждение упругих волн часто проводится взрывным способом. Взрывчатое вещество массой от нескольких десятков килограмм до десятков тонн помещается в скважине и подрывается электродетонатором. С увеличением массы глубинность возрастает от сотен метров до сотен километров. В качестве альтернативных источников



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



128

Назад

Закреть

используют удары по земной поверхности молотком, кувалдой или с помощью падающего груза; импульсные газовзрывные источники, представляющие собой цилиндр, в котором при подрыве пропана в кислороде вследствие газовой детонации движется поршень, ударяющий по земной поверхности; импульсные возбудители от высоковольтных электроискровых источников, разряд которых в воде создает упругую волну; вибрационные пневматические или гидравлические датчики, действующие по принципу перфораторов или гидравлических домкратов, и др. Источники возбуждения волн могут быть установлены в шурфе, скважине, горной выработке либо на поверхности земли.

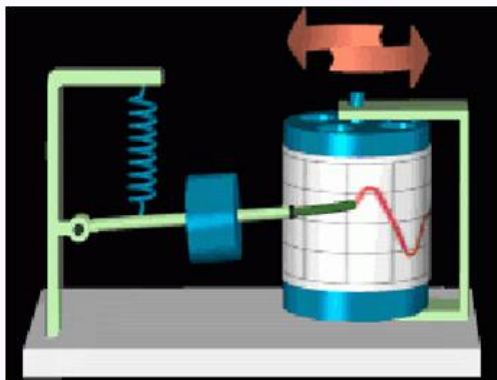


Рисунок 2.32 – Сейсмограф для регистрации вертикальных колебаний

Погруженные и поверхностные источники имеют свои преимущества и недостатки. Преимуществом погруженных является то, что они практически не возбуждают поверхностные волны и обладают высоким



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



129

Назад

Закреть

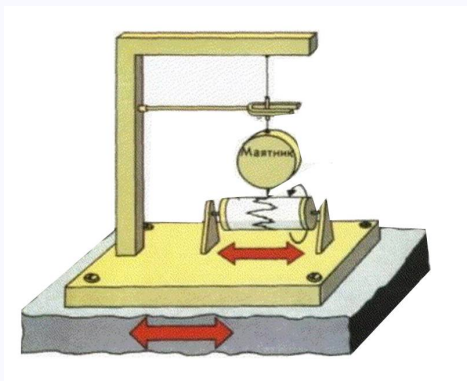


Рисунок 2.33 – Сейсмограф для регистрации горизонтальных колебаний

коэффициентом полезного действия. Для таких источников можно обеспечить достаточно хорошие условия возбуждения, помещая их в скважинах на нужной глубине в консолидированных породах. Недостатком является то, что для их использования необходимо вести бурение, что удорожает разведку, увеличивает время ее проведения и возможно далеко не всегда.

Преимуществом поверхностных источников является то, что при их использовании отпадает надобность в бурении скважин, нагрузки на грунт при их действии относительно невелики, и поэтому их можно использовать при работах вблизи населенных пунктов и промышленных объектов, включая городские территории. Недостатком является более низкий, чем у погруженных, коэффициент полезного действия, зависимость интенсивности и формы возбуждаемых волн от условий



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



130

Назад

Закреть

возбуждения – строения и свойств грунта у поверхности земли, высокий уровень возбуждаемых такими источниками поверхностных волн.

Искусственно созданные волны, достигающие поверхности Земли, вызывают небольшие смещения ее частиц. Поэтому приборы, применяемые для регистрации сильных землетрясений, не могут зафиксировать такие волны. В этом случае улавливание упругих колебаний почвы и превращение их в электрические сигналы производится с помощью *сейсмоприемников*. Они похожи на сейсмографы, но построены на индукционном или пьезоэлектрическом принципе. Электрические сигналы возникают в движущейся внутри магнита катушке или вследствие возникновения пьезоэлектрических зарядов на особых кристаллах при изменении давления на них. Сейсмоприемники классифицируют в зависимости от их назначения и типа электромеханического преобразователя. Различают полевые, морские, скважинные сейсмоприемники. Внешний вид одного из полевых сейсмоприемников показан на рисунке [2.34](#).

Электрические сигналы на выходе сейсмоприемников очень малы (порядка 1–10 мкВ), поэтому они усиливаются электронными усилителями, осуществляющими также фильтрацию помех. Совокупность сейсмоприемников, усилителей и регистрирующих устройств носит название сейсмического канала или канала записи. В сейсмических станциях, монтируемых на автомашинах или кораблях, бывает от одного до сотен идентичных каналов, а сейсмоприемники с выходящими от них проводами соединяются в сейсмические косы (рисунок [2.35](#)).



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



131

Назад

Закреть



Рисунок 2.34 – Сейсмоприемник

Таким образом, сейсмостанция – это сложный измерительный комплекс, который содержит набор сейсмоприемников, усилителей, преобразователей аналоговой записи в цифровую и пр. Существуют различные типы сейсмических станций, отличающихся интервалами изучения глубин, числом каналов, технологией работ. Современные цифровые сейсмостанции – это по существу специализированные компьютеры с большим числом входов. Появление электронно-вычислительных машин и цифровых сейсмостанций произвело в сейсморазведке настоящий переворот, который часто называют «цифровой» революцией. Этот переворот открыл совершенно новые возможности обработки и интерпретации сейсмических данных, принципиально невозможные или крайне затруднительные аналоговыми средствами.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



132

Назад

Закрыть



Рисунок 2.35 – Сейсмические косы

В типичной для сейсморазведки ситуации изучаемая среда занимает полупространство, свободной границей которого является земная поверхность. Возбуждаемые на этой поверхности или вблизи нее волны в процессе своего распространения охватывают одну область за другой, проникая во все точки изучаемой среды. Волны распространяется по такому пути, который требует наименьшего времени для их распространения. Их скорость в различных горных породах различна. Когда распространяющаяся от источника волна встречает на своем пути первую границу, на которой скачкообразно изменяются упругие свойства среды, образуются отраженные и преломленные волны. Отраженные волны



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



133

Назад

Закреть

возвращаются к земной поверхности, преломленные беспрепятственно идут вниз до тех пор, пока на их пути не встретится вторая граница. На этой границе снова образуются отраженные и при определенных условиях преломленные волны, начинающие свой путь к земной поверхности. Описанный процесс повторяется на каждой границе внутри изучаемой толщи, в результате чего к земной поверхности приходят все новые и новые волны. Отраженные от каждой границы волны проходят путь от источника до точки отражения и от этой точки к земной поверхности, т. е. дважды пробегают толщу, заключенную между земной поверхностью и отражающей границей (рисунок 2.36).

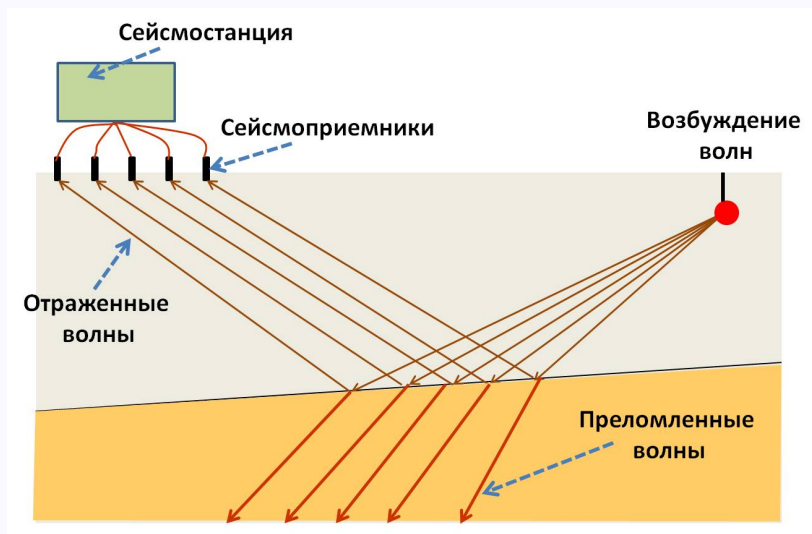


Рисунок 2.36 – Схема сейсмозвездки



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



134

Назад

Заккрыть



Каждому лучу падающей на границу волны соответствуют свой луч отраженной волны и своя длина этого пути. Если отраженные от одной и той же границы волны принимать на различных расстояниях от источника, то время прихода этих волн будет зависеть от положения границы в толще пород, скорости в этих породах и расстояния между источником и приемником. Это касается и преломленных волн.

Сигнал, поступающий от каждого из приемников, записывается на сейсмограмме (рисунок 2.37), по оси абсцисс которой откладывается время, а по оси ординат – амплитуда сигнала.

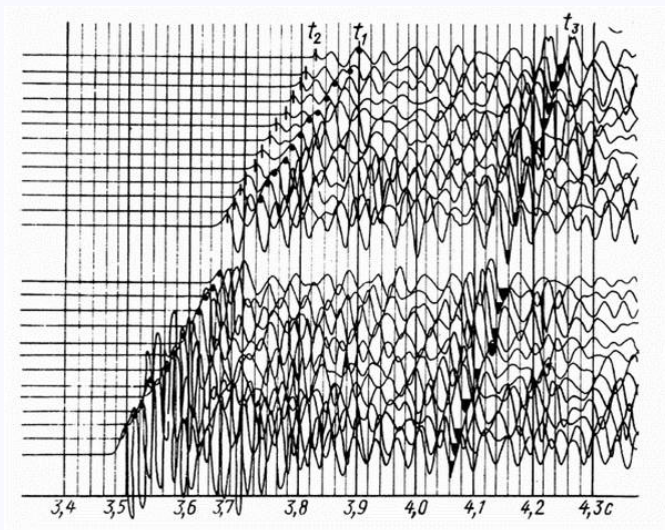


Рисунок 2.37 – Полевая сейсмограмма



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



135

Назад

Закреть

В результате обработки и интерпретации результатов полевых измерений из множества зарегистрированных на сейсмограммах волн выделяются отраженные или преломленные волны, изучается распределение их скорости, определяются глубины залегания сейсмогеологических границ, их падение, простирание. Конечным результатом машинной обработки сейсмических материалов метода отраженных волн является *сейсмический временной разрез* (рисунок 2.38), аналогичный геологическому разрезу. На таком разрезе видны основные отражающие границы, их конфигурация, степень контрастности упругих свойств контактирующих слоев. По горизонтали откладываются расстояния от начала профиля, для которого строится разрез. По вертикали на временном разрезе в выбранном масштабе откладываются времена пробега отраженных волн от земной поверхности до отражающих границ и обратно. Временной разрез проходит сложную обработку с использованием геологических данных, результатом которой является глубинный сейсмический разрез.

Скорость распространения и другие характеристики сейсмических волн зависят от свойств геологической среды, в которой они распространяются: от состава горных пород, их плотности, пористости, трещиноватости, флюидонасыщенности, напряженного состояния, температуры, давления и пр.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



136

Назад

Закреть

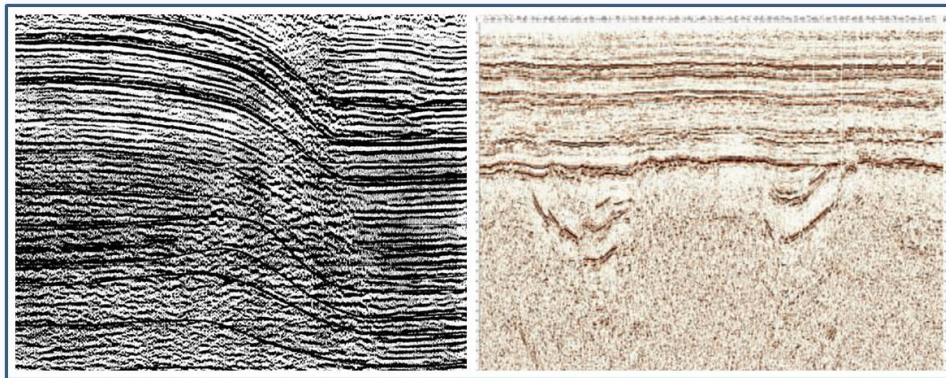


Рисунок 2.38 – Сейсмические временные разрезы

### 2.2.5 Радиометрия и ядерная геофизика

**Радиометрия и ядерная геофизика** – совокупность геофизических методов, основанных на изучении естественной радиоактивности и на взаимодействии искусственных радиоактивных излучений с горными породами, рудами или другими исследуемыми объектами. Радиоактивность была открыта в 1896 году французским физиком А. Беккерелем. Большой вклад в познание этого явления внесли П. Кюри и М. Складовская-Кюри, а также Э. Резерфорд со своими коллегами и учениками.

Одним из основоположников радиометрии является Г. Гейгер, который в 1908 году изобрёл счётчик заряженных частиц. А в 1909 году русский академик, геолог В.И. Вернадский организовал первую экспедицию для поисков урана. Сначала работы в Сибири и на Памире проходили открыто, а позже они организовывались с участием военного



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



**137**

Назад

Закреть

министерства и были засекречены. По инициативе В.И. Вернадского в 1915–1916 годах начались работы на первом небольшом по запасам радиевом (урановом) руднике Тюя-Муюн в Фергане. В 1922 году на этой руде заработал первый советский радиевый завод. Впоследствии среднеазиатский уран использовали в первых советских атомных реакторах. Наступившая вскоре Октябрьская революция надолго затормозила работы по ядерной физике. В 30-х годах 20 века физики установили, что атомное ядро урана находится в состоянии неустойчивости. Оно способно расщепляться, выделяя при этом огромное количество энергии. Военное министерство Германии заявило, что страна, которая первая поставит себе на службу достижения ядерной физики, обретёт абсолютное превосходство над другими. Стали предприниматься интенсивные действия в поисках радиоактивного сырья. В СССР в 1944 году было принято постановление, обязывающее все геологические организации приступить к поискам радиоактивных руд, а в 1945 году создаётся специальный комитет, председателем которого был назначен Берия. И уже в 1945 году передается в эксплуатацию крупное Табошарское месторождение.

Геологические партии снабжались тогда громоздкими радиометрами, которые приходилось тащить на себе в горы и тайгу. Академик А.П. Александров вспоминал, что первые порции урановой руды возили на мулах, прямо в мешках. Министр геологии СССР П.Я. Антропов рассказывал: «Урановую руду на переработку по горным тропам Памира



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



138

Назад

Закреть

возили в торбах на ишаках и верблюдах. Не было тогда ни дорог, ни должной техники».

Позже радиометрические и ядерно-геофизические методы стали использоваться не только для поисков радиоактивных руд, но и для поисков парагенетически или пространственно связанных с ними нерадиоактивных полезных ископаемых (редкоземельных, металлических, фосфатных и др.), для определения абсолютного возраста горных пород Земли, для изучения радиоактивности других планет, решения различных инженерно-геологических и экологических задач. В настоящее время методы радиометрии и ядерной геофизики подразделяют на аэрокосмические, полевые, подземные и лабораторные.

### *Радиационное поле*

Исследуемое радиометрией и ядерной геофизикой радиационное поле создается различными источниками – *естественными* и *техногенными*.

*Естественный радиационный фон* формируется излучением, приходящим к поверхности планеты извне, из дальнего космоса и околоземного пространства, а также наличием в земной коре радиоактивных элементов и процессом дегазации планеты, в ходе которого на поверхность ее выносятся радиоактивные газы – радон, торон и другие.

*Космическое излучение* состоит из галактического и солнечного, колебания которого связаны с солнечными вспышками. Из-за сравнительно небольшой энергии, солнечное излучение мало влияет на дозу



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



139

Назад

Закреть



радиации у поверхности Земли, но имеет важное значение за пределами земной атмосферы. Космическое излучение достигает Земли в виде протонов и более тяжелых ядерных частиц, обладающих огромной энергией. Часть этой энергии расходуется на столкновение с ядрами атмосферного азота, кислорода, аргона, в результате чего на высотах до 20 км возникает вторичное высокоэнергетическое излучение, состоящее из мезонов, нейтронов, протонов, электронов, а также образуются так называемые космогенные радионуклиды, выпадающие на поверхность Земли с осадками и циркулирующие в окружающей среде. К ним относятся тритий, углерод-14, бериллий-7, натрий-22 и другие. Космический фон, на долю которого приходится меньше половины общего уровня радиоактивности, характеризуется мощностью дозы излучения 3–6 мкР/ч (0,03–0,06 мкГр/ч). Грей (Гр) – единица измерения дозы излучения в Международной системе единиц СИ; 1 Гр = 100 рентген. Интенсивность космического излучения зависит от высоты над уровнем моря, географической широты и солнечной активности. В высокогорье космический радиационный фон возрастает на 1,5 мкР/ч на каждый километр превышения отметки рельефа местности. Северный и южный полюсы получают больше радиации, чем экваториальные области, из-за наличия у Земли магнитного поля, отклоняющего заряженные частицы, из которых в основном состоят космические лучи.

*Радиоактивность горных пород* обусловлена кларковым содержанием в ней радиоактивных элементов. «Нормальными» в радиационном



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



140

Назад

Заккрыть

отношении принято считать горные породы, в которых содержание радиоактивных элементов U-238 и Th-232 не превышает 2,5 г/т (2,5 кларка). Содержание урана в породах в количестве 0,001 % создает аномалию радиоактивности, характеризующуюся мощностью дозы излучения в 5 мкР/ч, а повышение содержания до 2 % обуславливает поле радиации на уровне 10 000 мкР/ч. Радиационный фон в угольных и других «неурановых» шахтах фиксируется на уровне 4–6 мкР/ч, но может достигать 20–300 мкР/ч. Кроме радиоактивных семейств урана и тория, высокой радиоактивностью отличаются породы, содержащие К-40, концентрация которого в земной коре составляет 2,5 %.

С радиоактивностью горных пород тесно связана *радиоактивность природных вод и газов*. Подземные воды могут иметь разную радиоактивность. Особенно велика она у подземных вод радиоактивных месторождений и вод сульфатно-бариевого, хлоридно-кальциевого составов.

Наиболее весомым из всех естественных источников земной радиации является тяжелый газ *радон*, который в 7,5 раз тяжелее воздуха. Радон высвобождается из земной коры повсеместно, но его концентрация в наружном воздухе существенно различается в разных местах земного шара. Концентрация радона существенно повышается там, где горные породы дезинтегрированы, т. е. в зонах разломов, выветривания, трещиноватости. Повышенное выделение радона из почвы наблюдается также в сейсмически активных областях. Просачиваясь через фундамент и пол, радон из грунта поступает в помещение и накапливается в нем.



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



141

Назад

Закреть



В результате в помещениях могут возникать довольно высокие уровни радиации. Герметизация помещений с целью утепления только усугубляет дело, поскольку при этом еще более затрудняется выход радиоактивного газа из помещения. Концентрация радона в верхних этажах многоэтажных домов, как правило, ниже, чем на первом этаже. Кроме того, источником поступления радона в жилые помещения являются вода и природный газ. Вода из некоторых источников, особенно из глубоких колодцев или артезианских скважин, содержит много радона.

*Естественный радиационный фон* на высоте 1 м от поверхности земли колеблется в основном в пределах 5–25 мкР/ч. В местах, где на поверхность Земли выходят граниты, гнейсы, вулканические туфы, фосфориты и другие породы, радиационный фон может достигать более 60 мкР/ч. В Бразилии недалеко от Сан-Паулу есть место, где уровень радиации в 800 раз превосходит средний. Известны и другие места на земном шаре с высоким уровнем радиации, например, во Франции, Нигерии, на Мадагаскаре, Иране.

*Техногенное радиационное поле* и радиоактивное загрязнение окружающей среды формируется урановой промышленностью, работой атомных станций и радиационными авариями, урановыми рудниками, неправильным содержанием мест переработки и хранения радиоактивных отходов, последствиями ядерных взрывов, использованием радиоактивных источников в космических исследованиях и астронавтике. Большое загрязнение окружающей среды создает сеть изотопных лабораторий,



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



142

Назад

Закреть

использующих радионуклиды для научных и производственных целей. Кроме того, в морях было затоплено тысячи контейнеров с радиоактивными отходами, сотни аварийных реакторов с атомных подводных лодок, формирующих радиационное поле. Повышенный радиационный фон также могут создавать фосфорные удобрения, сжигаемый уголь, всевозможные устройства, приборы, посуда. Серьезный источник радиоактивного излучения – часы со светящимся циферблатом, цветной телевизор, компасы, светящиеся указатели входа-выхода, детекторы дыма и пр. В мире выявлено большое число участков техногенного радиоактивного загрязнения, характеризующихся излучения от десятков мкР/ч до десятков мР/ч (в отдельных случаях – Р/ч).

### *Регистрация радиационного поля*

**Радиометрические методы** основаны на изучении различных проявлений естественной радиоактивности – на способности горных пород или других объектов излучать альфа-частицы, бета-частицы и гамма-лучи.

