

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

Палеомагнитология

Автор-составитель: Лубнина Н.В., Веселовский Р.В.

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

Цель: теоретическое изучение основных разделов палеомагнитного метода и физически обоснованное понимание возможности и ограничения применения палеомагнитного метода исследований при решении геологических задач.

Задачи: приобретение знаний о физических основах палеомагнетизма, технологии измерения и выделения компонент древнего магнитного поля Земли, приобретение навыков построения магнито-тектонических и геодинамических реконструкций, а также геологической интерпретации геофизических (петро-палеомагнитных) данных.

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

В курсе дисциплины «Палеомагнитология» рассмотрены физические основы палеомагнетизма, элементы современного магнитного поля Земли, принципы решения прямых и обратных задач палеомагнитологии, приемы диагностики основных минералов-носителей намагниченности, методы и техника проведения палеомагнитных исследований, принципы обработки и интерпретации материалов, а также применение палеомагнитных методов в магнитотектонике и магнитостратиграфии при решении глобальных, региональных и локальных задач; рассмотрено прикладное применение палеомагнитного метода, в частности, для мониторинга окружающей среды.

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 «Общая геология», «Физика», «Высшая математика», «Математические методы в геологии», «Основы палеомагнитологии».

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-3.Б Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки (формируется частично).	Б.ОПК-3. И-1. Использует типовые подходы и методы при решении задач профессиональной деятельности	Знать: параметры, структуру магнитного поля Земли, основные магнитные свойства пород, ферромагнитные минералы-носители намагниченности, виды намагниченности горных пород, полевые тесты палеомагнитной надежности; основные принципы построения магнитотектонических и геодинамических реконструкций; возможности и ограничения палеомагнитного метода при решении различных геологических задач. Уметь: грамотно предложить необходимый комплекс палео-петромагнитных исследований при решении конкретных геологических задач. Диагностировать минералы-носители намагниченности, выделять компоненты древнего магнитного

		поля; определять природу древних компонент намагниченности и время их приобретения породами; работать с Глобальной палеомагнитной базой данных, рассчитывать положение палеомагнитного полюса. На основе результатов палеомагнитных исследований строить магнитотектонические реконструкции.
СПК-1.Б Способен решать научные и практические задачи на основе углубленных знаний в области региональной геологии, геотектоники и геодинамики, литологии и морской геологии, палеонтологии, геологии полезных ископаемых (формируется частично).	Б.СПК-1. И-1. Использует и применяет знания и навыки в области геологии, геотектоники, геоморфологии, тектонофизики, палеомагнитологии, неотектоники, физики Земли, геодинамики при решении научных и практических задач	Владеть: приемами первичной обработки полевого и лабораторного материала и методами расчета древнего магнитного поля. Владеть навыками палеомагнитного анализа и методами построения геодинамических реконструкций.

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 1 з.е., в том числе **28** академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем (28 часов лекции), **8** 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	2	2			2					
Раздел 2. Современное магнитное поле Земли	3	2			2				1	1
Раздел 3. Генерация магнитного поля Земли	3	2			2				1	1
Раздел 4. Магнетизм горных пород	4	3			3				1	1
Раздел 5. Виды намагниченности горных пород	4	3			3				1	1
Раздел 6. Методы и техника палеомагнитных исследований	5	4			4				1	1
Раздел 7. Математические методы обработки палеомагнитных данных	5	4			4				1	1
Раздел 8. Применение методов палеомагнетизма в геологии. Магнитотектоника.	2	2			2					
Раздел 9. Применение методов палеомагнетизма в геологии. Магнитостратиграфия	2	2			2					
Раздел 10. Прикладное применение палеомагнитных методов исследования. Мониторинг окружающей среды. Напряжённость магнитного поля Земли в	4	4			4					

прошлом.									
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	2	<i>Устный экзамен</i>				2			
Итого	36	28				8			

Содержание лекций

Раздел 1. Введение

Краткие исторические сведения об изучении основных характеристик магнитного поля Земли. Первые представления о магнитном поле Земли, предсказание и открытие магнитного склонения и магнитного наклонения, магнитных полюсов Земли, вариаций магнитного поля. Появление и становление Палеомагнитологии в России, ее роль и место в современной геологической науке. Прямая и обратная задачи палеомагнитологии. Основные направления палеомагнитных исследований.

Раздел 2. Современное магнитное поле Земли

Элементы магнитного поля Земли. Единицы измерения элементов магнитного поля. Геомагнитные обсерватории. Приборы для измерения магнитного поля Земли. Соотношение основных характеристик магнитного поля в Декартовых и сферических системах координат. Сферический гармонический анализ измеренных значений геомагнитного поля (Гаусс, 1824), позволяющий рассчитать элементы поля в любой заданной точке пространства. Модели современного геомагнитного поля IGRF-2004 и IGRF-2009. Дипольный характер поля. Потенциал диполя. Геомагнитный, магнитный и палеомагнитный полюс. Соотношение между наклонением и положением точки относительно полюса диполя. Главное и аномальное магнитное поле Земли. Аномальные поля океанов и континентов. Короткопериодные и вековые вариации магнитного поля Земли.

