

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Геологический факультет

УТВЕРЖДАЮ

и.о. декана Геологического факультета

чл.-корр. РАН _____/Н.Н.Ерёмин/

«__» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Физика Земли

Автор-составитель: Захаров В.С.

Уровень высшего образования:

Бакалавриат

Направление подготовки:

05.03.01 Геология

Направленность (профиль) ОПОП:

Геология и полезные ископаемые

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

Учебно-методическим Советом Геологического факультета

(протокол № _____, _____)

Москва

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Геология» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки*).

Год (годы) приема на обучение: 2022

© Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.

Цель и задачи дисциплины

Целью курса является получение студентами знания о физических процессах, протекающих в недрах нашей планеты, необходимых для успешной профессиональной деятельности специалистов.

Задачи - понимание теоретических основ современных представлений о физических процессах, протекающих в недрах Земли, ее строении, эволюции и методах изучения, овладение методами изучения истории формирования и эволюции Земли, внутреннего строения Земли и ее внешних полей; построения моделей Земли.

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Предметом физики Земли является описание физических процессов, протекающих в недрах нашей планеты, с целью объяснения современного строения и состояния Земли, ее формирования и эволюции. Физика Земли является теоретической основой для целого круга геолого-геофизических дисциплин. Рассматривается строение, состав, основные оболочки Земли; основы сейсмологии, гравитационное и магнитное поля Земли; реологические характеристики Земли; методы изучения внутреннего строения Земли и ее внешних полей; методы построения моделей Земли; историю развития и эволюцию Земли; физические характеристики и физические процессы в недрах Земли; их связь с геотектоникой и геодинамикой.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП – относится к вариативной части ОПОП, является дисциплиной по выбору.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия: базируется на знаниях по дисциплинам «Высшая математика», «Физика», «Общая геология», «Геотектоника».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), сопряженные с компетенциями
ОПК-1.Б Способен применять знания фундаментальных разделов наук о Земле, базовые знания естественно-научного и математического циклов при решении стандартных профессиональных задач (формируется частично).	Б.ОПК-1. И-1. Использует базовые знания фундаментальных разделов математических и естественных наук в профессиональной деятельности Б.ОПК-1. И-2. Использует базовые знания фундаментальных разделов наук о Земле в профессиональной деятельности	Знать: строение, состав, основные оболочки Земли; основы сейсмологии, гравитационное и магнитное поля Земли; реологические характеристики Земли; методы изучения внутреннего строения Земли и ее внешних полей; методы построения моделей Земли; историю развития и эволюцию Земли; физические характеристики и физические процессы в недрах Земли; их связь с геотектоникой и геодинамикой. Уметь: применять полученные теоретические знания по строению и физике Земли в геологических исследованиях.
СПК-1.Б Способен решать научные и практические задачи на	Б.СПК-1. И-1. Использует и применяет знания и	Знать: основы Физики Земли и геофизических методов ее исследования, навыками построения моделей Земли и их

<p>основе углубленных знаний в области региональной геологии, геотектоники и геодинамики, литологии и морской геологии, палеонтологии, геологии полезных ископаемых (формируется частично).</p>	<p>навыки в области геологии, геотектоники, геоморфологии, тектонофизики, палеомагнитологии, неотектоники, физики Земли, геодинамики при решении научных и практических задач</p>	<p>практического применения для решения прикладных задач геологии и геодинамики</p>
---	---	---

4. Объем дисциплины (модуля) составляет **2** з.е., в том числе **33** академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем (лекции), **39** академических часа на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

5. Формат обучения не предполагает электронного обучения и использования дистанционных образовательных технологий (за исключением форс-мажорных обстоятельств – пандемии и т.п.)

6. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) <i>Виды контактной работы, часы</i>				Самостоятельная работа обучающегося <i>Виды самостоятельной работы, часы</i>				
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	Расчетно-графические работы	Работа с литературой (включая подготовку доклада)	Подготовка реферата	Подготовка к контрольному опросу	Всего
Раздел 1. Введение	1	1			1					
Раздел 2. Основы геохронологии	9	5			5				4	4
Раздел 3. Гравитационное поле и фигура Земли	11	6			6				5	5
Раздел 4. Основы сейсмологии	11	6			6				5	5
Раздел 5. Модели Земли	8	3			3				5	5
Раздел 6. Геотермия.	11	6			6				5	5
Раздел 7. Магнитное поле и электропроводность Земли	8	3			3				5	5
Раздел 8. Реология вещества Земли	8	3			3				5	5
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	5	<i>Письменный экзамен</i>				5				
Итого	72	33				39				

Содержание лекций, семинаров

Содержание лекций

Раздел 1. Введение. Предмет физики Земли, ее место в области наук о Земле. Основные разделы физики Земли. Источники информации о внутреннем строении и физике Земли. Понятие о моделях Земли и методах их построения. Прямые и обратные задачи, обратные задачи в геофизике. Ограничения при построении моделей Земли. Простейшие модели Земли. История развития представлений об эволюции и строении Земли.

Раздел 2. Основы геохронологии. Понятие о геохронологии. Абсолютная и относительная геохронология. Геохронология на основе радиоактивного распада (изотопная геохронология), общая теория. Виды радиоактивного распада. Сложности и ограничения изотопного датирования. Понятие изохроны и конкордии, их применение для определения изотопного возраста. Рубидий-стронциевый, уран-свинцовый, торий-свинцовый, калий-аргоновый, аргон-аргоновый, самарий-ниодимовый, рений-осмиевый методы определения абсолютного возраста, их особенности и ограничения. Трековый метод датировок. Возраст Земли.

Раздел 3. Гравитационное поле и фигура Земли. Гравитационное поле Земли, методы его изучения. Потенциал силы тяжести, нормальный потенциал. Разложение потенциала силы тяжести по сферическим функциям. Использование спутниковых данных для описания поля тяжести Земли. Фигура Земли, нормальная фигура Земли. Геоид. Сфероид Клеро. Формула Клеро. Моменты инерции Земли. Гравитационные аномалии (в свободном воздухе, Буге, изостатические). Понятие изостазии, изостатические схемы. Изменение силы тяжести во времени.

Раздел 4. Основы сейсмологии. Сейсмологические методы исследования глубоких недр Земли. Понятие сейсмического луча, законы отражения и преломления. Годограф, типы и особенности годографов. Методы обращения годографа. Метод Герглотца-Вихерта. Проблема обращения годографа при наличии волновода и для глубинного источника. Использование поверхностных волн для изучения строения Земли. Ход лучей в Земле, годографы для Земли. Сейсмологическая модель Земли по данным наблюдений за распространением объемных волн. Основные оболочки Земли. Сейсмичность Земли, ее особенности. Магнитуда и энергия землетрясения. Закон Гутенберга-Рихтера.

Раздел 5. Модели Земли. Плотностные модели Земли, общий принцип их построения. Уравнение Адамса-Вильямсона, области его применимости. Методы построения распределения параметров в остальных зонах Земли. Модели Буллена. Подход Бёрча. Определение плотностей по методу отраженных волн. Собственные колебания Земли, их регистрация, свойства, значение для построения моделей Земли. Упругие постоянные, сила тяжести и давление в недрах Земли. Современные модели Земли. Понятие о сейсмической томографии, сейсмотомографические модели. Природа основных границ в Земле.

Раздел 6. Геотермия. Предмет геотермии. Распределение температуры в верхних частях Земли: тепловой поток, оценка распределения температуры методом реперных точек. Температура в литосфере с учетом радиоактивных источников тепла. Расчет континентальных и океанических геотерм. Температура в нижней мантии и ядре Земли: адиабатический градиент, кривая плавления. Источники тепловой энергии Земли. Энергетический баланс Земли. Термическая история Земли, модели "горячего" и "холодного" происхождения Земли.