Альфа-излучение представляет собой поток положительно заряженных частиц (ядер атомов гелия), энергия которых тратится на ионизацию и нагревание окружающей среды, поэтому проникающая способность у них очень мала: несколько миллиметров в горных породах и около 10 см в воздухе. Бета-излучение представляет собой поток электронов и позитронов, энергия которых тратится на ионизацию и



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



143

Назад

Закреть

возбуждение атомов окружающей среды, что приводит к ослаблению их интенсивности. Длина пробега бета-излучения в сто раз больше, чем альфа-излучения. Гамма-кванты представляют собой поток электромагнитного излучения очень высокой частоты. Хотя они тоже сильно рассеиваются и поглощаются окружающей средой, но, благодаря своей электрической нейтральности, отличаются более высокой проникающей способностью – до метра в горных породах и сотни метров в воздухе. В конечном итоге вещество, через которое проходит альфа-, бета- или гамма-излучение, нагревается. Попадая на некоторые вещества, например на сернистый цинк, альфа-, бета- гамма-лучи вызывают вспышки света, называемые сцинтилляциями. И наконец, под влиянием радиоактивных излучений происходит изменение окраски у многих веществ. Например, поваренная соль становится голубой, алмаз – зеленым. Эти свойства радиоактивного излучения используются при создании аппаратуры, применяемой в радиометрии.

Возможность радиоактивной разведки обусловлена, с одной стороны, разной радиоактивностью горных пород и руд, а с другой – миграцией радиоактивных элементов и продуктов их распада с помощью подземных вод и почвенного воздуха. Наибольшей проникающей способностью обладают гамма-кванты, поэтому наиболее широкое применение в радиометрии нашли гамма-методы, изучающие интенсивность естественного гамма-излучения или его спектральный энергетический состав.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



144

Назад

Закреть

1. *Гамма-съемка* основана на измерении интенсивности естественного гамма-излучения исследуемых объектов с помощью различных радиометров (рисунок 2.39). В современных радиометрах в качестве детектора гамма-излучений наиболее часто используются сцинтилляционные счетчики. В них под действием радиации возникают вспышки света. С помощью специального фотоумножителя они преобразуются в поток электронов, а затем усиливаются и регистрируются.



Рисунок 2.39 – Вид одного из радиометров

По способу перемещения измерительного устройства различают космическую гамма-съемку, аэрогамма-съемку, пешеходную, автомобильную, морскую, скважинную гамма-съемку. С помощью радиометрической аппаратуры, установленной на космических кораблях и спутниках,



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



145

Назад

Закреть

регистрируются гамма-вспышки в космосе, но их природа до сих пор не установлена. Земное гамма-излучение космической аппаратурой зарегистрировать невозможно из-за малой длины пробега гамма-лучей. Аэрогамма-съемка с летящего самолета или вертолета [1] – один из наиболее быстрых и экономичных методов радиометрии, который применяется для получения данных по распределению радиоактивных элементов на больших площадях, в некоторых случаях труднодоступных, и для выделения аномальных участков. Методика аэрогамма-съемки сводится к непрерывной регистрации интенсивности естественного гамма-излучения разных энергий. Работы проводятся либо по отдельным маршрутам, либо по системе параллельных маршрутов, равномерно покрывающих исследуемую площадь. Интенсивность гамма-излучения зависит от концентрации, состава радиоактивных элементов, размеров радиоактивных объектов, мощности наносов и высоты полета. Чем меньше высота, тем выше чувствительность и возможность выявления аномалий меньшей интенсивности. Однако с уменьшением высоты уменьшается зона действия приборов, т. е. ширина разведываемой полосы земной поверхности. Высота полета обычно составляет 25–75 м. Поскольку гамма-излучение поглощается слоем перекрывающих пород в несколько метров, то практически при воздушной съемке изучается радиоактивность наносов, которые благодаря миграции элементов и эманаций сами становятся радиоактивными. Радиометрические аномалии, выявленные аэрогамма-съемкой, проверяются наземной автомобильной или



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



146

Назад

Закреть

пешеходной съемкой, после чего делается заключение об их природе. Автомобильная гамма-съемка характеризуется большей производительностью и меньшей стоимостью. Наиболее благоприятны для ее применения равнинные или холмистые незаболоченные и слабозалесенные территории. При исследовании объектов, залегающих на глубине более 0,5 м, гамма-съемку проводят в мелких углублениях (закопушках) и шпурах, при большей глубине – в глубоких шпурах и скважинах.

В результате гамма-съемки строят графики или карты интенсивности гамма-излучения (рисунок 2.40).

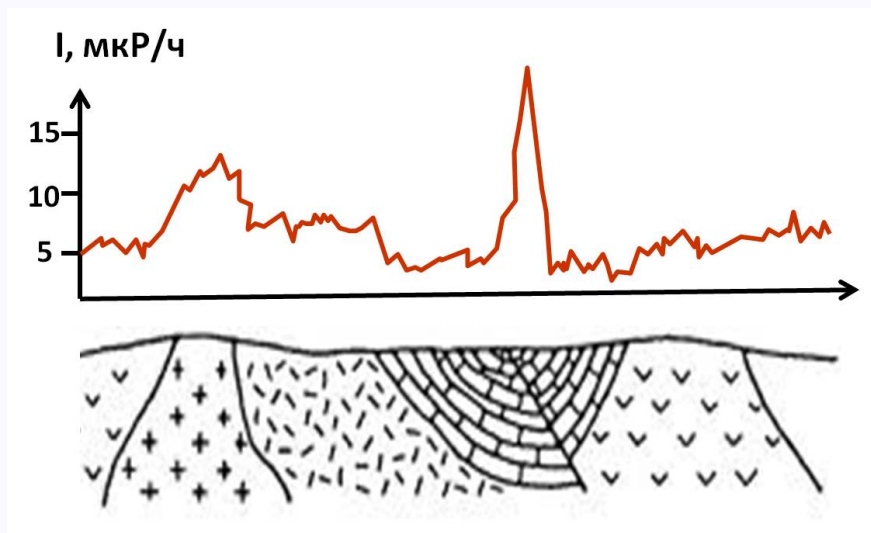


Рисунок 2.40 – График интенсивности гамма-излучения



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



147

Назад

Закреть

2. *Гамма-спектрометрическая съемка* обеспечивает разделение излучения на урановую, ториевую и калиевую составляющие, которые характеризуются своими средними значениями и спектром энергий излучений. Наибольшими значениями энергии гамма-излучения отличаются элементы ториевого ряда, меньшими – уранового, еще меньшими – калиевого. Гамма-спектрометрический канал является одним из основных в комплексных аэрогеофизических станциях, предназначенных для исследования глубин до 100–200 м.

3. *Эманиционная съемка* основана на изучении концентрации альфа-частиц, содержащихся в эманациях, т. е. в газообразных продуктах распада радиоактивных веществ. При распаде урана образуется радиоактивный газ радон, а при распаде радона выбрасываются альфа-частицы, которые регистрируются специальными приборами. Эманирование пород или их способность выделять эманации радона в подпочвенный воздух или подземные воды определяется не только наличием и количеством радиоактивных элементов ряда урана, но и строением породы, плотностью, трещиноватостью, влажностью, температурой и другими факторами. Кроме эманирования пород появление эманаций обусловлено их диффузией в сторону пониженных концентраций радона и конвекцией к земной поверхности. Методика эманиционной съемки сводится к отбору проб подпочвенного воздуха или воздуха, заполняющего скважины, горные выработки, подвалы зданий, и определению с помощью эманометра концентрации радона в нем.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



148

Назад

Закреть



Эманиационную съемку применяют для разведки радиоактивных руд и ореолов рассеяния радиоактивных элементов. Кроме того, ее используют для выявления участков с повышенной способностью пропускать радон (зоны сбросов, дробления, трещиноватости, закарстованности) и участков экранирования, где залегают газонепроницаемые пласты (глины, сланцы, мерзлые породы). Изучение концентрации радона в скважинах нашло применение в исследованиях по прогнозу землетрясений в тектонически активных районах.

**Ядерно-геофизические** (изотопные) методы основаны на изучении физических явлений, происходящих при естественном и искусственном облучении горных пород гамма-лучами и нейтронами разных энергий.

При проведении **ядерно-геофизических исследований** в скважину или горную выработку опускается зонд, на котором смонтированы генератор гамма-излучения или нейтронов и регистрирующее устройство, отделенное от него экраном. В качестве генераторов гамма-излучения используются радиоактивные изотопы кобальта, цезия и других, а в качестве генераторов нейтронов используются плутоний-бериллиевые, полоний-бериллиевые, полоний-борные и другие изотопные источники или ускорители заряженных частиц. В качестве детекторов применяются газоразрядные, сцинтилляционные, нейтронные и другие счетчики гамма-квантов или нейтронов.

Существует множество ядерно-геофизических методов. Большинство из них характеризуется небольшой глубиной – от нескольких



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



149

Назад

Закреть

миллиметров до нескольких сантиметров. Наибольшее практическое применение ядерно-геофизические методы получили при геофизических исследованиях скважин.

Гамма-методы основаны на измерении характеристик излучения, возникающего при облучении горных пород внешними источниками гамма-излучения.

Сущность нейтронных методов сводится к облучению горных пород нейтронами и регистрации либо вторичного гамма-излучения, возникающего при радиационном захвате нейтрона ядром вещества породы, либо потока нейтронов первичного излучения, дошедших до детектора.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



150

Назад

Закрыть

## 2.2.6 Геотермия

*Геотермия* – раздел геофизики, основанный на исследовании теплового поля Земли и тепловых свойств минералов, горных пород и сред.

В геотермических методах регистрируется тепловое излучение земной поверхности и измеряется температура на суше, на акваториях, в скважинах. Распределение этих параметров в плане и по глубине несет информацию о термических условиях и геологическом строении изучаемого района. От других направлений геофизики геотермия отличается дефицитом экспериментальных данных и зависимостью их от наличия мест возможных измерений температур на глубинах (скважины, горные выработки, донные осадки), где не оказывают искажающего влияния суточные и годовые вариации солнечной активности. В геотермии большую роль играет математическое моделирование с использованием всех возможных данных изучаемого района.

Термометр был изобретен в конце 16 века. Для измерения температуры воздуха в руднике его впервые применили в 17 веке в Венгрии. В следующем веке геотермические исследования начали проводиться в России, Голландии, Мексике, Перу, Франции и других странах. Кроме рудников, изучались горячие источники, нефтяные источники, озера, вечная мерзлота и пр. В 1908 году на Апшеронском полуострове впервые проводились измерения температуры в скважинах. Геотермические съёмки на дне океанов начали выполняться с середины 20 века. Первая



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



151

Назад

Закреть

космическая тепловая съемка была выполнена в 1961 году. Регулярные и широкодоступные космические данные по изучению тепловых свойств земной поверхности стали поступать в конце 70-х годов с метеорологических спутников NOAA. С помощью современной геотермии решается очень много различных задач: изучение теплового поля Земли и других планет; исследование природных ресурсов и выявление геотермических ресурсов; изучение районов активного вулканизма и гидротермальной деятельности, снежного и ледяного покрова; поиск и разведка месторождений полезных ископаемых; решение инженерно-гидрогеологических задач (строительство метро, дорог и пр.); экологический мониторинг и контроль за состоянием водных объектов, нефтепроводов, газопроводов, дорожных покрытий, торфяников, лесных массивов, полигонов по захоронению бытовых и промышленных отходов; решение задач почвоведения и метеорологии.

### *Тепловое поле Земли*

**Тепловое поле Земли** определяется *внутренними* и *внешними* источниками тепла и *тепловыми свойствами горных пород*.

К *внутренним* источникам тепла относится 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, – вулканической, тектонической и сейсмической деятельностью,



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



152

Назад

Закреть

дифференцией и перемещением глубинных масс, деформацией за счет приливов под действием Солнца и Луны, химическими реакциями с выделением или поглощением тепла, гидротермальными и другими процессами. Самым мощным современным внутренним источником тепла является радиоактивный распад. Его мощность приблизительно в 1,5 раза превышает суммарную мощность всех остальных планетарных источников тепловой энергии. Наибольшее количество радиоактивных веществ в литосфере содержат гранитные породы. Внутреннее тепловое поле отличается высоким постоянством. Оно не оказывает влияния на колебания температуры вблизи земной поверхности.

*Внешними* источниками тепла, поступающего на земную поверхность, являются солнечная радиация, излучение звезд, энергия Луны, метеоритов и пр. Энергия солнечного излучения в десять тысяч раз превышает величину внутреннего теплового потока. Однако она отражается обратно в космос, и только около 2 % поглощается Землей. Солнечная радиация определяет температуру лишь приповерхностной части Земли. Вариации солнечной активности приводят к изменениям температуры приповерхностного слоя воздуха, а с некоторым запаздыванием и температуры горных пород. Чем больше период цикличности, тем больше глубина их теплового воздействия. Например, суточные колебания температуры воздуха проявляются в приповерхностном слое глубиной 1–1,5 м. Это связано с переносом солнечного теплового потока за счет молекулярной теплопроводности пород и конвекции воздуха, паров



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



153

Назад

Закреть

воды, инфильтрующихся осадков и подземных вод. Сезонные колебания вызывают изменения температур на глубинах до 20–40 м. На таких глубинах теплопередача осуществляется в основном за счет молекулярной теплопроводности, а также движения подземных вод. На глубинах 20–40 м располагается нейтральный слой, в котором температура практически постоянная (зона постоянных годовых температур) и в среднем на 3,7 °С выше среднегодовой температуры воздуха. Многовековые климатические изменения сказываются на вариациях температур сравнительно больших глубин. Похолодания и потепления в четвертичном периоде влияли на тепловой режим Земли до глубины 3–4 км.

Таким образом, если не учитывать многовековых климатических изменений, то можно считать, что ниже зоны постоянных температур (на глубинах свыше 40 м) влиянием цикличности солнечной активности можно пренебречь, а температурный режим пород определяется глубинным потоком тепла и особенностями термических свойств пород. 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. Тепловой поток  $q$  может быть рассчитан через измеренные на разных глубинах температуры  $T$  и тепловые свойства среды, в основном теплопроводность  $\lambda$ :

$$q = \lambda \times \text{grad } T .$$



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



154

Назад

Закреть

Среднее значение теплового потока составляет  $0,06 \text{ Вт/м}^2$ . Аномалии тепловых потоков, т. е. отклонения от установленных средних потоков, несут информацию о строении земной коры и верхней мантии. 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. На меньших глубинах перенос тепла связан с молекулярной теплопроводностью и конвекцией подземных вод.

Источниками *локальных тепловых потоков*, вызывающих аномалии температур, являются многолетнемерзлые породы с отрицательными температурами, горные породы и руды с повышенной радиоактивностью, экзотермические и эндотермические процессы, происходящие в нефтегазоносных горизонтах, залежах угля, сульфидных и других рудах, современный вулканизм и тектонические движения, термальные воды и др. Локальные тепловые потоки, как и региональные, зависят не только от наличия источников, но и от условий переноса тепла за счет теплопроводности горных пород и конвекции почвенного воздуха и подземных вод.

Источниками *техногенного* теплового поля могут служить горячие цеха и подземные газоходы предприятий, теплотрассы, туннели метрополитена, обогреваемые подземные сооружения, сбросы горячих



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



155

Назад

Закреть



технологических вод в водоемы и пр. С другой стороны, в качестве охладителей грунтовой толщи могут рассматриваться установки, используемые для промораживания слабых и плывунных грунтов при строительстве, подземные хранилища сжиженного газа. Концентрация источников тепловой энергии под большими городами создает предпосылки формирования тепловых куполов – прогретых объемов геологического пространства, частично или полностью охватывающих своими контурами территории мегаполисов во многих районах земного шара. В пределах территорий крупных городов на небольших глубинах (10–30 м) формируются обширные техногенные геотермические аномалии с превышением температуры над фоновой на 6–10 °С.

Таким образом, температура приповерхностной части Земли зависит от времени суток, сезона, погоды, климата, от геоморфологических условий, наличия акваторий, состава поверхностных пород, почв, их влажности, залесенности, растительного покрова, застройки и других факторов, а в целом от интегральной характеристики ее тепловых свойств.

### *Принципы геотермических измерений*

Основными методами геотермии являются *инфракрасные и радиотепловые съемки, термические исследования на суше и акваториях, термический карттаж, методы искусственных тепловых полей на акваториях и в скважинах.*



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



156

Назад

Закреть

Аэрокосмические инфракрасные и радиотепловые съемки основаны на регистрации теплового электромагнитного излучения земных или космических объектов. Это излучение условно делится на инфратепловое и радиотепловое.

Интенсивность инфратеплового излучения объектов резко возрастает с повышением их абсолютной температуры. Снимки в тепловом инфракрасном диапазоне (рисунок 2.41) отображают температурные характеристики исследуемых объектов.

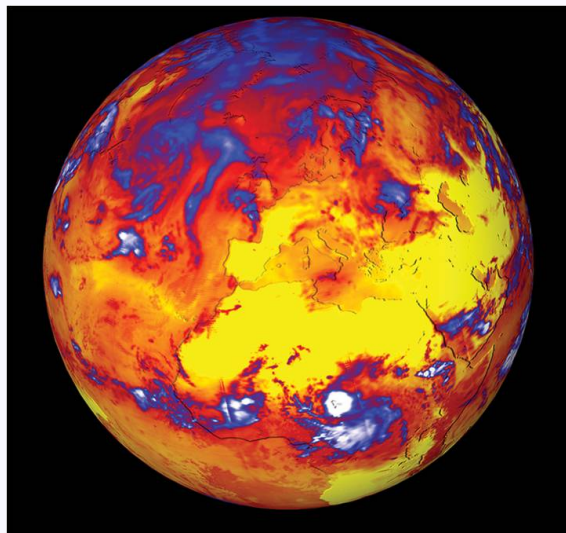


Рисунок 2.41 – Снимок Земли в инфракрасном диапазоне

Холодные и теплые объекты изображаются на них разными тонами. По температурным контрастам удастся выделять вулканы, течения



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



157

Назад

Закреть

в океане, обнаруживать зоны подземных пожаров, тектонические нарушения и т. д. Температурные различия регистрируются с точностью 0,1–0,2 °С. Снимки можно получать независимо от условий освещения, даже ночью. Однако облачность является препятствием для съемки – на снимках отображается холодная верхняя поверхность облаков.

Интенсивность радиотеплового излучения  $P$  зависит от коэффициента излучения объекта  $\varepsilon$  и его абсолютной температуры  $T$ :

$$P = \varepsilon \times T .$$

Радиотепловое излучение по интенсивности значительно уступает излучению в инфракрасном диапазоне. Наибольшее значение коэффициента излучения имеет растительность (0,9), затем следуют почвы (0,8), водные поверхности (0,3) и, наконец, самые «холодные» в радиодиапазоне металлические предметы. Таким образом, различия в интенсивности излучения земных объектов определяются в основном их излучательной способностью, а не физической температурой. На интенсивность излучения оказывает влияние много факторов. Например, интенсивность увеличивается пропорционально высоте и густоте растений; различна интенсивность однолетнего и многолетнего льда и т. д. Снимки в радиодиапазоне делятся на радиометрические, получаемые при регистрации собственного излучения исследуемых объектов, и радиолокационные, получаемые при регистрации отраженного радиоизлучения,



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



158

Назад

Закреть

посылаемого с носителя. Снимки можно получать независимо от погодных условий и освещения. С помощью этих снимков впервые получена картина распространения многолетних и однолетних льдов в масштабе полушария и ее изменений за длительный период, что представляет интерес в связи с изменением климата.

Аэрокосмические инфракрасные и радиотепловые съемки выполняются с помощью различных приборов. Одним из таких приборов является тепловизор, состоящий из фоточувствительного элемента (фотодетектора), воспринимающего электромагнитное излучение определенных длин волн. Высокая чувствительность фотодетектора обеспечивается помещением его в охлаждающее устройство с очень низкой температурой ( $< -200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), например, в сосуд с жидким гелием или азотом. Полученные сигналы преобразуются в электрические, которые после усиления передаются или на экран телевизора, или на другой носитель (оптический, магнитный), или, после кодирования, на компьютер.

Региональные термические исследования сводятся к высокоточному (погрешность не более  $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) неоднократному измерению температур, их приращений в глубоких скважинах, горных выработках и донных осадках озер, морей и океанов. Чтобы исключить влияние сезонных колебаний температур, замеры на суше ведутся на глубинах свыше 50–100 м, а на водных акваториях – на глубинах свыше 300 м. При бурении скважин нарушается температурное равновесие, которое зависит от времени и способа бурения, условий циркуляции промывочной



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



159

Назад

Закреть

На весь экран

Начало

## Содержание

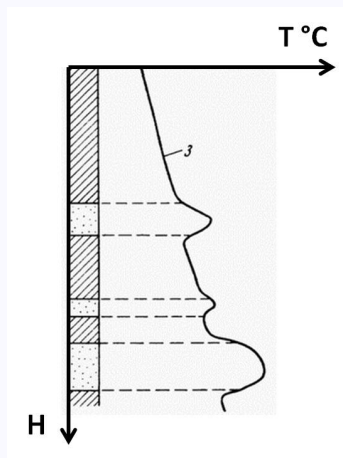
## Приложение



160

[Назад](#)

Заккрыть



Геотермические исследования проводятся также в скважинах с установившимся температурным режимом. Для этого используются разного рода электрические, полупроводниковые, ртутные термометры.