Раздел 7. Магнитное поле и электропроводность Земли. Элементы магнитного поля Земли. Напряженность поля и магнитная индукция. Методы измерения магнитного поля. Главное геомагнитное поле, аномальное поле. Дипольное поле, положение современного диполя, недипольное поле. Вариации геомагнитного поля. Электропроводность Земли, методы ее измерения, электропроводность различных оболочек. Теория происхождения магнитного поля Земли. Палеомагнетитология: методы изучения, естественная остаточная

намагниченность, виртуальные полюсы, инверсии магнитного поля и палеомагнитная шкала. Палеомагнитные реконструкции.

Раздел 8. Реология вещества Земли. Понятие о реологии. Значение реологии для физики Земли и геодинамики. Напряжения и деформации. Прочность, ползучесть, разрушение. Реологические модели. Оценка вязкости астеносферы по послеледниковому поднятию. Распространение упругих волн. Описание затухания сейсмических волн в Земле, оценки эффективной вязкости. Механизмы вязкости твердых тел. Вязкость различных оболочек Земли (основные результаты). Конвекция в мантии Земли и тектоника литосферных плит.

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется при сдаче каждым студентом выполненных расчетных работ.

Расчетные домашние задания:

1. Расчет основных глобальных характеристик Земли (масса, момент инерции и т.п.)
2. Определение абсолютного возраста по изохронам.
3. Решение задач на изостазию и степень компенсации.
4. Построение ход сейсмических лучей и годографов для Земли.
5. Расчет параметров для различных плотностных моделей Земли.
6. Расчет континентальных геотерм Земли на основе решения стационарного уравнения теплопроводности.
7. Определение палеошироты по палеомагнитным замерам.
8. Оценка вязкости верхней мантии по послеледниковому поднятию.

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Примерный перечень вопросов при промежуточной очной аттестации (экзамене):

1. Понятие о геохронологии. Относительная и абсолютная геохронология.
2. Геохронология на основе радиоактивного распада. Закон радиоактивного распада.
3. Типы радиоактивного распада.
4. Формула для определения возраста. Определение возраста в случае серии распадов.
5. Рубидий-стронциевый метод определения абсолютного возраста. Изохрона.
6. Уран-свинцовый метод определения абсолютного возраста. Изохрона и конкордия.
7. Торий-свинцовый метод определения абсолютного возраста. Изохрона.
8. Трековый метод датировок.
9. Гравитация и сила тяжести. Связь силы тяжести, вращения и фигуры Земли.
10. Методы измерения силы тяжести.
11. Лунные и солнечные приливы.
12. Прецессия и нутации земной оси.
13. Чандлеровское колебание полюса.
14. Изменение скорости вращения Земли во времени.
15. Потенциал силы тяжести. Потенциал тяжести сфероидальной Земли.
16. Разложение потенциала силы тяжести, полученного по эмпирическим данным (ИСЗ).
17. Нормальный и аномальный потенциал силы тяжести.
18. Понятие о фигуре Земли. Геоид. Референц-эллипсоид.
19. Понятие о фигуре Земли. Нормальная фигура Земли (сфероид).
20. Сфероид Клеро. Сила тяжести на сфероиде Клеро. Нормальное поле тяжести
21. Степень соответствия фигуры Земли фигуре равновесия вращающейся жидкости.
22. Гравитационные аномалии в свободном воздухе.