## 2.2.7 Разновидности геофизических методов

Геофизика включает большое количество методов и модификаций. Особое место среди них занимают геофизические *методы исследования скважин, методы морской геофизики, дистанционные аэрокосмические геофизические методы.*

Геофизические методы исследования скважин [3] служат для детальных геологических исследований и надежной интерпретации результатов исследований полевыми геофизическими методами, для решения вопроса о наличии полезных ископаемых и для подсчетов их запасов, для решения различных инженерно-геологических и технических задач. Существует очень большое число методов исследования скважин, которые объединяются в несколько групп. Две весьма обширные группы методов – методы каротажа и методы скважинной геофизики. Каротаж, также известный как промысловая или буровая геофизика, предназначен для изучения пород, непосредственно примыкающих к стволу скважины (радиус исследования 1–2 м), а скважинная геофизика служит для изучения межскважинного пространства. Среди методов каротажа и скважинной геофизики выделяются электрические, электромагнитные, радиометрические, ядерно-геофизические, акустические, геотермические, магнитные и гравиметрические методы.

При *каротаже* (рисунок 2.43) с помощью приборов, спускаемых в скважину на каротажном кабеле, измеряются геофизические



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



161

Назад

Заккрыть

характеристики, зависящие от одного или совокупности свойств горных пород и их расположения в разрезе скважины.

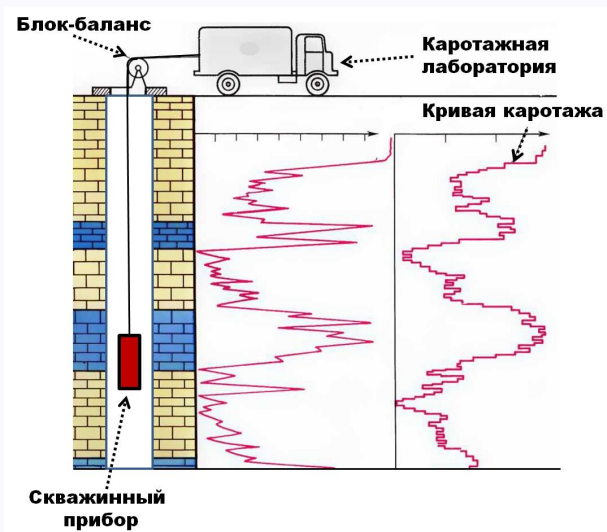


Рисунок 2.43 – Схема каротажных исследований

В скважинные приборы входят каротажные зонды (устройства, содержащие источники и приёмники наблюдаемого поля), сигналы которых по кабелю непрерывно или дискретно передаются на поверхность и регистрируются наземной аппаратурой в виде кривых или массивов цифровых данных.

Один из электрических методов каротажа – токовый каротаж (рисунок 2.44). В этом методе ток в цепи электродов АВ определяется переменным сопротивлением электрода А, перемещаемого по скважине,



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



162

Назад

Закреть



а оно, в свою очередь, зависит от сопротивления горных пород, через которые он проходит.

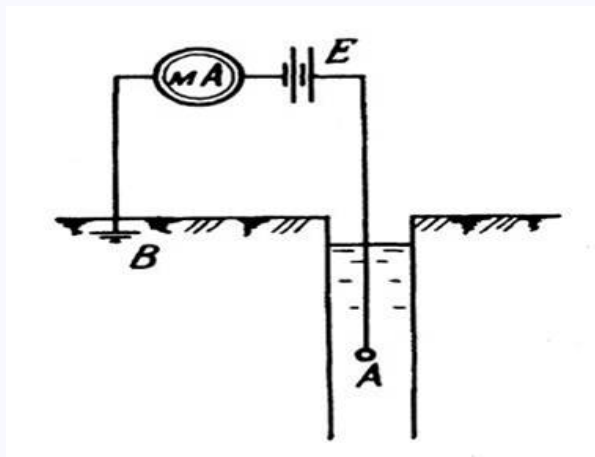


Рисунок 2.44 – Схема токового каротажа

Сущность одного из методов скважинной геофизики – радиоволнового просвечивания (рисунок 2.45) – можно пояснить следующим примером. В некоторых случаях рудное тело высокой проводимости или иной объект поисков оказывается в пространстве между горными выработками или скважинами. Чтобы его обнаружить, в одну скважину помещают передатчик электромагнитных волн, а в другой скважине изучают поле этого передатчика. Рудное тело играет роль экрана для радиоволн, поэтому за рудным телом образуется область тени. Если переместить затем генератор в новое положение, границы тени в другой скважине



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



163

Назад

Закреть

изменяться. По положению лучей, ограничивающих конус тени, можно определить положение рудного тела.

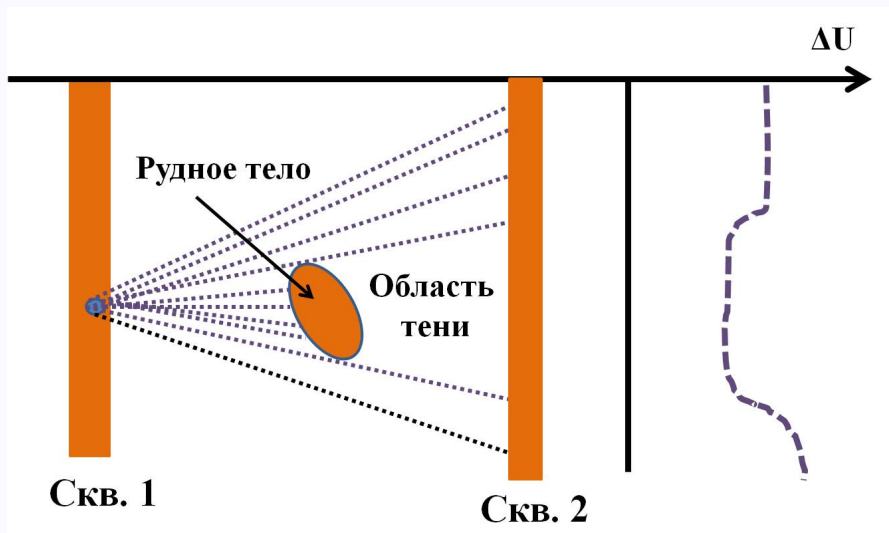


Рисунок 2.45 – Схема метода радиоволнового просвечивания

*Морская геофизика* применяется с целью поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, изучения геологического строения земной коры в пределах континентального шельфа, склона и ложа Мирового океана, при решении различных инженерно-геологических и технических задач. Для морской геофизики используются специальные экспедиционные суда, которые оборудуются комплексом геофизических регистрирующих и обрабатывающих систем, эхолотами для изучения рельефа дна, средствами определения местоположения судна.



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



164

Назад

Закреть

Морская геофизическая разведка в основном выполняется во время движения судна и характеризуется более высокой производительностью и экономической эффективностью, чем наземная геофизическая разведка. При проведении морской геофизической разведки используются сейсмические, магнитометрические, гравиметрические, геотермические, ядерно-геофизические и электрические методы исследования, которые в ряде случаев комбинируются с бурением и отбором проб горных пород. В морской сейсморазведке наиболее широко применяется метод отражённых волн (МОВ), основанный на регистрации упругих волн, отражённых от границ в земной коре или других объектов. Исследования МОВ проводятся при непрерывном движении судна, буксирующего со скоростью 5–25 км/ч источники упругих колебаний и приёмные устройства. Расстояние до объекта определяется по времени прохождения излучённого импульса от излучателя до объекта и отражённого импульса от объекта до приёмника колебаний – гидрофона (рисунок 2.46).

*Аэрогеофизика* всегда отличалась от других исследовательских технологий быстротой получения информации, практической доступностью, экономичностью, экологической чистотой, достаточно простым комплексированием и исключительно высокой статистической представительностью данных. Однако недостатками аэрогеофизики долгое время оставались низкая точность измерений и неудовлетворительная точность привязки точек измерения на местности. Да и сам набор аэрогеофизических методов был ограничен в основном магниторазведкой и гамма-



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



165

Назад

Заккрыть

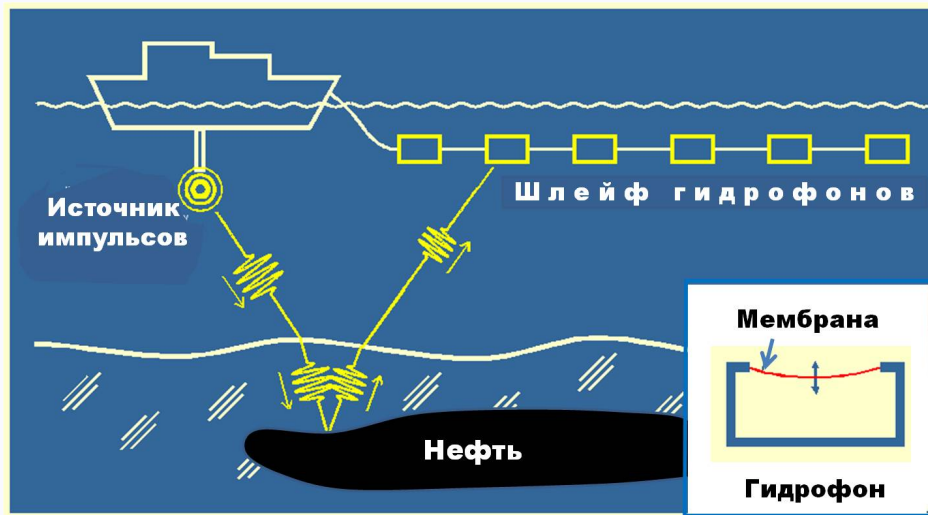


Рисунок 2.46 – Схема морской сейсморазведки

спектрометрией. Известно, что открытия с помощью аэрогеофизики уникальных месторождений урана, железа, алмазов, золота и других полезных ископаемых в бывшем СССР, Австралии, Канаде, Африке, Китае, США и других странах были сделаны в период относительно невысокого ее технического развития. Однако в 80-х годах, когда этот уровень стал необыкновенно высок, успехи аэрогеофизики пошли на убыль. Это было связано с тем, что после обнаружения крупных, высоко контрастных по индикационным свойствам поисковых объектов в простых геолого-геофизических обстановках целью аэрогеофизики стали мало-контрастные объекты, а областью работ – сложные природные среды.



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



166

Назад

Закреть

В этих условиях простое выделение геофизических аномалий, весьма похожих по целому ряду параметров на аномалии от фоновых вариаций среды, стало неэффективным. И схема поисковых работ, ориентированная только на выделение аномалий от конечных поисковых объектов – т. н. «сокращенная» схема поисков – не несла уже желаемых положительных геологических результатов. Очевидным путем выхода из этого положения было повышение точности измерений и комплексирование различных методов на одном летательном аппарате. В настоящее время резко расширился спектр дистанционных методов, в список которых, в первую очередь, вошли различные модификации аэроэлектро-разведки, многокомпонентная магнитометрия, аэрогравиразведка, тепловая инфракрасная съемка [8]. Современная аппаратура для большого числа дистанционных исследований уже перешагнула черту, отделяющую по точности аэрогеофизические съемки от наземных, а для магнитометрии и гамма-спектрометрии показатели точности измерений и качества работ уже превзошли аналогичные показатели наземных съемок. За последние годы произошел принципиальный качественный скачок в точности привязки аэрогеофизических измерений на местности.

В настоящее время аэрогеофизика превратилась в принципиально новую технологию исследования поверхности земли и ее недр. В большинстве случаев аэрогеофизические технологии оказываются предпочтительнее наземных по экономике, качеству и надежности получаемых результатов.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



167

Назад

Закреть

## 2.3 Применение геофизики

Геофизика находит научно-практическое применение при решении многих задач. Главные направления геофизики связаны с изучением Земли как космического объекта, расчленением Земли на оболочки, поисками и разведкой полезных ископаемых, решением инженерных, экологических, медицинских и других задач.

### 2.3.1 Строение Земли по геофизическим данным

На фактическом материале глубинной геофизики, полученном в разных странах и в результате различных международных проектов, строятся модели Земли. В основу разработки этих моделей положены в первую очередь результаты сейсмологии – науки о землетрясениях – и глубинной сейсморазведки. Отчетливая граница раздела двух сред, получившая название Мохо, была открыта югославским сейсмологом А. Мохоровичичем еще в 1909 году. На этой границе скачкообразно возрастает скорость сейсмических волн, ее стали называть границей раздела земной коры и мантии. Уже в первой половине 20 века сейсмологами Г. Джеффрисом и Б. Гутенбергом была разработана широко известная модель внутреннего строения Земли. Согласно ей, недра Земли делятся на три основные оболочки: земную кору, мантию и ядро. Решающим фактором при этом оказалось обнаружение резкого снижения скорости



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



168

Назад

Закреть

прохождения сейсмических волн внутри земного шара на глубине 2900 км. Было установлено, что эта глубина является границей мантии и ядра. В 1936 году датский сейсмолог госпожа И. Леманн обнаружила быстрое увеличение скорости продольных волн внутри ядра на глубине около 5000 км. Тем самым была установлена еще одна четкая граница раздела, известная как переходная зона в ядре, отделяющая внешнее ядро от внутреннего. В середине 20 века в науку вошли представления о более дробном глубинном строении Земли.

Хронологически, одной из наиболее ранних современных [моделей Земли](#) является модель австралийского геофизика Буллена, полученная в 1940 году. Буллен предложил схему деления Земли на зоны, которые обозначил буквами: А – земная кора, В – верхняя мантия (33–400 км), С – переходная зона (400–1000 км), D – нижняя мантия (1000–2900 км), Е – внешнее ядро (2900–4980 км), F – переходная зона (4980–5120 км) и G – внутреннее ядро (5120–6370 км). В настоящее время модель значительно видоизменена, но она послужила надежным фундаментом для всех самых современных моделей.

Неравномерное распределение землетрясений и сейсмических станций на поверхности Земли и слабое её покрытие приёмниками – основные причины того, что информация о большей части земных недр в 40–60 годах прошлого столетия оставалась неизвестной. Принципиально новая ситуация возникла в начале 1960-х годов, когда была установлена обширная сеть сейсмостанций, которая зарегистрировала спектр



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



169

Назад

Закреть



собственных колебаний Земли от катастрофического Чилийского землетрясения 22 мая 1960 года и других землетрясений. Исследование недр стало проводиться с помощью сейсмического профилирования, что позволило получать непрерывную информацию, а не в виде дискретных точек. В результате в конце 70-х годов прошлого столетия появилось новое поколение реальных моделей Земли, которые подразделялись на оптимальные и стандартные. Оптимальная модель должна наилучшим образом удовлетворять всем имеющимся данным о Земле, а стандартная модель, кроме этого, ещё быть сравнительно простой и удобной для повседневной геофизической практики. Такие модели стали называть параметрическими моделями Земли – PEM (Parametric Earth Models). Недостатком этих моделей является некоторое упрощение строения Земли. Однако простота моделей типа PEM является также и их преимуществом, так как они очень удобны для повседневной практики, а основные особенности строения земных недр они описывают не хуже более сложных моделей. Развитие идей, заложенных при построении моделей PEM, позволило А.М. Дзивонскому и Д.Л. Андерсону в 1981 году по заказу Международного Союза по Геодезии и Геофизике построить сферически симметричную модель PREM, которую можно было бы использовать в геодезических и геофизических исследованиях. В 1991 году Б.Л. Кенет и Е.Р. Энгдал представили глобальную сферически симметричную сейсмическую модель IASP91, которая разрабатывалась в течение трех лет специальной комиссией по землетрясениям Ассоциации по Сейсмологии



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



170

Назад

Закреть

и Физике Земных Недр (IASPEI) и которая заметно отличалась от модели PREM по строению верхней мантии. В 1993 году на базе данных по примерно 16000 хорошо записанных мелкофокусных землетрясений за 24 года (1964–1987) была построена новая скоростная модель SP6. С использованием еще большего объема данных в 1995 году создана более совершенная модель АК135. Дальнейшее изучение внутреннего строения Земли идёт по пути ещё большей детализации. Например, на основании современных данных Ю.М. Пушаровским предлагается модель строения мантии, в которой выделено уже шесть геосфер.

Полученные многолетние данные сейсмологии и глубинной сейсморазведки дают основание для рассмотрения *основных сейсмических границ* в недрах Земли. Первой четкой границей, выделяемой по скачкообразному изменению скоростей продольных волн (Р-волн) от 7 км/с до 7,7–8,4 км/с, а поперечных волн (S-волн) от 4,5 км/с до 7,7 км/с, является граница земной коры и мантии (граница Мохо), которая залегает на глубинах в среднем 33 км (рисунок 2.47), приближаясь к поверхности до 6 км в океанах и опускаясь до 70 км в некоторых горных областях.

Мантия представляет собой наибольшую по объёму и массе внутреннюю оболочку Земли, ограниченную сверху границей Мохо, снизу – границей Гутенберга. В её составе выделяется верхняя мантия и нижняя мантия, разделённые границей 670 км. Верхняя мантия по геофизическим особенностям разделяется на два слоя. Верхний слой – подкоротая мантия – простирается от границы Мохо до глубин 50–80 км под



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



171

Назад

Закреть

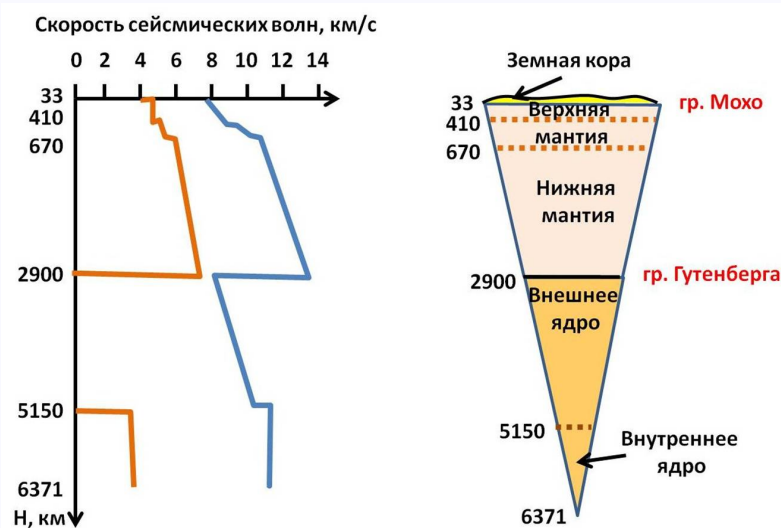


Рисунок 2.47 – Скорость сейсмических волн и основные границы раздела в Земле

океанами и 200–300 км под континентами и характеризуется плавным нарастанием скорости как продольных, так и поперечных сейсмических волн, что объясняется уплотнением пород за счёт давления вышележащих толщ. Ниже подкоровой мантии до глобальной поверхности раздела 410 км расположен слой пониженных скоростей. Как следует из названия слоя, скорости сейсмических волн в нем ниже, чем в подкоровой мантии. Более того, на некоторых участках выявляются линзы, вообще не пропускающие S-волны, это даёт основание констатировать, что вещество мантии на этих участках находится в частично расплавленном



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



172

Назад

Закреть

состоянии. Этот слой называют *астеносферой* (греч. «asthenes» – слабый, «sphaîr» – сфера). Таким образом, астеносфера – это слой в верхней мантии, выявляемый на основании снижения скорости прохождения сейсмических волн и обладающий пониженной прочностью и вязкостью. Наличие пластичного астеносферного слоя, отличающегося по механическим свойствам от твёрдых вышележащих слоёв, даёт основание для выделения литосферы – твердой оболочки Земли, включающей земную кору и подкоровую мантию, расположенную выше астеносферы. Благодаря теории тектоники литосферных плит термин «литосфера» получил широчайшее распространение. Теория предполагает движение плит по астеносфере. Однако сейсмология не показывает выдержанной в пространстве астеносферы. Для многих областей выявлена прерывистость по горизонтали. Глубже раздела 410 км в верхней мантии повсеместно распространяются и продольные и поперечные волны, а их скорость относительно монотонно нарастает с глубиной. В нижней мантии, отделённой резкой глобальной границей 670 км, скорость продольных и поперечных волн монотонно, без скачкообразных изменений, нарастает соответственно до 13,6 и 7,3 км/с. Резкая сейсмическая граница, разделяющая мантию и ядро, фиксируется на глубине 2900 км. На этом сейсмическом разделе скорость Р-волн скачкообразно падает с 13,6 км/с в основании мантии до 8,1 км/с в ядре; а S-волн – с 7,3 км/с до нуля. Исчезновение поперечных волн указывает, что внешняя часть ядра обладает свойствами жидкости. Сейсмическую границу, разделяющую



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



173

Назад

Закреть

ядро и мантию, часто называют границей Гутенберга, хотя это название и не является официальным. Скачок скоростей продольных волн от 10 км/с до 11 км/с, а поперечных от нуля до 3,5 км/с наблюдается на глубине 5100 км. Эта граница разделяет ядро на внешнее (2900–5150 км) и внутреннее (5150–6371 км). Распространение S-волн во внутреннем ядре указывает на его твёрдое состояние.