23. Гравитационные аномалии Буге.
24. Понятие изостазии, изостатические схемы.
25. Изостатические аномалии. Соотношение гравитационных аномалий и степени компенсации.
26. Изменение силы тяжести во времени, его причины.
27. Сейсмические волны, их роль в изучении строения Земли. Регистрация сейсмических волн.
28. Типы сейсмических волн. Формулы для скорости сейсмических волн.
29. Определение координат землетрясения. Особенности пространственного распределения очагов.
30. Характеристики силы землетрясений (баллы, магнитуда, энергетический класс, момент).
31. Магнитуда и энергия землетрясения. Закон Гутенберга-Рихтера.
32. Понятие сейсмического луча. Уравнение сейсмического луча.
33. Законы преломления и отражения сейсмических лучей. Закон Снеллиуса.
34. Сейсмический луч в сферической Земле. Кривизна луча.
35. Понятие годографа. Уравнение годографа.
36. Формула Бендорфа.
37. Основные типы и особенности годографов рефрагированной волны.
38. Годограф для отраженной волны. Обменные волны.
39. Обращение годографа. Метод Герглотца-Вихерта.
40. Проблемы обращения годографа в случае волновода и для глубинного источника. Использование поверхностных волн.
41. Ход сейсмических лучей в Земле (глобально), годографы для всей Земли.
42. Основные оболочки Земли (кора, верхняя и нижняя мантия, внутреннее и внешнее ядро), их свойства по сейсмическим данным.
43. Плотностные модели Земли, общий принцип их построения.
44. Уравнение Адамса-Вильямсона, области его применимости.
45. Модели Буллена для Земли.
46. Закон Бёрча, его применение для построения плотностных моделей Земли.
47. Определение плотностей слоев Земли по методу отраженных волн.
48. Собственные колебания Земли (типы, моды).
49. Регистрация собственных колебаний Земли. Применение собственных колебаний для построения моделей Земли.
50. Современные радиальные модели Земли, их сходства и различия.
51. Сейсмическая томография (понятие, принципы, основные результаты).
52. Природа основных оболочек и границ в Земле (граница коры и мантии, переходная зона в мантии, слой D'', граница ядра и мантии).
53. Механизмы теплопередачи. Закон Фурье.
54. Тепловой поток на поверхности Земли, методы его измерения, основные результаты.
55. Оценка распределения температуры в коре и верхней мантии методом реперных точек.
56. Уравнение теплопроводности с учетом данных о радиоактивных источниках тепла.
57. Континентальные геотермы, метод их построения.
58. Океанические геотермы, метод их построения.
59. Температура в нижней мантии и ядре Земли: адиабатический градиент, кривая плавления.
60. Глобальная геотерма для Земли (модель, ограничения, неопределенности).
61. Гипотезы происхождения Земли.
62. Термическая история Земли.
63. Источники тепловой энергии Земли.

64. Роль реологии в физике Земли и геодинамике. Обобщенная кривая деформаций.
65. Тип реологического поведения материала. Зависимость поведения от условий нагружения.
66. Линейные реологические тела (Гука, Ньютона).
67. Реологическая модель тела Кельвина.
68. Реологическая модель тела Максвелла.
69. Механизмы упругости и вязкости твердых тел.
70. Оценка вязкости астеносферы по послеледниковому поднятию.
71. Реология литосферы. Кривая прочности литосферы.
72. Реология мантии и ядра Земли.
73. Эксперименты по Бенара конвекции в слое вязкой жидкости. Схема конвекции.
74. Влияние фазовых переходов в мантии на конвекцию.
75. Модели общемантийной и двухслойной конвекции.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине (экзамен).

Результаты обучения, соответствующие виды оценочных средств	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знание строения, состава, основных оболочек Земли; основ сейсмологии, гравитационного и магнитного поля Земли; реологических характеристик Земли; методов изучения внутреннего строения Земли и ее внешних полей; методов построения моделей Земли; истории развития и эволюцию Земли; физические характеристики и физические процессы в недрах Земли; их связь с геотектоникой и геодинамикой. (письменный опрос,)	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения применять полученные теоретические знания в геологических исследованиях. (письменный опрос,)	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности непринципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы в применении.	Успешное умение использовать теоретические знания в геологических исследованиях.
Владения: навыками геофизических исследований и	Навыки геофизических	Фрагментарное владение методикой,	В целом сформированные навыки	Владение навыками геофизических