Раньше считалось, что *плотность* Земли плавно возрастает от поверхности к центру. Но сейсмология внесла новые представления. Было установлено, что скорость сейсмических волн зависит от физических свойств горных пород, через которые они проходят, в том числе и от плотности. Существование резких скачков сейсмических скоростей на границе Мохо, на границе между мантией и ядром и на границе внутреннего ядра наталкивало ученых на мысль, что значение плотности также изменяется скачком на этих трех границах раздела. Был сделан вывод, что кривая изменения плотности должна иметь тот же вид, что и кривая изменения скорости пробега продольных и поперечных волн. Сейсмическое зондирование произвело революцию в геофизических исследованиях плотности. Плотность в Земле увеличивается (рисунок 2.48) от 1–2 г/см<sup>3</sup> вблизи земной поверхности до 3,3 г/см<sup>3</sup> в земной коре. Средняя плотность коры составляет 2,67 г/см<sup>3</sup>. В мантии плотность постепенно возрастает, за счет сжатия силикатного вещества и фазовых переходов, от 3,3 г/см<sup>3</sup> в подкоровой части до 5,5 г/см<sup>3</sup> в низах нижней мантии. На границе Гутенберга (2900 км) плотность скачкообразно увеличивается



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



174

Назад

Закреть

почти вдвое – до  $10 \text{ г/см}^3$  во внешнем ядре. Еще один резкий скачок плотности – от  $11,4$  до  $13,8 \text{ г/см}^3$  – происходит на границе внутреннего и внешнего ядра ( $5150 \text{ км}$ ). Ученые считают, что эти два резких плотностных скачка имеют различную природу: на границе мантия – ядро происходит изменение химического состава вещества (переход от силикатной мантии к железному ядру), а скачок на границе  $5150 \text{ км}$  связан с изменением агрегатного состояния (переход от жидкого внешнего ядра к твердому внутреннему). В центре Земли плотность вещества достигает  $14,3 \text{ г/см}^3$ .

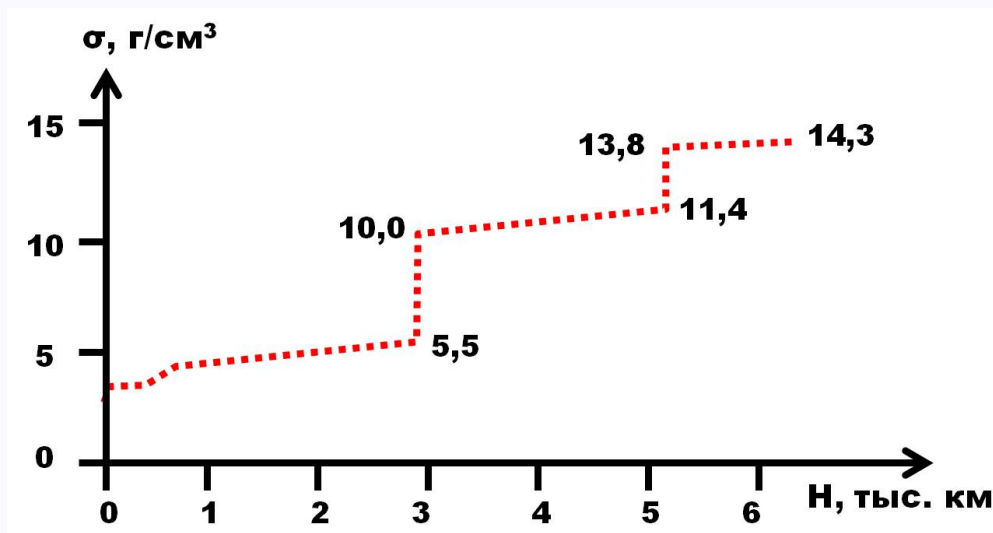


Рисунок 2.48 – Изменение плотности с глубиной



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



175

Назад

Закреть

Ускорение силы тяжести внутри Земли изменяется от  $9,82 \text{ м/с}^2$  у поверхности до  $10,68 \text{ м/с}^2$  в основании нижней мантии на глубине 2900 км, уменьшается до  $1,26 \text{ м/с}^2$  в ядре на глубине 6000 км, а в центре Земли убывает до нуля.

В результате многолетних тепловых съемок накоплены сведения об особенностях *теплового поля Земли*. Минимальные тепловые потоки ( $0,02\text{--}0,04 \text{ Вт/с}^2$ ) наблюдаются на платформах и особенно на докембрийских щитах, в глубоководных впадинах, максимальные – на срединно-океанических хребтах, в рифтовых зонах и участках современного вулканизма ( $0,2\text{--}0,4 \text{ Вт/с}^2$ ). 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 обуславливают существование не только вертикальных, но и горизонтальных градиентов температур.

Распределение *температуры* в недрах Земли определено пока неточно. Наиболее достоверные данные относятся к верхней части земной коры. На формирование температуры на поверхности планеты важнейшую роль оказывает солнечное излучение. Суточные, сезонные,



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



176

Назад

Закреть



многолетние и многовековые вариации солнечной активности приводят к соответствующим циклическим изменениям температуры воздуха. Чем больше период цикличности, тем больше глубина их теплового воздействия. Например, суточные колебания температуры воздуха проявляются в приповерхностном слое глубиной 1–1,5 м. Это связано с переносом солнечного теплового потока за счет молекулярной теплопроводности пород и конвекции воздуха, паров воды, инфильтрующихся осадков и подземных вод. Сезонные (годовые) колебания вызывают изменение температуры на глубинах до 20–40 м. На таких глубинах теплопередача осуществляется в основном за счет молекулярной теплопроводности, а также движения подземных вод. Та часть земной коры, где температура изменяется в зависимости от колебаний температуры воздуха, называется *зоной годовых колебаний температур*.

На глубинах 20–40 м располагается *нейтральный слой* (или зона постоянных годовых температур). В пределах этого слоя температура остается практически постоянной и в каждом районе в среднем на  $3,7^{\circ}\text{C}$  выше среднегодовой температуры воздуха. Многовековые климатические изменения сказываются на вариациях температур сравнительно больших глубин. Например, похолодания и потепления в четвертичном периоде влияли на тепловой режим Земли до глубины 3–4 км.

Если не учитывать многовековых климатических изменений, то можно считать, что ниже зоны постоянных температур влиянием цикличности солнечной активности можно пренебречь, а температурный режим



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



177

Назад

Закреть

пород определяется глубинным потоком тепла и особенностями термических свойств пород. Для характеристики изменения температуры с глубиной введен геотермический градиент (нарастание температуры в градусах Цельсия на единицу глубины) и геотермическая ступень (глубина в метрах, на протяжении которой температура увеличивается на  $1^{\circ}\text{C}$ ). Значения геотермического градиента различны в разных местах земного шара. Средним считается градиент  $30^{\circ}\text{C}$  на 1 км, а крайние значения диапазона различаются более чем в 25 раз, что объясняется различной эндогенной активностью земной коры и различной теплопроводностью горных пород. Наибольший геотермический градиент, равный  $150^{\circ}\text{C}$  на 1 км, отмечен в штате Орегон (США), а наименьший ( $6^{\circ}\text{C}$  на 1 км) – в Южной Африке. Наибольшие значения геотермического градиента связывают с подвижными зонами океанов и континентов, а наименьшие – с наиболее устойчивыми и древними участками континентальной коры. Вопрос о [распределении температур в мантии и ядре Земли](#) еще не решен, поэтому высказываются различные мнения. Предполагается, что ниже астеносферы температура закономерно повышается при значительном уменьшении геотермического градиента. Температуру оценивают по данным вулканизма, по электропроводимости и температуре плавления веществ, составляющих мантию и ядро. По представлениям одних ученых, температура на глубине 100 км составляет около  $1300^{\circ}\text{C}$ , на глубине 410 км –  $1500^{\circ}\text{C}$ , на глубине 670 км –  $1800^{\circ}\text{C}$ , на границе ядра и мантии –  $2500^{\circ}\text{C}$ , на глубине



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



178

Назад

Закреть

5150 км – 3300 °С, в центре Земли – 3400 °С, другие считают, что температура в центре ядра Земли достигает 5000 °С.

*Электропроводность* в осадочном чехле меняется в широких пределах и зависит от содержания металлических минералов в рудах. На глубинах в сотни метров она зависит от кристаллической структуры, а на глубинах в сотни километров – от температуры (растет с ее увеличением). Литосферный слой характеризуется относительно пониженной проводимостью и повышенным значением электрического сопротивления ( $\rho > 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ). Литосфера в отличие от более глубоких горизонтов наименее однородна по составу, структуре и физическим свойствам. На глубине 50–200 км происходит резкое увеличение электропроводности на полтора-два порядка, что свидетельствует о появлении слоя пониженной вязкости, который называют астеносферой. Нижняя половина верхней мантии (подастеносферная мантия, 200–350 км) опять характеризуется пониженной электропроводностью и повышенным сопротивлением ( $\rho > 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ). Электропроводность в интервале глубин 400–600 км увеличивается скачкообразно на 2–3 порядка. Данный проводящий слой выделяется повсеместно. Его природу связывают с превращениями силикатных пород в вещественные составы из более плотных минеральных фаз со структурами шпинели и окислов. Принято считать, что ядро Земли состоит из железа: жидкого – во внешнем ядре и твердого – в ядре внутреннем. Согласно этому представлению, на границе ядро – мантия должен иметь место скачок в электропроводности.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



179

Назад

Закреть

Оболочки Земли различаются и по *радиоактивности*. Большая часть радиоактивных элементов сосредоточена в гранито-метаморфическом слое земной коры, в базальтовом слое их меньше примерно в 10 раз, а в мантии и в ядре еще меньше. Таковы основные представления о физических параметрах Земли, сложившиеся к настоящему времени.

### 2.3.2 Определение возраста горных пород

В основе методов определения абсолютного возраста горных пород лежит явление самопроизвольного превращения радиоактивного изотопа одного элемента в стабильный изотоп другого. Суть методов состоит в определении соотношений между количеством радиоактивных элементов и количеством устойчивых продуктов их распада в горной породе. По скорости распада изотопа, которая для определенного радиоактивного изотопа есть величина постоянная, количеству радиоактивных и образовавшихся стабильных изотопов, рассчитывается время  $t$ , прошедшее с начала образования минерала или породы:

$$t = \frac{1}{\lambda} \left( \ln \frac{P}{N} + 1 \right),$$

где  $\lambda$  – постоянная, характеризующая скорость распада данного элемента,  $P$  – количество образовавшихся продуктов распада,  $N$  – количество не распавшихся радиоактивных изотопов. Кроме постоянной распада  $\lambda$ , при определении возраста горных пород широко используется период



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



180

Назад

Закреть

полураспада  $T$  – время, за которое число распадающихся атомов убывает наполовину. Период полураспада  $T$  связан с постоянной распада  $\lambda$  соотношением:

$$T = \frac{0,693}{\lambda}.$$

Определение концентрации радионуклидов производится разными лабораторными методами ядерной геофизики. Для определения возраста горных пород используются многие радиоактивные изотопы: U-238, U-235, K-40, Rb-87, Sm-147 и др. Названия изотопно-геохронологических методов обычно образуются из названий продуктов распада (свинцовый, гелиевый метод) или из названий радиоактивных изотопов и конечных продуктов их распада (уран-свинцовый, калий-аргоновый и др.).

Одним из первых **способов определения абсолютного возраста** был *свинцовый метод*, основанный на изучении процессов распада изотопов уран-238, уран-235 и торий-232. По соотношению этих элементов и изотопов свинца, образующихся в результате их радиоактивного распада, удается с высокой точностью установить время появления горной породы. Однако урановые и ториевые минералы (уранинит, монацит, циркон, ортит) недостаточно стойкие, легко разрушаются и, кроме того, не так уж часто встречаются в природе.

На подсчете содержания в породе продуктов радиоактивного распада урана и тория основан и другой метод, получивший название *гелиевого*.



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



181

Назад

Заккрыть

И уран и торий выделяют при распаде гелий. В геохронологической лаборатории определяется количество скопившегося в породе радиогенного гелия, находится отношение его к общему содержанию урана и тория. Затем вычисляется, сколько должно было пройти лет, чтобы в исследуемом веществе установилось наблюдаемое соотношение этих элементов. Гелий хорошо сохраняется в магнитном железняке, самородном железе, а также в некоторых силикатных минералах, приуроченных к обогащенным железом магматическим горным породам. Удалить гелий из таких пород можно лишь продолжительным действием высокой температуры. Но зато из остальных минералов этот газ легко улетучивается, и поэтому абсолютный возраст, определенный гелиевым методом, как правило, оказывается заниженным. Это обстоятельство заставило искать другие, более надежные геологические часы.

Вскоре ленинградскими учеными был внедрен *аргоновый* метод, который основан на распаде радиоактивного изотопа К-40 (период полураспада 1,25 млрд лет) и образовании благородного газа аргона. Минералов, содержащих калий, в природе очень много. Поэтому аргоновый метод быстро нашел широкое применение. Но в то же время стало известно, что при перекристаллизации горных пород, а также под действием давления аргон легко улетучивается. Следовательно, на древних отложениях, которые на протяжении истории Земли могли неоднократно подвергаться нагреванию и сжатию, калий-аргоновый метод может привести к серьезным ошибкам в определении времени формирования.



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



182

Назад

Закреть

Для устранения этого недостатка был разработан *кальциевый* метод. Радиогенный изотоп кальция (кальций-40) образуется в результате бета-распада калия-40. Отношение количеств этих двух изотопов и принимается в качестве показателя возраста минералов.

Определение возраста древних, докембрийских пород нередко осуществляется с помощью *рубидий-стронциевого* метода. Он основан на превращении рубидия-87, период полураспада которого очень велик (50 млрд лет), в стронций-87. Самостоятельных минералов рубидий не образует, но он настолько часто сопутствует калию, что большинство калиевых минералов являются пригодными для определения возраста этим методом. Существует еще один геохронологический метод, который использует превращение рения-187 в осмий-187. Правда, рений довольно редко встречается в земной коре. Но значительные его количества приурочены к минералу молибдениту, который часто находят в кварцевых жилах и кристаллических гранитоидных породах. Все новые и новые изотопы находят применение при определении абсолютного возраста. Для исследования скорости накопления осадочных пород применяются протактиний-231 и торий-230. С помощью этих же изотопов сравнивается возраст удаленных друг от друга геологических разрезов и уточняются эпохи нашествия холода. Уран-234 и уран-238 нашли применение при датировании новейших морских и озерных отложений. Для определения возраста редкоземельных минералов оказалась пригодной пара самарий-147 – неодим-143.



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



183

Назад

Закреть



Как уже было отмечено выше, при определении возраста появляется много проблем. Прежде всего, радиоактивные элементы и изотопы встречаются в горных породах в очень небольших количествах. Поэтому для их определения и подсчетов необходимы исключительно точные приборы. Кроме того, за многие миллионы лет горные породы подвергались воздействию различных процессов, которые могли значительно изменить их химический состав. Если минералы находились на поверхности Земли, они выветривались, растрескивались, разрушались. Если, наоборот, они попадали в глубинные слои земной коры, то они могли подвергаться процессам метаморфизма. При этом могло изменяться и количество радиоактивных атомов. Следовательно, цифры, полученные самыми точными методами для таких образцов, еще не означают действительный абсолютный возраст горной породы. Поэтому для определения возраста пород используется не один, а несколько независимых методов. В настоящее время наиболее точным считается самарий-неодимовый метод, основанный на распаде изотопа  $\text{Sm-147}$  с образованием в качестве конечного продукта распада  $\text{Nd-144}$ . В силу геохимических особенностей данные элементы наименее подвержены влиянию наложенных процессов, часто значительно искажающих или сводящих на нет результаты определений возраста, поэтому самарий-неодимовый метод принят в качестве стандарта, с которым сравниваются данные других методов.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



184

Назад

Закреть

### 2.3.3 Поиски полезных ископаемых

Месторождения полезных ископаемых характеризуются местоположением, глубиной залегания, формой, составом полезного ископаемого и вмещающих пород, геодинамическим состоянием массива, структурно-текстурными, физико-механическими (твёрдость, прочность, пластичность и др.), водно-физическими (пористость, проницаемость, коэффициент фильтрации и др.) свойствами. Этими факторами определяются геофизические свойства (плотность, намагниченность, электропроводность, теплопроводность и др.) полезных ископаемых и их окружающих горных пород. Контрастность физических свойств полезных ископаемых и вмещающих пород, наряду с геометрическими параметрами структур, содержащих полезные ископаемые, является причиной появления геофизических аномалий, что обеспечивает возможность поиска месторождений.

Поиск полезных ископаемых – важнейший раздел прикладной геофизики. В зависимости от объекта поиска геофизика делится на *нефтегазовую, рудную, нерудную и угольную*.

В настоящее время основные ассигнования на геофизические исследования идут от нефтяных и газовых корпораций. Традиционно основными методами нефтегазовой геофизики являются сейсмические методы, которые обходятся в 3–10 раз дешевле и осуществляются во столько же раз быстрее, чем поиски и разведка месторождений только бурением.



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



185

Назад

Закреть

В большинстве случаев нефть и газ приурочены к структурам в виде куполов, поэтому поисковые сейсмические работы сводятся, прежде всего, к выявлению этих структур, отличающихся своими физическими свойствами от окружающих пород.

Предпосылкой для использования гравиразведки при поиске нефти и газа является наличие дефекта плотности нефтегазонасыщенных толщ по отношению к вмещающим водонасыщенным пластам. При наличии газа плотность в объеме залежи по сравнению с остальной частью коллектора уменьшается на  $0,1\text{--}0,3 \text{ г/см}^3$ , а при наличии нефти – на  $0,05\text{--}0,1 \text{ г/см}^3$ . Над мелкими и средними месторождениями гравитационный эффект варьирует от нескольких сотых до нескольких десятых мГал, а над крупнейшими месторождениями достигает  $1,0\text{--}2,5 \text{ мГал}$ . Указанный гравитационный эффект фиксируется в интегральном поле, на формирование которого влияют плотностные неоднородности различных горизонтов разреза от поверхности до фундамента включительно, а также рельеф различных горизонтов. Выделение гравитационного эффекта залежи в большинстве случаев затруднено и не может быть оценено однозначно.

Геоэлектрический эффект нефтяных и газовых залежей обусловлен в первую очередь тем, что сопротивление нефте- и газонасыщенных пластов может превосходить сопротивление водонасыщенных в 100 раз и более. Средняя величина, характеризующая возрастание сопротивления нефтегазоносных пластов, считается равной 10. Надежное выделение



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



186

Назад

Закреть

таких пластов повышенного сопротивления часто затруднено из-за наличия в разрезах пластов с высоким сопротивлением, не связанных с углеводородами. Из многочисленных высокоомных зон, фиксируемых на геоэлектрических разрезах, в общем случае невозможно однозначно выделить антиклинали, обусловленные залежами нефти и газа.

Магнитные свойства нефти и газа мало отличаются от окружающих пород, следовательно, магнитные аномалии от залежей невелики. Иногда в нефтяной залежи присутствует определенное количество радиоактивных минералов, поэтому в комплексе с другими геофизическими методами для поисков применяется гамма-съемка.

Значительная часть рудных полезных ископаемых обладает экстремальными физическими свойствами – очень высокой или крайне низкой электропроводностью, теплопроводностью, плотностью и др., что отражается в электрических, тепловых, гравитационных полях и определяет возможность использования геофизики при поиске руд. Поиск железорудных месторождений – задача, лучше всего решаемая магниторазведкой, так как месторождения выделяются интенсивными (сотни и тысячи нанотесл) аномалиями (рисунок [2.49](#)).

Исследования обычно начинают с проведения аэромагнитных съемок, в результате которых устанавливают основные закономерности в распределении месторождений. Кроме магниторазведки на железорудных месторождениях успешно применяется гравиразведка, результатом которой являются значительные положительные аномалии силы тяжести



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



187

Назад

Закреть

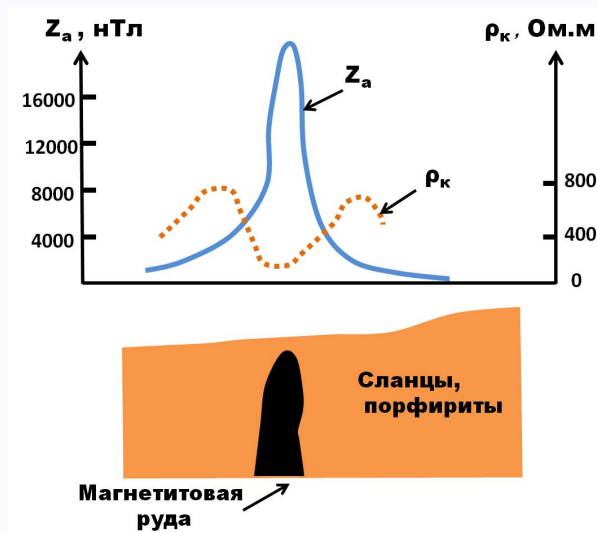


Рисунок 2.49 – Графики аномального магнитного поля ( $Z_a$ ) и кажущегося электрического сопротивления ( $\rho$ ) на железорудном месторождении

за счет высокой плотности рудных минералов. Например, из-за высокой плотности хромитов гравиразведка практически является единственным методом поисков хромитовых руд.

При поиске полиметаллических сульфидных, медноникелевых, марганцевых руд, бокситов, платины, вольфрама, молибдена применяют магниторазведку. Это оказывается возможным благодаря тому, что в рудах в качестве примесей часто содержатся ферромагнитные минералы или же они сами обладают повышенной магнитной восприимчивостью. Успешное применение магнитной съемки для разведки перечисленных



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



188

Назад

Закреть

выше руд зависит не только от магнитных параметров руд, но и свойств окружающих пород. Иногда вмещающие породы имеют непостоянные и повышенные значения магнитной восприимчивости, и эффективность магниторазведки резко снижается. В состав таких руд часто входят минералы, которые характеризуются повышенной проводимостью и поляризуемостью (сульфиды железа, меди, никеля, свинца, молибдена, а также магнетит, ильменит, самородные металлы и др.), что является условием успешного применения электроразведочных методов.

В настоящее время особую актуальность приобретает проблема повышения эффективности поисков золотого оруденения. В качестве поисковых критериев при выделении золотоперспективных участков выступают аномалии повышенной поляризуемости горных пород, интенсивные отрицательные аномалии потенциала естественного электрического поля, линейные зоны понижения интенсивности магнитного поля, отражающиеся в физических полях тектонические нарушения и узлы их пересечения. Для каждого региона характерны свои физико-геологические особенности проявления и локализации золотого оруденения, определяющие рациональные комплексы геофизических исследований. Практически везде в применяемые комплексы геофизических методов включены магниторазведка, электропрофилирование в различных модификациях, электроразведка методами естественного электрического поля и вызванной поляризации; реже используются гравиразведка, гамма-спектрометрическая съемка, сейсморазведка.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



189

Назад

Закреть

Для поисков радиоактивных руд применяются радиометрические и ядерно-геофизические методы в комплексе с магниторазведкой, а иногда и электроразведкой. Аэрогамма-спектрометрическая съемка позволяет выделить урановую, ториевую и калиевую составляющие радиоактивного поля.

К нерудным полезным ископаемым относятся свыше 200 минералов и горных пород (алмаз, слюда, корунд, графит, флюорит, боксит, соли натрия, калия, фосфорит, глина, песок, известняк и др.).

Алмазы приурочены к кимберлитам, залегающим в форме трубообразных залежей. При разрушении этих залежей образуются алмазоносные россыпи самого разнообразного происхождения. Кимберлит представляет собой брекчию, в которую входят обломки различных магматических, метаморфических и осадочных пород. Большинство трубок характеризуются устойчивыми, но слабо повышенными значениями магнитной восприимчивости, которая может проявляться в наблюдаемых магнитных полях аномалиями интенсивностью в среднем не более первых нТл. Такие аномалии обычно выделяются с помощью аэромагниторазведки (рисунок 2.50) и наземной магнитной съемки (рисунок 2.51). Алмазоносные кимберлитовые трубки обладают также устойчивым повышенным значением вызванной поляризации, поэтому в комплекс исследований входит электроразведка.

При поиске нерудных ископаемых широкое применение находит гравиразведка. Соляные купола явились первыми объектами для



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



190

Назад

Закреть



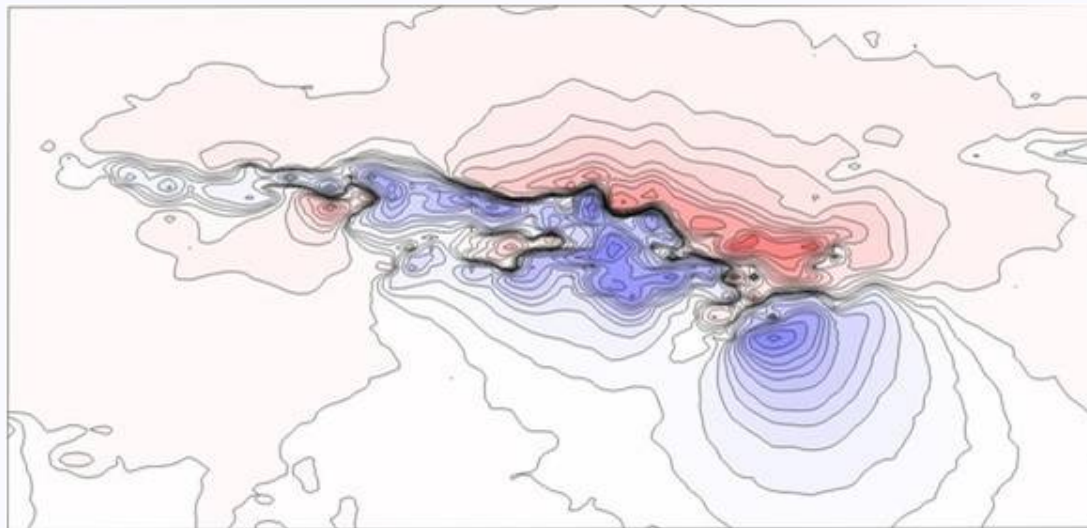


Рисунок 2.50 – Магнитное поле над трубкой взрыва

применения гравиразведки. Каменная соль при больших давлениях очень пластична. Под действием давления залегающих выше горных пород она выдавливается и прорывает перекрывающие пласты горных пород в наиболее слабом месте. При этом горные породы, ранее залегавшие горизонтально, образуют купола. Плотность каменной соли обычно значительно меньше плотности вмещающих ее горных пород. Поэтому над куполами ускорение свободного падения уменьшается.

При поиске корунда, обладающего высокой твердостью, тоже очень эффективна гравиразведка. Поскольку плотность корунда равна  $3,95\text{--}4,10 \text{ г/см}^3$ , а плотность вмещающих пород не превышает



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



191

Назад

Закреть

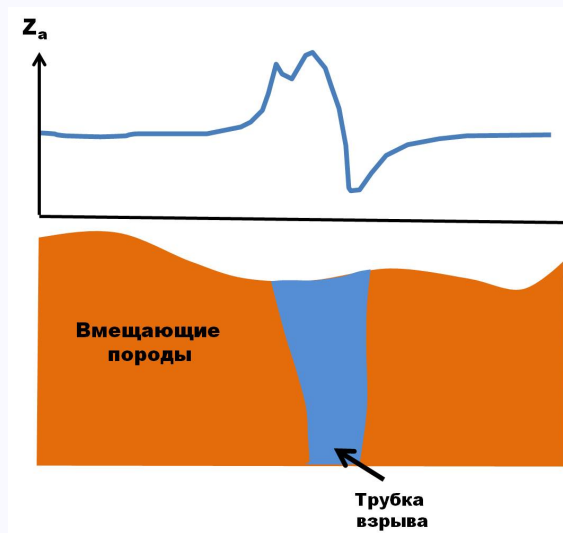


Рисунок 2.51 – Магнитная аномалия над трубкой взрыва

2,6–2,8 г/см<sup>3</sup>, то над месторождением корунда отмечается увеличение ускорения свободного падения. Интенсивными положительными аномалиями часто выделяются пегматитовые, кварцевые, баритовые жилы, месторождения слюды, марганца, боксита и других ископаемых. А мощные, неглубоко залегающие, угольные пласты выделяются минимумами силы тяжести за счет малой плотности углей ( $\sigma = 1,1$  г/см<sup>3</sup>). Но в большинстве случаев применение только одного из геофизических методов не позволяет решить задачу поиска месторождений однозначно. В зависимости от особенностей исследуемого района поиск месторождений осуществляется различными комплексами методов.



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



192

Назад

Закреть

### 2.3.4 Инженерная геофизика

В 50–60 годах 20 века в геофизике сложилось новое направление – *инженерная геофизика*, которая занималась исследованием верхней части геологического разреза, в среднем до глубины 20–30 м, в основном для строительства наземных и подземных сооружений. За последние годы произошли качественные сдвиги в геофизических методах, направленных на изучение верхней части разреза. Прежде всего, изменилась материальная приборная база исследований. Получили развитие новые методы (георадиолокационное профилирование, аудио-МТЗ, ядерно-магнитный резонанс и др.). Сильно изменилось качество аппаратуры: она стала цифровой, портативной, легкой, сопрягаемой с персональным компьютером, многофункциональной, то есть многометодной. Значительно расширился круг задач, решаемых инженерной геофизикой, появились разделы – гидрогеологическая, гидромелиоративная, инженерно-геологическая, горная, техническая геофизика. Геофизические исследования стали выполняться с целью поиска и разведки подземных вод, при мелиоративных работах, изучении карстовых и трещиноватых зон, для определения мощности ледовых покровов, для слежения за состоянием наземных и подземных сооружений и т. д.

Возможность поисков и разведки подземных вод геофизическими методами обусловлена тем, что с повышением водонасыщенности горных пород увеличивается их электропроводность и скорость



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



193

Назад

Закреть

распространения упругих волн, меняется поляризуемость. Не только поиск, но и изучение движения подземных вод доступно геофизике. Для этого воду через скважину подсаливают. При этом понижается удельное электрическое сопротивление водного горизонта, которое прослеживается с помощью электроразведки. Если вода замерзает, то удельное электрическое сопротивление горных пород, содержащих влагу, резко увеличивается. Так, если песчаники с природной влагой имеют сопротивление 200–400 Ом·м, то в мерзлом состоянии их удельное сопротивление возрастает более чем в 10 раз и составляет 3000–5000 Ом·м. Часто под действием воды происходит разрушение карбонатных горных пород с образованием различного рода пещер и трещин, что обуславливает резкое изменение электрических свойств закарстованных районов и возможность применения электроразведки.

В неглубоких скважинах (10–30 м) с установившимся температурным режимом проводятся инженерно-гидрогеологические геотермические исследования. Получаемые геотермические профили и карты служат для оконтуривания мерзлых и талых горных пород, для определения скорости, коэффициента фильтрации подземных вод и пр.

В настоящее время наиболее широко методы инженерной геофизики применяются в городском и промышленном строительстве. Строительство превратилось в глобальный процесс, темпы и масштабы которого катастрофически растут, что связано с внедрением в практику новых методов и технологий, которые, в свою очередь, обеспечивают



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



194

Назад

Закреть

решение все более сложных строительных задач. Для выбора применения той или иной технологии требуется получение предварительной информации об инженерно-геологических условиях участка строительства, а довольно часто и проведение экспериментальных исследований. Для получения этой информации не обойтись без геофизических исследований, с помощью которых создается геофизическая модель условий залегания горных пород, изучаются их свойства и состояние, определяются характеристики подземных вод, исследуются изменения с течением времени в результате деятельности человека. Для тяжелых сооружений нужен очень крепкий фундамент. С виду прочные и крепкие камни могут иметь трещины, пустоты, ослабленные зоны, которые обычно заполняются водой. А вода значительно снижает удельное электрическое сопротивление вмещающих горных пород. Поэтому там, где планируется строительство, например, гидроэлектростанции или жилого дома, проводится электроразведка. Ее результаты по изучению удельного электрического сопротивления горных пород помогают определить участки нарушенных ослабленных пород. Для сооружения очень опасны породы с включениями графита. Под действием давления фундамент может «заскользнуть» по графитовым чешуйкам. Чтобы этого не произошло, надо провести геофизические исследования. Даже после того как объект построен, могут возникнуть какие-то проблемы. В фундаментах и стенах строений появляются трещины, а подземные сооружения, сделанные из металла, подвергаются коррозии. Найти причину этих



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



195

Назад

Закреть

проблем помогает геофизика. Практически все методы геофизической разведки находят применение при проектировании зданий и сооружений, в процессе их строительства и эксплуатации. В последнее время широко используются быстро развивающиеся методы (электромагнитные, акустические и ультразвуковые), отличающиеся небольшой глубиной (1–5 м), но очень высокой разрешающей способностью. Их стали называть методами диагностики строительных конструкций. Значительный интерес представляют методы измерения физических полей техногенного происхождения (вибродинамических, электромагнитных, температурных и др.), высокая интенсивность которых может приводить к изменению свойств грунтов и материалов и ускорять течение ряда неблагоприятных процессов и явлений, например, таких как просадки. При проведении геофизических работ довольно часто появляются проблемы, обусловленные недостатком места для проведения наземных исследований, высоким уровнем помех и высокой интенсивностью строительных работ. В связи с этим в ряде случаев предпочтение отдается геофизическим методам в неглубоких скважинах (до 20 м), которые исследуют околоскважинное и межскважинное пространство. Использование скважинных методов, как правило, не препятствует ходу строительных работ и не требует освобождения значительного пространства поверхности от техники и строительных материалов.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



196

Назад

Заккрыть

### 2.3.5 Археологическая геофизика

Объектами *археологических поисков* являются фундаменты несохранившихся сооружений, могильники, затонувшие суда, древние стоянки людей, клады, оружие разных времен, предметы быта и многое другое [15]. Большинство объектов находятся под землей на небольшой глубине. Следовательно, их можно обнаружить с помощью раскопок. Но это потребует очень много времени. Кроме того, не зная точного местоположения, их можно полностью уничтожить, ведь они и так находятся в полуразрушенном состоянии. Основным и, пожалуй, решающим преимуществом, благодаря которому геофизические методы завоевывает все большее и большее признание в археологии, является то, что они позволяют выявить ценный объект, не нарушая поверхностного слоя почвы и самого объекта поисков. Использование современных геофизических методов позволяет обнаружить его местоположение с большой точностью. Применение геофизики в несколько раз сокращает объем земляных работ, следовательно, снижает стоимость археологической разведки. Вторым существенным преимуществом геофизики является практически неограниченная глубинность.

Предпосылкой успешного применения геофизических методов является контрастность свойств объектов и среды. Например, известно, что керамика часто магнитна, так как изготавливается из глины, содержащей магнетит, а бронзовые предметы отличаются хорошей



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



197

Назад

Заккрыть



электропроводностью. Для поиска применяются различные геофизические методы, но наиболее универсальными и эффективными являются магниторазведка и электроразведка. В настоящее время более 60 % археологических памятников обследуется с помощью магниторазведки. Одним из современных методов исследований является георадиолокационный метод, физической основой которого является отражение высокочастотного электромагнитного сигнала от границ раздела в верхней части геологического разреза, в том числе отражение от контуров археологических объектов.

Геофизика не только обнаруживает археологические объекты, но и определяет их возраст. В большинстве случаев эта задача является очень сложной, особенно при изучении стоянок первобытных людей. Часто возраст определяется с использованием радиоактивного изотопа углерода  $C^{14}$ . У растений и животных в течение их жизни происходит постоянное поступление углерода в организм, в том числе и радиоактивного. В результате устанавливается постоянное отношение количества обычного и радиоактивного углерода. После того, как растение или животное отмирает, поступление углерода из атмосферы прекращается, а содержание радиоактивного изотопа  $C^{14}$  уменьшается вследствие его распада (период полураспада  $C^{14}$  равен 5568 лет). Измеряя процентное содержание радиоактивного изотопа углерода  $C^{14}$ , можно сделать вывод о возрасте археологических объектов. Многие археологические объекты с высокой термоостаточной намагниченностью (очаги, печи, горны)



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



198

Назад

Закреть

«запоминают» положение магнитного поля, существовавшего во время их нагрева. Это позволяет путем проведения палеомагнитных исследований сопоставлять археологическую находку с соответствующим данному положению поля историческим временем.

### 2.3.6 Экологическая и медицинская геофизика

**Экологическая геофизика** – это раздел прикладной геофизики, изучающий экологически опасные природные, природно-техногенные и техногенные явления и процессы в сферах Земли в целях оценки их воздействия на состояние биосферы путем исследования естественных и искусственных физических полей [12].

Земля – это космическое тело. Она состоит из сфер, обволакивающих одна другую: ядра, мантии, земной коры, гидросферы, атмосферы. Все сферы взаимно пронизаны. Механизм взаимодействия геосфер исключительно сложен. Лучистая энергия Солнца – один из главных источников этого всепланетарного механизма. Образовавшись из общего исходного космического вещества, сферы обособились в процессе длительной геологической эволюции планеты, но продолжают взаимодействовать друг с другом. Природные геологические процессы и антропогенная деятельность воздействуют как на отдельные геосферы, так и на всю планету в целом.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



199

Назад

Заккрыть

Ежегодно в мире происходят сотни извержений вулканов, которые сопровождаются землетрясениями, образованием трещин, оползней, обвалов и т. п. Земля продолжает пополнять свой запас за счет метеоритов и космической пыли, которых на Землю ежедневно падает около 10–20 тонн. Согласно новой глобальной тектонике, несколько жестких гигантских плит перемещаются на поверхности размягченной астеносферы. Непрерывно меняется химический состав недр: так, уран и торий в процессе естественного распада превращаются в свинец и гелий. Перераспределение минерального вещества на поверхности Земли связано с естественными процессами водной и ветровой эрозии. Природные процессы и сегодня представляют потенциальную опасность для планеты и населения.

Антропогенная деятельность усиливает многие естественные процессы и явления. Земля загрязняется выхлопными газами, дымом от пожаров, нефтью и нефтепродуктами, поверхностно-активными веществами, тяжелыми металлами, маслами. Очень опасное загрязнение связано с авариями на АЭС, захоронением радиоактивных отходов, испытанием ядерного оружия. Накопленное во всем мире ядерное и другое оружие способно несколько раз разрушить Землю. Из земных недр извлекается огромное количество минеральных ресурсов при добыче полезных ископаемых, при строительстве водохранилищ, подземных и наземных сооружений. А в земле формируется новый – антропогенный – тип грунтов мощностью до нескольких десятков метров, который называют



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



200

Назад

Закреть

«культурным слоем». Этот «слой» содержит остатки деятельности человека: древние сооружения, строительный и хозяйственный мусор, золу, погребения умерших людей и животных и т. д. «Культурный слой» современных городов формируется за счет булыжных и асфальтовых покрытий, битого кирпича, камня и стекла, строительного мусора, предметов домашнего обихода и т. п. Составной частью «культурного слоя» являются останки массовых захоронений людей – жертв пандемий, мировых и локальных войн, политических репрессий. Человек изменил ландшафты, климат, физическое состояние и химический состав атмосферы, гидросферы, земных недр. Произошли серьёзные сдвиги в экологическом равновесии.

Мощное по масштабам и возможным последствиям воздействие человека на природу поставило человечество перед необходимостью принятия научно разработанных мер по спасению среды обитания живых организмов и первую очередь людей. Такие меры принимаются экологической геофизикой. Геофизическая информация отличается объективностью, достаточно высокой точностью, воспроизводимостью, оперативностью, возможностью проведения дистанционных и повторных измерений, наличием хорошо разработанных компьютерных технологий интерпретации.

Одна из задач [экологической геофизики](#) – выполнение районирования, которое включает районирование территории по типам геологического разреза, особенностям палеорельефа, гидрогеологическим и



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



201

Назад

Закреть

сейсмостектоническим условиям, по степени защищенности литосферы от техногенного воздействия; выявление ослабленных, разуплотненных, проницаемых участков, активных динамических зон; выделение очагов загрязнения геологической среды и прогнозирование развития неблагоприятных техногенных процессов. Эколого-геофизическое районирование сводится к созданию модели, которая позволяет представить отдельные элементы и особенности структуры природно-техногенной системы совокупностью геофизических полей и параметров.

С помощью геофизических методов проводятся эколого-геофизические исследования при поиске, разведке и разработке полезных ископаемых, а также при поиске различных искусственных подземных объектов, изучаются природные и техногенные геодинамические процессы (извержения вулканов, землетрясения, уплотнение и разрушение горных пород, обвалы, осыпи, оползневые процессы, карстовые явления, криогенные процессы и пр.).

Еще одна задача экологической геофизики – выявление химического загрязнения почв, грунтов, коренных пород и подземных вод твердыми и жидкими отходами, которые образуются при разведке и эксплуатации скважин, шахт и рудников, в ходе промышленного и сельскохозяйственного производства, при разливах нефтепродуктов, от стоков горнопромышленных предприятий.

Прежде всего, геофизикой изучается одна из современных экологических проблем – проблема техногенного физического загрязнения



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



202

Назад

Закреть

геосфер. Жизнь на Земле возникла в условиях влияния естественных физических полей (гравитационного, магнитного, теплового и др.), к непрерывному воздействию которых живые организмы хорошо приспособились за длительное время своего существования. В настоящее время, благодаря влиянию человеческой деятельности, наблюдается устойчивая тенденция к сдвигу энергетического баланса в сторону искусственных полей. Техногенное физическое загрязнение можно определить как суммарный энергетический потенциал искусственно создаваемых (техногенных) физических полей, значительно превосходящий по величине потенциал естественных геофизических полей и оказывающий в силу этого негативное воздействие на окружающую среду, инженерные сооружения, живые организмы и организм человека.

Техногенное физическое загрязнение наиболее характерно для крупных городов, промышленных районов и других интенсивно используемых территорий. Основными видами такого загрязнения является шумовое, вибрационное, тепловое, электрическое, электромагнитное, радиационное загрязнение.