построения моделей Земли. (письменный опрос)	исследований, и построения моделей Земли отсутствующим	наличие отдельных навыков	геофизических исследований и построения моделей Земли	исследований и построения моделей Земли.
---	--	---------------------------	---	--

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

1. Жарков В.Н. Физика земных недр. М.: Наука и образование, 2012. 384 с. (электронная в кафедральном фонде)
2. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука и образование, 2013. 413 с. (электронная в кафедральном фонде).
3. Захаров В.С., Смирнов В.Б. Физика земли: учебник. М.: ИНФРА-М, 2016. 328 с. (печатная в Библиотеке МГУ, электронная в кафедральном фонде).
4. Захаров В.С., Смирнов В.Б. Строение и физика Земли. Вводный курс. Долгопрудный: Интеллект, 2018. 224 с. (печатная в Библиотеке МГУ, электронная в кафедральном фонде).

- дополнительная литература:

1. Болт Б. В глубинах Земли. О чем рассказывают землетрясения. М.: Мир, 1984. 374 с. (печатная в Библиотеке МГУ, электронная в кафедральном фонде).
2. Ботт М. Внутреннее строение Земли. М.: Мир, 1974. 374 с. (печатная в Библиотеке МГУ, электронная в кафедральном фонде).
3. Браун Д., Массет А. Недоступная Земля. М.: Мир, 1984. 262 с. (печатная в Библиотеке МГУ, электронная в кафедральном фонде).
4. Буллен К.Е. Плотность Земли. М.: Мир, 1978. 444 с. (печатная в Библиотеке МГУ, электронная в кафедральном фонде).
5. Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли. М.: Недра, 2006. 389 с. (печатная в Библиотеке МГУ, электронная в кафедральном фонде).
6. Общая геофизика. /Ред. В.А.Магницкий. М.: МГУ, 1995. 317 с. (печатная в Библиотеке МГУ, электронная в кафедральном фонде).
7. Стейси Ф. Физика Земли. М.: Мир, 1972. 344 с. (печатная в Библиотеке МГУ, электронная в кафедральном фонде).
8. Fowler C.M.R. The Solid Earth: An Introduction to Global Geophysics. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. 685 p. (электронная в кафедральном фонде).
9. Lowrie W. Fundamentals of Geophysics. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 348 p. (электронная в кафедральном фонде).
10. Stacey F.D., Davis P.M. Physics of the Earth. Cambridge: Cambridge University Press. 2008. 512 p. (электронная в кафедральном фонде).

Б) Перечень программного обеспечения:

- лицензионное

нет

- нелицензионное и свободного доступа

пакет программ Open Office

В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

- реферативная база данных издательства Elsevier: www.sciencedirect.com

- геофизический центр РАН. <http://www.gcras.ru/>

- институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. <http://www.kscnet.ru/ivs/>.

- институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН. <http://www.izmiran.rssi.ru/>.
- институт Физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН. <http://ifz.ru>.
- American Geophysical Union. www.agu.org.
- Computational Infrastructure for Geodynamics (CIG) <https://geodynamics.org/>.
- U.S. Geological Survey www.usgs.gov.
- Japan Meteorological Agency. <http://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>.
- Пантелеев В.Л.. Физика Земли и планет. Курс лекций. // Сайт «Всё о геологии» <http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1161600>.
- WebGeology. Демонстрации. <http://www.ig.uit.no/webgeology/>
- Global Earth Physics: a handbook of Physical Constants. / Thomas J. Ahrens, editor. Washington, AGU. 1995. <https://searchworks.stanford.edu/view/2991240>.

Г) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- поисковая система научной информации www.scopus.com
- электронная база научных публикаций www.webofscience.com

Д) Материально-технического обеспечение:

Учебная аудитория с мультимедийным проектором.

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватель (преподаватели): Ответственный за курс — Захаров В.С. (сотрудник каф. динамической геологии), преподаватели: Захаров В.С.

11. Разработчики программы: профессор Захаров В.С.