Основным и повсеместным источником шумового загрязнения является наземный, подземный, воздушный транспорт, промышленные предприятия, строительные машины, механизмы.

Вибрация, или динамическое, механическое воздействие на среду, создается многочисленными и разнообразными источниками, наиболее значимыми из которых являются движущиеся транспортные средства,



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



203

Назад

Закреть

оборудование промышленных предприятий, строительные машины и механизмы, техническое оборудование зданий и инженерных сооружений. Воздействие поля вибрации непосредственно на грунтовые массивы может приводить к изменению рельефа поверхности, снижению механической прочности пород или, наоборот, к их уплотнению. Длительное вибрационное воздействие способно вызывать или активизировать экзогенные геологические процессы, такие, например, как оползни и обвалы на крутых склонах, карст, проседание поверхности.

Источниками теплового загрязнения могут служить горячие цеха и подземные газоходы металлургических предприятий, теплотрассы, метро, обогреваемые подземные сооружения, сбросы горячих технологических вод в реки и открытые водоемы и др. С другой стороны, охладителями грунтовой толщи могут являться установки, используемые для промораживания грунтов при строительстве, подземные хранилища сжиженного газа и др. Воздействие теплом или холодом на грунтовую толщу создает предпосылки для формирования тепловых куполов под большими городами, способствует проявлению таких экзогенных геологических процессов, как термопросадки, термокарст, деградация многолетней мерзлоты, образование наледей.

Атмосферное статическое электричество связано с ионизацией воздуха. При ионизации некоторое число молекул газов становится аэроионами и несет положительный или отрицательный электрический заряд. В естественных условиях ионизация воздуха происходит под действием



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



204

Назад

Закреть



газовых (радон, гелий и др.) излучений Земли, космического и ультрафиолетового солнечного излучения. Отношение количества положительных аэроионов к количеству отрицательных называют коэффициентом униполярности. В нормальных условиях коэффициент не больше 1,20. Превышение этой величины свидетельствует об экологическом загрязнении атмосферы. Наблюдения показывают, что в пределах промышленных зон концентрация тяжелых положительных аэроионов значительно выше, чем в пригородных лесных массивах или на территориях парков.

Электрическое загрязнение окружающей среды блуждающими токами создается разными источниками, например, электрифицированными железными дорогами, различными энергоустановками. Оно способствует электрохимической коррозии заземленных металлических и бетонных конструкций, потере их несущей способности, приводит к более быстрому выходу из строя подземных коммуникаций, в том числе различных трубопроводов.

Электромагнитное полевое загрязнение создается источниками тока промышленной частоты (50 и 400 Гц), а также неионизирующими излучениями (радиорелейными, радиоволновыми и телевизионными в диапазоне 0,100 МГц – 300 ГГц). Реальная опасность облучения электромагнитным полем для людей еще недостаточно изучена. Однако в полосе шириной 60–90 м под высоковольтными линиями электропередач и в пределах прямой видимости радио- и телепередающих антенн и особенно антенн радиолокаторов возможно опасное облучение.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



205

Назад

Закреть

Источниками естественного радиационного поля являются космические лучи и ионизирующее излучение природных радиоактивных веществ, содержащихся в почве, горных породах, воде, воздухе. К естественному радиационному фону добавляется техногенное ионизирующее излучение, поступающее в окружающую среду от строительных материалов с повышенной радиоактивностью, от складированных отходов атомного производства и т. п. Корпускулярное ионизирующее излучение (альфа- и бета-излучение) земного, естественного и искусственного происхождения имеет ограниченный радиус действия (от нескольких сантиметров в породах до нескольких метров в воздухе) и по этой причине играет меньшую, хотя и наиболее опасную роль в формировании радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Существенным фактором радиационного воздействия на все виды животного и растительного мира является гамма-излучение, распространяющееся на большие расстояния и обладающее высокой проникающей способностью. Действие гамма-излучений зависит от интенсивности источника излучения и от расстояния до него. Вблизи земной поверхности мощность дозы естественного ионизирующего излучения варьирует от 3 до 25 мкР/ч. В условиях промышленно-городских агломераций этот фон может несколько увеличиваться за счет излучения строительных материалов (бутового и облицовочного камня, гранитного щебня и т. п.), используемого бытового газа и водопроводной воды.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



206

Назад

Закреть

Изучение характеристик техногенных физических полей проводится сейсмическими, электромагнитными, тепловыми, радиометрическими методами как в наземном, так и в воздушном и скважинном вариантах. Оценка загрязнения сводится к определению параметров источников загрязнения и размеров зон их влияния. Для шумового, вибрационного и электромагнитного полей обычно измеряются частотные и амплитудные характеристики соответствующих полей, тогда как для теплового, электрического и радиационного полей проводится измерение лишь одного параметра – температуры (в термометрии), напряженности поля (в электрометрии), мощности дозы ионизирующего излучения (в радиометрии). В результате проведения геофизических съемок в окрестностях источников определяются размеры зон влияния источников. Проведение многократных измерений в течение длительного времени позволяет получать пространственно-временные характеристики источников техногенного физического загрязнения.

Результаты геофизических наблюдений представляются в виде графиков, показывающих изменение измеряемых параметров техногенных физических полей вдоль профилей, или в виде карт, планов и схем, отображающих пространственное изменение параметров. Далее ведется разделение исследуемой территории на участки, различающиеся по уровню техногенного физического воздействия, по степени физического загрязнения и, соответственно, по сформировавшейся экологической ситуации.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



207

Назад

Закреть

Степень техногенного физического загрязнения, его физическое воздействие, а также создавшаяся экологическая обстановка и условия жизнедеятельности людей оцениваются посредством условного деления всего диапазона изменения условий на четыре категории: низкая, средняя, высокая и очень высокая степень загрязнения; слабое, умеренное, сильное и опасное воздействие; экологическая норма, экологический риск, экологический кризис и экологическое бедствие; комфортные, дискомфортные, очень дискомфортные и опасные условия для жизнедеятельности людей.

В целях оценки и прогнозирования экологически опасных природных, природно-техногенных и техногенных процессов выполняется геофизический мониторинг. Обычно геофизический мониторинг используется для получения оперативной информации, позволяющей выявить изменения, происходящие в различных сферах Земли, с точки зрения их соответствия допустимым нормам и критериям качества и безопасности окружающей среды. Прогноз этих изменений во времени дает возможность принять оперативные управленческие решения по стабилизации неблагоприятных техногенных воздействий или защите от природных геологических катастроф. Основными задачами геофизического мониторинга являются: наблюдение за геофизическими полями; выделение составляющих, обусловленных техногенными факторами; выделение аномалий геофизических полей, обусловленных развитием экологически опасных геологических процессов; прогнозирование состояния



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



208

Назад

Закреть

геологической среды на ближайшую и отдаленную перспективы. В настоящее время в организации геофизического мониторинга применяются комплексы методов с различной физической основой и различных технологий. Среди последних можно выделить комплексы, использующие дистанционные (космические и аэровысотные), наземные, аквальные, подземные (скважинные и шахтные) технологии. Такие важные особенности указанных комплексов, как различная обзорность, разномасштабность, разрешающая способность и детальность получаемой информации, дают возможность осуществлять многоуровневый (от глобального до детального уровня) пространственный мониторинг природных и природно-техногенных процессов.

**Медицинская геофизика** – это раздел экологической геофизики, предназначенный для исследования влияния естественных (природных) и искусственных (техногенных) физических полей на здоровье людей.

Еще М.В. Ломоносов видел причины многих заболеваний в воздействии неблагоприятных атмосферных факторов, особенно температурных. Однако фактически медицинская геофизика начала формироваться в 20 веке, когда были научно обоснованы представления о воздействии физических полей на сложные биогеохимические процессы в организме человека. Было доказано, что жизнь и здоровье людей зависят как от естественных геофизических, так и от накладывающихся на них искусственных физических полей.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



209

Назад

Заккрыть

Преобладающей формой существования природных геологических процессов и геофизических полей на Земле является спокойная, стационарная, фоновая, эволюционная форма, которую называют нормальной. Лишь около 5 % процессов являются аномальными, беспокойными, катастрофическими. Для разных физических полей Земли нормальная составляющая интенсивности меняется на земной поверхности по-разному. Так, например, полный вектор напряженности магнитного поля на полюсах Земли в два раза больше, чем на экваторе, а разница в силе тяжести составляет примерно 0,5 % . В целом интенсивность нормальных физических полей в разных регионах остается устойчивой.

В результате изменений солнечной активности, солнечно-лунных приливов, внутриземных геологических движений и других процессов возникают квазипериодические (ритмичные) и импульсные (аперiodические) изменения (вариации) физических полей. В ходе эволюции произошла синхронизация ритмичных геофизических полей с внутренними автоколебательными процессами (вибрациями) у людей и животных, у которых наблюдаются многолетние, годовые, сезонные, месячные, лунно-суточные, часовые, минутные, секундные и меньшие по времени биовибрации.

В период катастроф, магнитных и ионосферных бурь, штормов и других резких изменений физических полей нормальные природные ритмы людей нарушаются. Кроме того, на них накладываются поля, обусловленные антропогенно-техногенной деятельностью. Установлено, что



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



210

Назад

Закреть

эти нарушения могут быть восстановлены путем воздействия на людей низкочастотными магнитными и электрическими полями определенных амплитуд и спектров, т. е. за счет «навязывания» болеющему организму таких же биоритмов, как у здоровых людей. Тесная взаимосвязь ритмов естественных геофизических полей и биологических процессов, их влияние на здоровье человека предопределило новые направления развития медицинской геофизики. Они связаны с организацией службы прогнозирования гелиокосмической обстановки, и прежде всего солнечной активности, слежения за патогенными вариациями геофизических полей, а также с разработкой регистрирующей аппаратуры, физиотерапевтических и лекарственных средств для нейтрализации неблагоприятных геофизических воздействий.

В настоящее время созданы специальные приборы и методика наблюдений для осуществления медицински ориентированного мониторинга естественных и техногенных геофизических полей в клинических условиях, а также для выявления и слежения за превышающими санитарные нормы геофизическими аномалиями на локальных территориях, конкретных объектах, в жилых и производственных помещениях. Так, например, для проведения электромагнитного мониторинга в клинических условиях успешно применяются диагностические магнитометры, индикаторы магнитных бурь, индикаторы электромагнитной обстановки, регистраторы магнитной активности и другие приборы. Их использование в режиме мониторинга позволяет выявлять клинические особенности



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



211

Назад

Закреть



кардиологических болезней у магнитозависимых людей и давать рекомендации по их лечению. Служба слежения за электромагнитной обстановкой, организованная на базе крупных клиник, дает возможность оперативного геофизического прогнозирования для данного региона. Необходимая информация обычно поступает в региональные средства массовой информации. Данные клинического геофизического мониторинга позволяют оказать своевременную помощь людям, имеющим повышенную чувствительность к изменениям естественного электромагнитного поля в период геомагнитных возмущений и бурь. Данные локального и детального геофизического мониторинга, проводимого на территориях и объектах с повышенным уровнем техногенного электромагнитного загрязнения, помогают выявить контингент магнитозависимых людей и принять меры по предупреждению возможных заболеваний.

Большой интерес для медицины представляют данные геофизического мониторинга в зонах разрывных нарушений, в местах развития современных экзогенных геологических процессов, где аномалии естественных импульсных электромагнитных полей Земли сопровождаются также аномалиями гравитационного поля и повышенной эманацией природных радиоактивных газов. Детальное обследование и геофизический мониторинг производственных, жилых и офисных помещений дают возможность определить естественное или техногенное происхождение геофизических аномалий и дать медицински обоснованные рекомендации по защите от вредных излучений.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



212

Назад

Закреть

### 2.3.7 Геофизические работы в Беларуси

В Беларуси геофизика применяется при решении очень многих задач. Геофизические экспедиции (Центральная геофизическая экспедиция в Колодищах Минского района и Геофизическая экспедиция в Минске) проводят глубинное геологическое картирование земной коры и верхней мантии, занимаются поисками и разведкой полезных ископаемых (**видеоматериал**), детальными геофизическими исследованиями при подготовке перспективных объектов к поисковому бурению, работами по подготовке объектов для создания подземных хранилищ газа и строительства атомной станции, проводят геофизические исследования при решении мелиоративных, экологических и других задач [4], [6]. Экспедиции участвуют в выполнении международных проектов по изучению земной коры и верхней мантии, проводят также геофизические работы в России, Венесуэле и других странах.

*Геофизический мониторинг* является составной частью Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь [11], и проводится по следующим направлениям:

*сейсмический мониторинг*, который представляет собой систему непрерывных круглосуточных наблюдений за происходящими сейсмическими событиями естественного и искусственного происхождения;

*геомагнитный мониторинг*, включающий периодические наблюдения за геодинамическими процессами на полигонах и непрерывные



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



213

Назад

Заккрыть

стационарные наблюдения за текущим состоянием геомагнитных полей;  
*мониторинг гравитационного поля Земли;*  
*радиационный мониторинг.*

**Сейсмологические исследования** направлены на изучение причин происхождения землетрясений; определение кинематических и динамических параметров очагов землетрясений, волновой картины и глубинной среды; оценку степени сейсмических воздействий; разработку методов предсказания землетрясений. Сейсмологический мониторинг в непрерывном режиме осуществляется в геофизических обсерваториях «Плещеницы» (сейсмическая станция «Минск») и «Нарочь», на сейсмических станциях «Солигорск», «Полоцк», «Могилёв», «Литвяны» (рисунок 2.52).

Сейсмическая станция «Минск» расположена в 65 км к северу от города Минска на окраине городского поселка Плещеницы Логойского района. Высота над уровнем моря составляет 196 м. Грунт под геофизической обсерваторией – моренные суглинки. Наблюдения проводятся с 3 января 1963 года. Сейсмометры установлены на фундаментах, углубленных в землю на 1,5 м. Фундаменты не соприкасаются с полом или другими жесткими конструкциями здания. На станции круглосуточно находится дежурный наблюдатель. Сейсмическая станция «Нарочь» находится в 166 км к северо-западу от города Минска вблизи населенного пункта Теляки Мядельского района. Высота над уровнем моря 189 м. Грунт под станцией – супесь моренная. Наблюдения проводятся



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

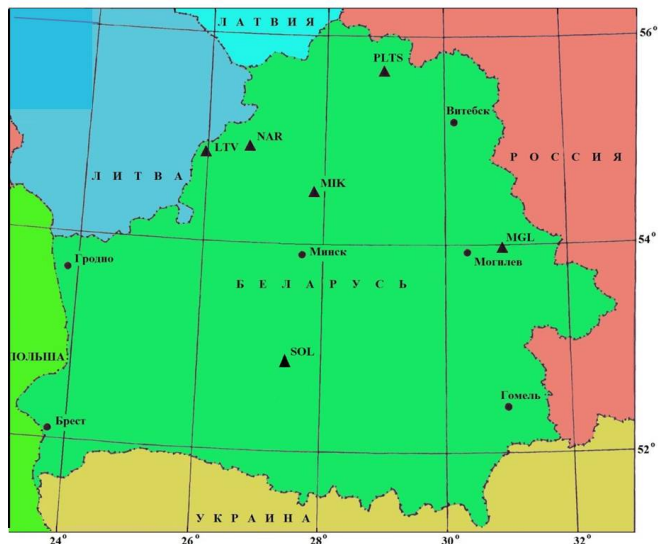
Приложение



214

Назад

Закреть



MIK – Минск (Плещеницы), NAR – Нарочь, SOL – Солигорск, PLTS – Полоцк,  
MGL – Могилев, LTV – Литваны

Рисунок 2.52 – Сеть сейсмических станций

с 17 августа 1979 года. Сейсмометры установлены в специально оборудованном выносном бункере на глубине 6 м от поверхности земли. На станции круглосуточно находится дежурный наблюдатель.

Сейсмическая станция «Солигорск» находится в 116 км к юго-востоку от города Минска, в Солигорском районе. Наблюдения проводятся с 1 января 1983 года. Сейсмоприёмники сейсмической станции установлены в соляной шахте второго рудоуправления объединения «Беларуськалий». Для этой цели выделен штрек в промышленной зоне третьего



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



215

Назад

Закреть

калийного горизонта на глубине 600 м от земной поверхности (–436 м от уровня моря). Цифровой регистратор установлен в здании рудоуправления. Связь с сейсмометрами осуществляется по телефонной линии с помощью специальной аппаратуры передачи данных. Режим работы автоматический.

Сейсмическая станция «Полоцк» расположена в 216 км к северо-востоку от города Минска, в населённом пункте Кополь Полоцкого района. Высота над уровнем моря 187 м. Наблюдения проводятся с 6 октября 2006 года. Режим работы автоматический. Сейсмическая станция «Могилёв» расположена в 216 км к востоку от города Минска, в населённом пункте Рагозинка Чаусского района. Высота над уровнем моря 206 м. Наблюдения проводятся с 1 марта 2007 года. Режим работы автоматический.

Сейсмическая станция «Литвяны» расположена в 144 км к западу от города Минска, в населённом пункте Литвяны Островецкого района. Высота над уровнем моря 155 м. Наблюдения проводятся с 15 февраля 2008 года. Режим работы автоматический.

Анализ многолетних сейсмологических наблюдений [13] показывает, что территория Беларуси в соответствии с сеймотектоническим районированием относится к слабоактивной зоне. Максимальное значение магнитуды – относительной энергетической характеристики – выявленных очагов сейсмических событий не превышает 4,5 баллов. Основная часть событий приурочена к зоне сочленения северо-западной части



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



216

Назад

Закреть

Припятского прогиба и Белорусской антеклизы (Солигорский горнопромышленный район и окружающая его территория). Сопоставление пространственного распределения очагов землетрясений с тектонической характеристикой региона показывает, что сейсмические события проявляются вдоль разломов различного направления, а также сконцентрированы в зонах их пересечения, т. е. слабые землетрясения в общих чертах трассируют разломы. Результаты наблюдений показывают приуроченность землетрясений к суперрегиональным разломам Стоходско-Могилевскому и Северо-Припятскому, к региональным – Ляховичскому, Речицкому, Червонослободско-Малодушенскому, Копаткевичскому, Шестовичскому. Отдельные эпицентры землетрясений попадают в зоны пересечения субмеридиональных и субширотных разломов.

Геомагнитные исследования, направленные на изучение векового хода составляющих магнитного поля Земли, проводятся в Беларуси на геофизической обсерватории «Плещеницы». По данным наблюдений ежегодно составляется обзор состояния геомагнитного поля, который включает таблицы среднечасовых и среднесуточных значений элементов геомагнитного поля, описание магнитных бурь и их характеристик.

Магнитное склонение в режиме мониторинга измеряется на обсерватории «Плещеницы» и на 13 пунктах векового хода геомагнитного поля. Результаты измерений на обсерватории Плещеницы показывают, что **магнитное склонение** существенно изменяется во времени. Оно увеличилось с  $5^{\circ}02,7'$  в 1960 году до  $7^{\circ}35,6'$  в 2010 году (рисунок 2.53). В среднем



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



217

Назад

Заккрыть

магнитное склонение наращивается с градиентом около 3–4 минут в год, хотя на отдельных временных интервалах рост достигает 6–8 минут в год. Это согласуется с данными наблюдений на других европейских обсерваториях (например, в Лондоне, Париже и Риме за последние 100 лет скорость роста магнитного склонения составляет около 6–8 минут в год). Результаты наблюдений на Плещеницкой обсерватории и Бельской обсерватории в Польше выявили практически одинаковый ход кривых изменения скорости магнитного склонения во времени. Это обстоятельство свидетельствует об общем для Белорусско-Польского региона внешнем факторе возмущающего влияния на геомагнитное поле. Модуль полного вектора геомагнитного поля имеет четкую тенденцию к увеличению с течением времени. При этом средние скорости изменения геомагнитного поля за последние десятилетия на обеих обсерваториях практически одинаковы (24,5 нТл/год на Плещеницкой обсерватории и 25,4 нТл/год – на Бельской). Аналогичные скорости наблюдаются и на украинских магнитных обсерваториях: Одесса – 21,5 нТл/год, Львов – 25,7 нТл/год, Димер – 22,3 нТл/год.

В соответствии с Государственной программой развития Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь с целью определения степени современных тектонофизических процессов в зонах глубинных разломов в 2006 году были созданы *пять локальных геофизических полигонов* (Полоцкий, Краснослободский, Лидский, Борисовский, Глушкевичский), которые пересекают пять



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



218

Назад

Заккрыть



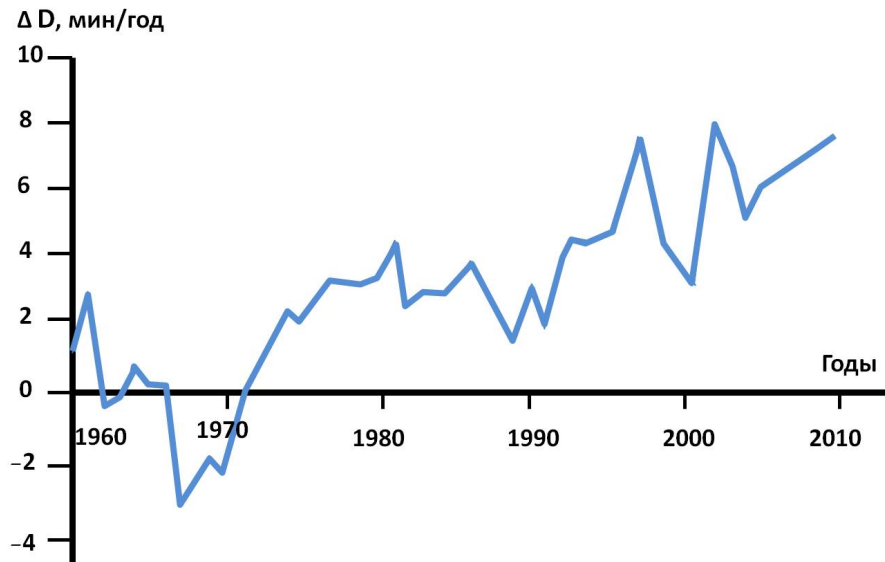


Рисунок 2.53 – Изменение скорости магнитного склонения на обсерватории Плещеницы

крупнейших разломов (Полоцкий, Краснослободский, Кореличский, Чашникский, Южно-Припятский). Система геофизических пунктов расположена вдоль профилей, секущих глубинные разломы. Именно в таких местах особенно активно проявляются современные глубинные тектонические процессы. На геофизических полигонах получают информацию об изменениях во времени и пространстве гравитационного и магнитного полей, выявляют участки аномального поведения этих полей. Анализ



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



219

Назад

Закреть

результатов наблюдений показывает, что на Полоцком полигоне явно выделяются северный и южный локально активные блоки, включающие активный Туровлянский разлом. Локальное проявление процессов гравитационной и магнитной активности отмечено на бортах Краснослободского, Кореличского, Чашникского разломов.

Геофизика применяется при проведении радиационного мониторинга, который осуществляется с целью наблюдений за естественным радиационным фоном; радиационным фоном в районах воздействия потенциальных источников радиоактивного загрязнения, в том числе для оценки трансграничного переноса радиоактивных веществ; радиоактивным загрязнением атмосферного воздуха, почвы, поверхностных и подземных вод на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



220

Назад

Закрыть

# Часть 3

## Семинарские занятия

### Занятие 1

*Тема: История геофизических исследований*

#### *План занятия*

1. Время зарождения геофизики.
2. Первые геофизические съемки.
3. Первые женщины-геофизики.
4. Геофизические исследования Курской магнитной аномалии.
5. Международные геофизические проекты.
6. Международные полярные годы.
7. Международный геофизический год.
8. Геофизические исследования других планет.
9. Состояние и основные направления современной геофизики.
10. История геофизических исследований в Беларуси.

#### *Вопросы для контроля знаний*

1. **Тест** по теме «История геофизических исследований» .



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



221

Назад

Закрыть

## Занятие 2

**Тема:** *Сущность геофизики. Разновидности геофизических методов*

### **План занятия**

1. Сущность геофизики. Геофизические поля.
2. Классификация геофизики.
3. Связь геофизики с другими науками.
4. Задачи геофизики.
5. Достоинства и недостатки геофизических методов.
6. Наземные геофизические методы.
7. Морская геофизика.
8. Геофизические методы исследования скважин.
9. Аэрокосмические геофизические методы.

### **Вопросы для контроля знаний**

1. **Тест** по теме «Сущность геофизики. Разновидности геофизических методов».



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



222

Назад

Закреть

# Часть 4

## Лабораторные занятия

### Занятие 1

**Тема:** Построение геофизических карт

#### *План занятия*

1. Построение карты эквипотенциальных линий естественного электрического поля в масштабе 1 : 1 000 по данным геофизических измерений, представленным в таблице 4.1 или таблице 4.2, соответствующей варианту задания . Расстояние между профилями (ПР) – 30 м. Расстояние между пикетами (ПК) – 30 м. Сечение изолиний – 10 мВ.

2. Качественная интерпретация карты эквипотенциальных линий естественного электрического поля.

#### *Вопросы для контроля знаний*

1. Расположение геофизических профилей и пикетов на местности.
2. Изолинии и сечение изолиний. Выбор сечения изолиний.
3. Оцифровка изолиний.
4. Цвета раскраски геофизических карт.



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



223

Назад

Закреть

Таблица 4.1 – Значения потенциалов электрического поля в мВ  
(вариант 1)

	ПР 1	ПР 2	ПР 3	ПР 4	ПР 5	ПР 6
ПК 1	22	27	35	27	27	27
ПК 2	28	35	41	36	28	27
ПК 3	34	44	52	52	37	33
ПК 4	32	36	37	35	33	27
ПК 5	32	32	27	27	27	27

Таблица 4.2 – Значения потенциалов электрического поля в мВ  
(вариант 2)

	ПР 1	ПР 2	ПР 3	ПР 4	ПР 5	ПР 6
ПК 1	34	25	14	5	14	24
ПК 2	33	24	14	14	17	32
ПК 3	35	27	18	32	28	37
ПК 4	342	36	27	34	38	42
ПК 5	42	39	39	42	42	42



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



224

Назад

Закреть

## Занятие 2

**Тема:** Гравитационное поле

### План занятия

1. Построение карты аномального гравитационного поля в масштабе 1 : 10 000 по данным приращений силы тяжести  $\Delta g$ , представленным в таблице 4.3 или таблице 4.4, соответствующей варианту задания. Расстояние между профилями (ПР) – 300 м. Расстояние между пикетами (ПК) – 300 м. Сечение изолиний – 5 мГал.

2. Построение графика приращений силы тяжести  $\Delta g$  по линии, указанной преподавателем.

3. Качественная интерпретация карты аномального поля силы тяжести Енисейского кряжа (рисунок 4.1).

### Вопросы для контроля знаний

1. Сила тяжести и гравитационное поле.
2. Единицы измерения силы тяжести.
3. Нормальное и аномальное поле.
4. Гравитационные аномалии Земли.
5. Форма Земли и понятие геоида.
6. **Тест** по теме «Гравитационное поле».



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



225

Назад

Заккрыть



Таблица 4.3 – Приращения силы тяжести  $\Delta g$  в мГал  
(вариант 1)

	ПР 1	ПР 2	ПР 3	ПР 4	ПР 5	ПР 6
ПК 1	20	25	31	26	25	25
ПК 2	23	32	42	33	26	25
ПК 3	36	47	54	54	37	33
ПК 4	32	36	37	35	31	27
ПК 5	32	31	27	29	27	28

Таблица 4.4 – Приращения силы тяжести  $\Delta g$  в мГал  
(вариант 2)

	ПР 1	ПР 2	ПР 3	ПР 4	ПР 5	ПР 6
ПК 1	31	25	16	7	14	24
ПК 2	33	24	14	16	17	32
ПК 3	38	27	18	32	29	37
ПК 4	42	35	27	34	39	42
ПК 5	42	39	41	42	46	42



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



226

Назад

Закреть

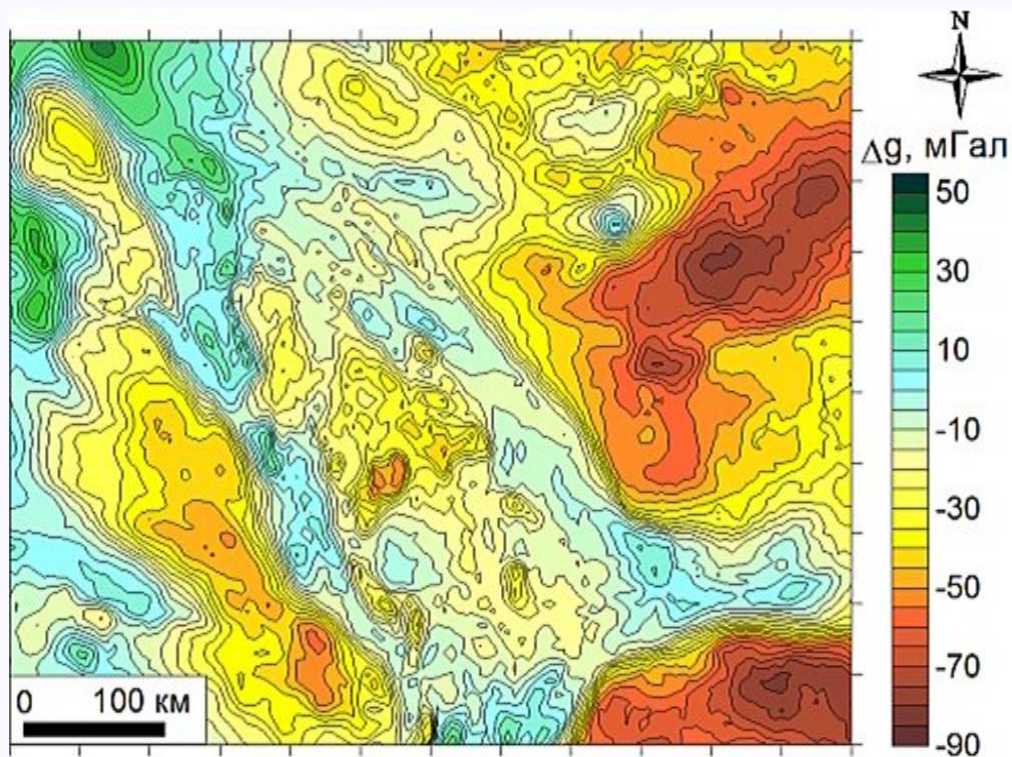


Рисунок 4.1 – Карта аномального поля силы тяжести Енисейского края



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



227

Назад

Заккрыть

## Занятие 3

**Тема:** *Магнитное поле*

### **План занятия**

1. Построение графиков изменения элементов магнитного поля (склонения  $D$ , наклонения  $I$ , напряженности магнитного поля  $T$ ) по данным измерений в обсерватории Плещеницы (таблица 4.5). Определение скорости вариаций магнитного склонения  $D$ , магнитного наклонения  $I$ , напряженности магнитного поля  $T$ . Анализ годовых и вековых вариаций элементов геомагнитного поля, полученных в обсерватории Плещеницы.

2. Качественная интерпретация карты аномального магнитного поля Земли (рисунок 4.2).

### **Вопросы для контроля знаний**

1. Природа геомагнитного поля.
2. Нормальное магнитное поле Земли.
3. Магнитные аномалии.
4. Геомагнитные вариации.
5. Магнитный полюс, магнитный экватор. Миграция полюсов.
6. Магнитное склонение, магнитное наклонение.
7. Палеомагнетизм и археомагнетизм.
8. Магнитные карты. Изодинамы. Изотоны. Изоклины.
9. **Тест** по теме «Магнитное поле» .



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



228

Назад

Закреть

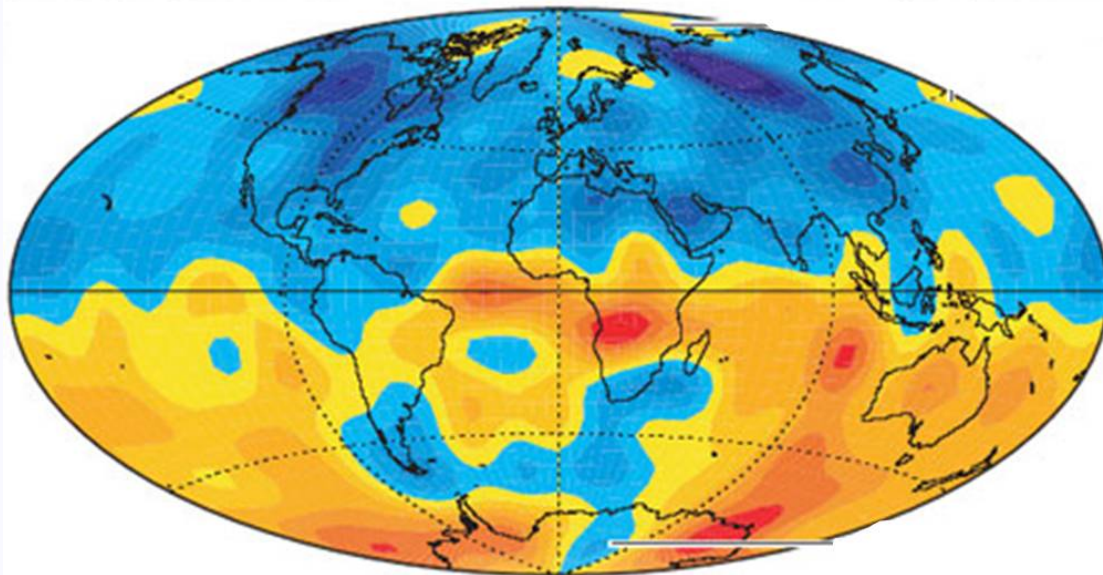


Рисунок 4.2 – Карта аномального магнитного поля Земли



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



229

Назад

Заккрыть

Таблица 4.5 – Элементы магнитного поля по данным измерений в  
обсерватории Плещеницы

Год	D	I	T, нТл
1875	–3°20′	66°51′	47610
1904	–1°07′	66°53′	48270
1927	1°40′	67°48′	48250
1938	3°07′	68°28′	48630
1945	3°47′	68°47′	49080
1947	3°55′	68°56′	49240
1948	4°01′	68°57′	49280
1954	4°38′	69°00′	49310
1959	4°53′	69°02′	49580
1960	4°55,7′	69°02,2′	49621
1970	4°53,4′	69°00,7′	49848
1980	5°18,4′		50150
1990	5°48,4′		50300
2000	6°31,6′		50590
2009	7°25,1′		50860
2010	7°35,6′		50892
2011	7°43,0′		50927



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



**230**

Назад

Заккрыть

## Занятие 4

**Тема:** Построение геолого-геофизического разреза

### **План занятия**

1. Построение геофизического разреза Земли на основании скоростей продольных и поперечных волн для одной из сейсмических моделей (таблицы 4.6 , 4.7 ).
2. Построение геолого-геофизического разреза Земли на основании сейсмических данных и общих сведений о внутреннем строении Земли.
3. Сравнение и анализ скорости продольных и поперечных волн, скорости волн в земной коре, мантии и ядре.
4. Сравнение и анализ различных сейсмических моделей Земли.

### **Вопросы для контроля знаний**

1. Понятие геолого-геофизического разреза.
2. Природа сейсмических полей.
3. Типы сейсмических волн.
4. Различие скорости продольных и поперечных волн.
5. Сущность сейсмических методов.
6. Сейсмографы. Сейсмоприемники.
7. Глубинность сейсмологии и сейсморазведки.
8. Сейсмические модели Земли. Сейсмические границы.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



231

Назад

Закреть

Таблица 4.6 – Скорости волн  $V_P$  и  $V_S$  на разных глубинах для модели Земли PREM

Н, км	$V_P$ , км/с	$V_S$ , км/с	Н, км	$V_P$ , км/с	$V_S$ , км/с
20	8.11	4.49	2000	12.82	6.93
40	8.10	4.48	2400	13.28	7.11
80	8.08	4.67	2700	13.62	7.24
150	8.03	4.44	2780	13.69	7.26
220	7.99	4.42	2850	13.71	7.26
220	8.56	4.64	2885	13.72	7.26
300	8.69	4.70	2885	8.06	0
400	8.91	4.77	3000	8.25	0
400	9.13	4.93	3400	8.83	0
500	9.65	5.22	3800	9.31	0
600	10.16	5.52	4200	9.69	0
640	10.22	5.55	4800	10.14	0
640	10.22	5.55	5000	10.27	0
670	10.27	5.57	5150	10.36	0
670	10.75	5.95	5155	11.03	3.50
800	11.11	6.26	5200	11.05	3.52
1000	11.46	6.40	5400	11.11	3.56
1400	12.06	6.63	6200	11.26	3.66
1600	12.33	6.74	6371	11.26	3.67



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



232

Назад

Закреть



Таблица 4.7 – Скорости волн  $V_P$  и  $V_S$  на разных глубинах для модели Земли АК 135

Н, км	$V_P$ , км/с	$V_S$ , км/с	Н, км	$V_P$ , км/с	$V_S$ , км/с
0.00	1.45		908.50	11.30	6.32
3.30	5.8	3.2	1997.50	12.80	6.92
10.00	6.8	3.9	2542.00	13.42	7.20
18.00	6.8	3.9	2891.50	13.66	7.28
18.00	8.03	4.48	2891.50	8.00	0.00
120.00	8.05	4.50	3291.65	8.65	0.00
210.00	8.30	4.52	3894.30	9.20	0.00
410.00	9.03	4.87	4449.26	9.90	0.00
410.00	9.36	5.08	5153.50	10.28	0.00
610.00	10.03	5.50	5153.50	11.04	3.50
660.00	10.20	5.61	5559.60	11.15	3.59
660.00	10.79	5.96	5965.30	11.23	3.65
710.00	10.92	6.09	6371.00	11.26	3.68



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



**233**

Назад

Заккрыть

## Занятие 5

**Тема:** Геологическая интерпретация геофизических аномалий

### **План занятия**

1. Качественная интерпретация результатов аэрогеофизических исследований в районе золото-кварцевого месторождения, представленных на рисунках 4.3, 4.4, 4.5. Определение регионального фона геофизических полей и выявление геофизических аномалий. Выяснение коррелируемости геофизических аномалий, полученных различными геофизическими методами. Выделение блоковых структур, разрывных нарушений, рудных тел, отображающихся в геофизических полях. Установление геологической природы аномалий геофизических полей.

### **Вопросы для контроля знаний**

1. Понятие о комплексировании геофизических методов.
2. Общие положения методики геологической интерпретации комплексных геофизических данных.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение

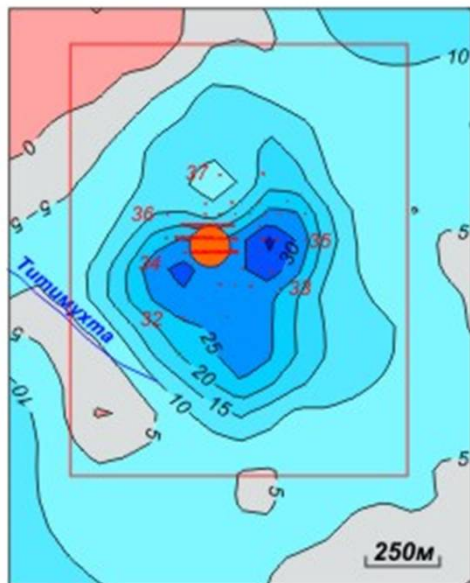


234

Назад

Закреть

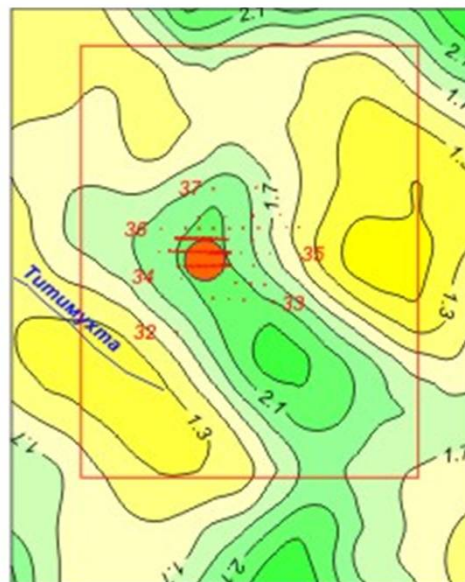
## Магнитное поле



Шкала интенсивности, нТл



## Содержание калия (гамма-спектрометрия)



Шкала содержаний, %

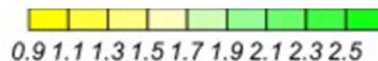


Рисунок 4.3 – Результаты магнитной съемки и гамма-спектрометрии



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение

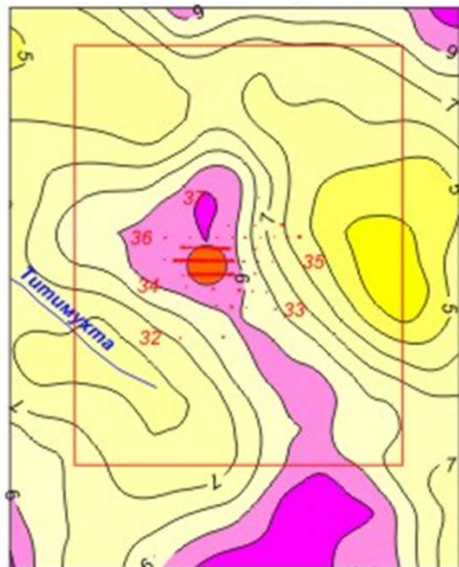


235

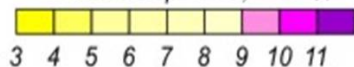
Назад

Закреть

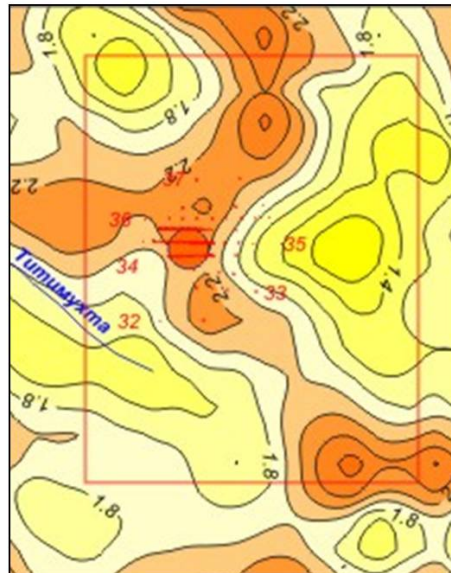
## Содержание тория ( гамма-спектрометрия)



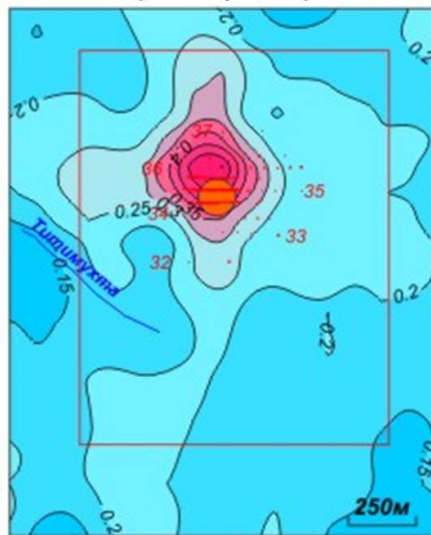
Шкала содержаний,  $n \cdot 10^{-4} \%$



## Содержание урана ( гамма-спектрометрия)



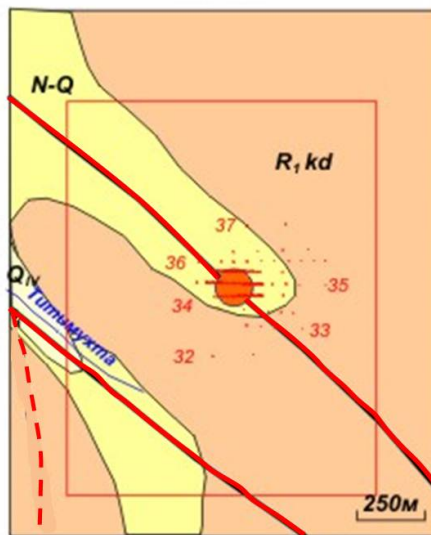
## Поле эффективных температур (геотермия)



Шкала интенсивности, °C

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5

## Обзорная геологическая карта



- Центральная часть месторождения
- Проектные скважины
- Разрывные нарушения

Рисунок 4.5 – Результаты геотермии и геологическая карта



Кафедра  
физической  
географии

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



237

Назад

Заккрыть

## Занятие 6

**Тема:** *Определение абсолютного возраста горных пород*

### **План занятия**

1. Определение абсолютного возраста горной породы, если по данным ядерно-геохронологических измерений с помощью уран-свинцового метода отношение количества атомов изотопа свинца-206 к количеству атомов урана-238 в исследуемом образце горной породы составляет 0,04. Период полураспада урана-238 – 4,46 млрд лет.

2. Определение абсолютного возраста горной породы, если по данным ядерно-геохронологических измерений с помощью калий-аргонового метода отношение количества конечных продуктов распада к количеству распадающихся радиоактивных элементов в исследуемом образце горной породы составляет 0,05. Период полураспада калия-40 – 1,40 млрд лет.

### **Вопросы для контроля знаний**

1. Сущность ядерной геохронологии.
2. Радиоизотопные методы определения возраста молодых и древних образований.
3. Причины погрешностей в определении возраста горных пород.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



**238**

Назад

Заккрыть

## Часть 5

### Список тем для самостоятельной подготовки

1. Связь геофизики с географией.
2. Знаменитые геофизики.
3. Геофизические журналы и издания.
4. Геофизические эмблемы.
5. Искусственные (техногенные) геофизические поля.
6. Современные сейсмические модели Земли.
7. Мировая сейсмическая система.
8. Сейсмичность Беларуси.
9. Невзрывные источники сейсмических сигналов.
10. Первые сейсмоскопы и сейсмографы.
11. Из истории изучения магнитного поля.
12. Первые измерения магнитного поля в Беларуси И.Н. Смирновым.
13. Первые упоминания о применении магнетита в качестве компаса.
14. Нейтринный метод исследования Земли.
15. Геофизические исследования атмосферы и гидросферы.
16. Геофизические исследования Луны.
17. Исследование космического пространства.
18. Геофизическое исследование загрязнения окружающей среды.
19. Гидрогеологическая и гидрометеорологическая геофизика.
20. Инженерно-геологическая геофизика.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



239

Назад

Закреть



21. Мерзлотно-гляциологическая геофизика.
22. Археологическая и техническая геофизика.
23. Медицинская геофизика.
24. Первые геофизические работы на территории Беларуси.
25. Геофизическая обсерватория «Плещеницы».
26. Геофизический мониторинг в Беларуси.
27. Геофизические экспедиции в Беларуси.
28. Геофизические исследования на нефть и другие полезные ископаемые в Беларуси.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



240

Назад

Закрыць

## Часть 6

### Вопросы к зачету

1. Сущность геофизики.
2. Геофизические поля.
3. Физические свойства минералов и горных пород.
4. Классификация геофизики.
5. Связь геофизики с другими науками.
6. Задачи, решаемые с помощью геофизических методов.
7. Достоинства и недостатки геофизических методов.
8. История геофизических исследований.
9. Состояние и перспективы развития геофизики.
10. Геофизические методы.
11. Основы гравиметрии. Гравитационное поле Земли.
12. Принципы измерения силы тяжести.
13. Форма Земли и понятие геоида.
14. Физические основы магнитометрии.
15. Магнитное поле Земли.
16. Принципы измерения магнитного поля.
17. Геомагнитные вариации. Магнитные аномалии.
18. Магнитное склонение и магнитное наклонение.
19. Магнитный экватор и магнитный полюс.
20. Палеомагнитные и археомагнитные измерения.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



241

Назад

Закреть

21. Электромагнитное поле Земли.
22. Сущность сейсмических методов. Сейсмическая модель Земли.
23. Радиометрические и ядерно-геофизические методы.
24. Главные радиоактивные изотопы Земли.
25. Геотермия.
26. Тепловое поле Земли и его источники.
27. Комплексирование геофизических методов.
28. Геофизические методы исследования скважин.
29. Дистанционные аэрокосмические геофизические методы.
30. Основные направления применения геофизических методов.
31. Строение Земли по геофизическим данным.
32. Определение возраста горных пород.
33. Поиски полезных ископаемых геофизическими методами.
34. Инженерная геофизика.
35. Экологическая и медицинская геофизика.
36. Геофизические исследования в Беларуси.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



242

Назад

Закрыть

## Литература

1. Аэрогамма-спектрометрический метод поисков рудных месторождений : метод. руководство / В.П. Воробьев [и др.]. – Л. : Недра, 1977. – 216 с.
2. Вольвовский, Б.С. Краткий справочник по полевой геофизике / Б.С. Вольвовский, Н.Я. Кунин, Е.И. Терехтин. – М. : Недра, 1977. – 391 с.
3. Геофизика : учебник / под ред. В.К. Хмелевского. – 2-е изд. – М. : КДУ, 2009. – 320 с.
4. Геофизические исследования на нефть в Белорусской ССР / редкол.: Р.Г. Гарецкий (отв. редактор) [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1984. – 188 с.
5. Гурвич, И.И. Сейсмическая разведка : учебник для вузов / И.И. Гурвич, Г.Н. Богданик. – М. : Недра, 1980. – 551 с.
6. Зубов, С.М. Основы геофизики ландшафта / С.М. Зубов. – Минск: Вышэйшая школа, 1985. – 135 с.
7. Инструкция по магниторазведке (наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка) / М-во геологии СССР. – Л. : Недра, 1981. – 263 с.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



243

Назад

Закреть

8. Книжников, Ю.Ф. Аэрокосмические методы географических исследований : учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Ю.Ф. Книжников, В.И. Кравцова, О.В. Турбалина. – М. : Академия, 2004. – 336 с.
9. Логачев, А.А. Магниторазведка / А.А. Логачев, В.П. Захаров. – Л. : Недра, 1979. – 351 с.
10. Миронов, В.С. Курс гравиразведки / В.С. Миронов. – Л. : Недра, 1982. – 512 с.
11. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2010 / под общей редакцией С.И. Кузьмина, В.В. Савченко. – Минск : Бел НИЦ «Экология». – 2011. – 308 с.
12. Основы экологической геофизики / В.И. Трухин [и др.]. – СПб. : Лань, 2004. – 384 с.
13. Сейсмологические и геотермические исследования в Белоруссии / АН БССР, Ин-т геохимии и геофизики, редкол.: Р.Г. Гарецкий [и др.]. – Минск, 1985. – 136 с.
14. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика) : справочник геофизика / под ред. Н.Б. Дортман. – М. : Недра, 1984. – 455 с.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



244

Назад

Закреть

15. Франтов, Г.С. Занимательная геофизика / Г.С. Франтов, Ю.С. Глебовский. – М. : Недра, 1987. – 128 с.
16. Цесевич, В.П. Международный геофизический год / В.П. Цесевич. – М. : Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1957. – 136 с.
17. Якубовский, Ю.В. Электроразведка / Ю.В. Якубовский, Л.Л. Ляхов. – М. : Недра, 1974. – 376 с.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



245

Назад

Закрыть

### ПРИЛОЖЕНИЕ А

#### Из истории исследования Курской магнитной аномалии

История исследования Курской магнитной аномалии (КМА) связана с трагической судьбой профессора Императорского Московского университета Эрнеста Егоровича Лейста (1852–1918).

Э.Е. Лейст родился в семье ремесленника. После окончания начальной школы поступил в Ревельскую гимназию, но не имел возможности продолжить обучение из-за отсутствия средств. Переехал в Санкт-Петербург, где давал уроки немецкого языка и занимался репетиторством. В 1875 году экстерном сдал экзамен на аттестат зрелости, поступил на физико-математический факультет Дерптского университета, в котором обучение велось на немецком языке. Одновременно преподавал математику в частной гимназии.

По окончании университета Э.Е. Лейст вернулся в Санкт-Петербург и преподавал физику в Екатерининском училище. В 1880 году был принят на должность физика Главной физической обсерватории. В марте 1884 года Э.Е. Лейст стал наблюдателем Магнитно-метеорологической обсерватории в Павловске. Одновременно читал лекции по физической географии в Петербургском университете.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



246

Назад

Закреть



В 1894 году Э.Е. Лейст был приглашен в Московский университет на кафедру физики, где в короткий срок наладил регулярные метеорологические наблюдения. Кроме того, он установил в обсерватории сейсмографы, положив начало сейсмическим наблюдениям, организовал регистрацию компонентов магнитного поля Земли. С этого момента геомагнитное поле становится предметом его постоянного научного интереса. Уже в 1897 году он защитил магистерскую диссертацию на тему «О влиянии планет на наблюдаемые явления земного магнетизма», а через два года и докторскую диссертацию на тему «Географическое распределение нормального и аномального геомагнетизма».

В эти годы усилился интерес к исследованию Курской магнитной аномалии, которая впервые была обнаружена академиком Петербургской Академии наук П.Б. Иноходцевым при проведении геодезических работ в Курской губернии. Аномалия была настолько сильной, что даже специалисты затруднялись объяснить причину ее происхождения. Геологи категорически отрицали возможность залегания в Курской губернии железных руд, которые могли бы вызвать наблюдаемую аномалию.

В 1898 году для участия в исследованиях КМА из Парижа был приглашен директор геомагнитной обсерватории профессор Муро. Во время магнитных съемок, выполнявшихся Муро, его сопровождал Э.Е. Лейст. Через несколько рабочих дней Муро телеграфировал в Париж, что полученные им во время магнитных съемок результаты «переворачивают кверху дном всю теорию земного магнетизма».



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



247

Назад

Закреть

Через две недели Муро вернулся в Париж, а Э.Е. Лейст, проанализировав данные съемок, пришел к твердому убеждению, что КМА связана с залежами железной руды. По Курской губернии распространились слухи о ее громадных залежах. Возникла настоящая «железорудная лихорадка». Одни помещики начали продавать свои земли, другие – их скупать. Земство выделило Э.Е. Лейсту деньги на покупку приборов для магнитных измерений и оборудования для бурения скважин. Все необходимое было закуплено в Германии.

По указаниям Э.Е. Лейста было начато бурение скважины. С первых же дней буровых работ в местных газетах «Курская газета», «Курские губернские ведомости», «Орловский вестник» стали появляться сообщения и статьи, в которых предсказывался неудачный исход бурения. Авторы публикаций, ссылаясь на авторитет некоторых ученых, уверяли деловые круги губернии в беспечности траты денег.

Буровые работы продолжались, когда Э.Е. Лейст выехал на съезд русских естествоиспытателей и врачей, проходивший в Киеве с 20 по 30 августа 1898 года. 25 августа Э.Е. Лейст выступил с докладом «О Курской магнитной аномалии», в котором обобщил данные измерений и представил составленные им карты, на которых четко выделялись магнитные аномалии. По расчетам Э.Е. Лейста руда должна была залегать на глубине не более 200 м от поверхности Земли. Осенью 1898 года бурение двух разведочных скважин закончилось полной неудачей. Буровые журналы с образцами горных пород были отправлены в



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



248

Назад

Закреть

Геологический комитет. Геолог С.Н. Никитин, изучив их, написал в 1900 году статью «Два глубоких бурения в связи с явлениями магнитных аномалий в Курской губернии». В этой статье С.Н. Никитин опроверг возможность залежей железных руд в Курской губернии, обвинил Лейста в том, что он взялся не за свое дело. Ученые-геологи не могли простить Лейсту, что он – геофизик и магнитолог – вторгся в геологию. Геологический комитет подверг его идеи самой беспощадной критике, перешедшей в травлю. Земство отобрало приборы и бурильное оборудование. Однако этот страшный удар не сломил Э.Е. Лейста. С упорством и добросовестностью ученый продолжал изучение Курской магнитной аномалии и отдал этому делу весь остаток своей жизни. С 1899 по 1909 год Лейст, отказывая себе в летнем отдыхе, производил полевые работы исключительно на свои личные средства.

Э.Е. Лейст так вспоминал об этом времени: «Извозчики обыкновенно привыкли возить от железнодорожных станций до определенных мест и обратно, хотя и на большие расстояния, но не всякий из них соглашался ехать на две-три недели от постоянного местожительства без определенного маршрута, в неизвестную для него местность, где дороги указывал наниматель по трехверстной карте генерального штаба, где каждый вечер надо было подыскивать ночлег в ближайших селах и где часто невозможно было купить овса для лошадей, а который и соглашался на такую поездку, обыкновенно ставил невозможные условия и прежде всего запрашивал высокую плату. Но, несмотря на уговор, извозчики дней через



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



249

Назад

Заккрыть

десять требовали обратного возвращения, и только сделки в казенной винной лавке приводили к обоюдному удовлетворительному результату. При поездках извозчикам в среднем приходилось платить за каждый час около одного рубля; естественно, что при такой высокой плате я не мог терять времени без дела и работал от восхода до захода солнца, имея для отдыха несколько часов короткой летней ночи. О правильном питании нечего было и думать, ибо в деревнях, кроме молока и яиц, редко можно достать свежий белый хлеб; приходилось питаться сухарями, бисквитами и консервами, взятыми из Москвы. Невольно вспоминалось, что дальневосточные экспедиции оборудованы несравненно лучше и терпят, пожалуй, меньше неудобств, чем я при своих поездках по одной из центральных губерний Европейской России, невольно являлась мысль, что многие из моих товарищей профессоров отдыхают не в таких условиях, а где-нибудь в европейском курорте и, вероятно, тратят меньше средств, чем я на научную, но утомительную работу. Когда же попадал на замечательную точку, где сильное горизонтальное напряжение, как в гальванометре с хорошими демпферами, быстро успокаивало магнит, то опять все временные трудности и препятствия уничтожались желанием довести дело до конца – продолжать съемку до границ Воронежской губернии, в пределах которой пока работать не мог за неимением подробной карты».

В 1906 году продолжать съемки было очень трудно. Принимая Лейста за землемера, крестьяне требовали, чтобы он размерял им землю



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



250

Назад

Закреть

помещиков, в противном случае грозились его убить. «Подозрительно-го» ученого много раз арестовывали местные сельские власти.

Многолетняя напряженная работа без отпусков подорвала здоровье Э.Е. Лейста. Летом 1918 года Советское Правительство направило Э.Е. Лейста на лечение на курорт в Наугейме. Отправляясь на лечение, Э.Е. Лейст захватил с собой материалы исследований КМА, так как до отъезда в Германию он не успел свести все данные воедино и построить магнитную карту КМА. Эту работу он собирался сделать в Наугейме. Но смерть прервала его работу.

Немцы захватили материалы Э.Е. Лейста. Советское правительство получило предложение купить их за огромную сумму денег. В.И. Ленин обратился к академику П.П. Лазареву с вопросом о возможности организации новых магнитных съемок в районе КМА. Вскоре были организованы экспедиции, которыми руководил П.П. Лазарев. Первая скважина была пробурена в 1926 году. На глубине около 300 м были обнаружены мощные залежи высококачественной железной руды. В стране по этому поводу было всенародное ликование. В.В. Маяковский написал две большие поэмы о трудовом подвиге тех, кто осуществил эту работу и о геологическом происхождении руды. В месте, где раньше бурилась скважина до глубины 200 м по указанию Э.Е. Лейста, железная руда была обнаружена на глубине 220 м. Всего 20 м не хватило для того, чтобы еще при жизни Э.Е. Лейста были оценены его выдающиеся заслуги по исследованию КМА.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



251

Назад

Закреть

## Первая магнитная обсерватория России

Первой магнитной обсерваторией, которая была открыта в России в 1924 году, является обсерватория при Казанском университете. Ее создание связано с именами А.Я. Купфера и И.М. Симонова.

Русский физик А.Я. Купфер (1799–1865) закончил Дерптский университет, продолжил образование в Берлинском и Геттингенском университетах. В 1822 году он приехал в Петербург, а в 1823 году был приглашен в Казанский университет, в котором с 1824 года возглавил кафедру химии и физики. Одновременно проводил работы по земному магнетизму, руководил геологической и магнитной экспедициями в окрестностях Эльбруса. Под руководством молодого двадцатипятилетнего профессора А.Я. Купфера во дворе университета было построено специальное здание, не содержащее железа, в котором были установлены магнитометры, которые приобретались в странах Западной Европы. В те годы ещё не было непрерывной записи изменений магнитного поля Земли, поэтому проводились ежечасные отсчёты по магнитометрам.

После отъезда Купфера в июле 1828 года в Петербург, где он был избран академиком Петербургской Академии наук, работы в Казанской обсерватории продолжались под руководством профессора И.М. Симонова, который в 1819 году был в составе кругосветной экспедиции под



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



252

Назад

Закреть

командованием Ф.Ф. Беллинсгаузена и М.П. Лазарева, ставившей своей главной задачей открытие Антарктиды. И.М. Симонов находился на шлюпе «Восток» и был единственным учёным в экспедиции. Помимо астрономических наблюдений и определения географических координат, И.М. Симонов проводил магнитные наблюдения и впервые установил положение Южного магнитного полюса Земли. Позже исследования земного магнетизма принесли И.М. Симонову широкую известность.

В 1829 году под руководством И.М. Симонова во дворе Казанского университета была закончена постройка «каменной беседки без железа», в которой начали проводить наблюдения склонения и наклонения магнитной стрелки. Результаты наблюдений постоянно публиковались в виде научных трудов и отчетов о работах магнитной обсерватории в типографии Казанского университета.

В 1840 году во дворе университета был построен обширный деревянный павильон, в котором с 1841 года начался постоянный ряд магнитных наблюдений. Но в сильном пожаре, случившемся в Казани в августе 1842 года, магнитная обсерватория сгорела. К началу 1844 года при участии И.М. Симонова была построена новая каменная магнитная обсерватория. В 1891 году во дворе университета был построен каменный подземный павильон, что значительно повысило качество наблюдений за счет соблюдения постоянства температуры. Позже из-за возросшего уровня транспортно-промышленных помех магнитная часть обсерватории из университетского двора была вынесена за пределы города в район



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



**253**

Назад

Закреть



поселка Займище, где с 1909 года начали выполняться систематические наблюдения магнитного поля Земли. Еще позже электрификация железной дороги Москва – Казань привела к тому, что нахождение обсерватории от железной дороги на расстоянии менее 1 км стало невозможным из-за возросшего фона помех, в несколько раз превышающего интенсивность вариаций естественного магнитного поля Земли. Поэтому в 1975 году был построен новый обсерваторский комплекс в охранной зоне Раифского участка Волжско-Камского заповедника.

Территория бывшей магнитной обсерватории сохранилась в прежних границах Казанского университета и в настоящее время используется в качестве базы учебной геофизической практики студентов.



*Кафедра  
физической  
географии*

На весь экран

Начало

Содержание

Приложение



254

Назад

Закреть