Раздел 3. Генерация магнитного поля Земли

Внутреннее строение Земли. Параметры вещества во внешнем ядре. Тепловое состояние. Конвекция проводящей жидкости в присутствии слабого магнитного поля. Самовозбуждающийся (самоподдерживающийся) режим системы движений в ядре. Численная модель геомагнитного поля Глатцмайера и Робертса (1995). Инверсии поля. Магнитные поля Солнца и планет.

Раздел 4. Магнетизм горных пород

Основные магнитные свойства вещества. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики.

Ферромагнетизм вещества – самопроизвольная (спонтанная) намагниченность кристаллического вещества как следствие действия квантовых обменных электростатических сил, создающих спиновый магнитный порядок, разрушающийся при Тс. Температура Кюри как точка фазового превращения второго рода. Модель цепочки спинов Изинга. Гистерезис, намагниченность насыщения, остаточная намагниченность, коэрцитивная сила, магнитная восприимчивость ферромагнетика. Классификация ферромагнитных веществ.

Ферримагнетизм – магнетизм неметаллических магнетиков, в которых спонтанная намагниченность в подрешетках кристаллической структуры (модель Нееля, 1947) имеет противоположное направление – вследствие действия квантового косвенного обменного взаимодействия (Андерсон, Крамерс, 1963).

Раздел 5. Виды намагниченности горных пород

Остаточная, индуктивная и вязкая намагниченность. Термоостаточная намагниченность. Блокирующая температура, стабильность остаточной намагниченности. Химическая остаточная намагниченность. Ориентационная остаточная намагниченность. Первичная и вторичная остаточные намагниченности. Параллельность направления поля и направления остаточной намагниченности в горной породе. Стабильность остаточной намагниченности.

Раздел 6. Методы и техника палеомагнитных исследований.

Полевые исследования. Выбор объектов для палеомагнитных исследований в зависимости от класса задач. Методика отбора ориентированных образцов.

Лабораторные исследования. Измерения компонент остаточной намагниченности с помощью магнитостатических, рок-генераторов и квантовых приборов. СКВИДы (SQUID). Использование эффекта сверхпроводимости при палеомагнитных измерениях.

Магнитная чистка естественной остаточной намагниченности горных пород – температурная и/или переменным полем. Способ представления результатов чисток. Диаграммы Зийдервельда. Разделение направлений компонент естественной остаточной намагниченности. Спектры размагничивания пород с двумя компонентами намагниченности.

Полевые тесты палеомагнитной надежности (тесты складки, конгломератов, контакта, обращения). Определение времени приобретения породами компонент естественной остаточной намагниченности на основании полевых тестов. Первичная и вторичная компонента намагниченности. Синскладчатая намагниченность.

Раздел 7. Математические методы обработки палеомагнитных данных.

Компоненты намагниченности (x, y, z) и переход к склонению и наклонению в современной географической системе координат. Расчет положения полюса древнего дипольного поля в современной системе координат (виртуальный полюс). Переход в древнюю систему координат, в которой дипольный полюс расположен на оси вращения Земли. Учет недипольной составляющей поля. Матрицы вращения. Статистика Фишера для определения среднего положения и достоверности результатов множества измерений направлений остаточной намагниченности. Понятие кучности и α_{95} .

Критерии надежности палеомагнитного полюса. Каталоги палеомагнитных определений и Глобальная база палеомагнитных данных.

Раздел 8. Применение методов палеомагнетизма в геологии. Магнитотектоника

Задачи тектоники, решаемые методами палеомагнитологии. Два направления магнитотектонических исследований. Кинематические реконструкции по линейным магнитным аномалиям.

Выбор объектов исследования для магнитотектонических исследований. Виртуальный и палеомагнитный полюс. Геометрические операции на сфере. Эйлеров полюс вращения. Реконструкция перемещения блока относительно стабильного кратона. Основы построения палеотектонических реконструкций с помощью палеомагнитных данных. Абсолютная и относительная системы координат. Система всех литосферных плит и горячих точек. Траектории кажущейся миграции палеомагнитных полюсов. Реконструкция взаимного положения двух континентов. Суперконтиненты, их образование и распад. Понятие ключевого палеомагнитного полюса. Подход Эванса-Писаревского для оценки принадлежности единой литосферной плите континентальных блоков.

Применение анизотропии магнитной восприимчивости (AMS) для решения тектонических задач.

Раздел 9. Применение методов палеомагнетизма в геологии. Магнитостратиграфия

Шкалы инверсий – глобальные и региональные. Абсолютная шкала Кокса (1963). Шкалы инверсий по линейным магнитным аномалиям и по океаническим осадкам (1975). Магнито-стратиграфические шкалы. Палеомагнитная корреляция.

Раздел 10. Прикладное применение палеомагнитных методов исследований. Мониторинг окружающей среды. Напряжённость магнитного поля Земли в прошлом.

Магнитная восприимчивость. Удельная и молярная магнитная восприимчивость. Использование магнитной восприимчивости для решения экологических мониторинговых задач. Арёалы загрязнения и процессы переноса. Анизотропия магнитной восприимчивости.

Основы ферромагнитные минералы в осадочных породах и почвах. Круговорот ферромагнитных минералов в природе. Магнитная восприимчивость и палеоклимат. Корреляция магнитных минералов и палеоклиматических изменений. Применение палеомагнитных методов в археологии (археоманетизм) и медицине (биомагнетизм). Использование петромагнитных данных при поисках нефти и газа.

Напряжённость магнитного поля Земли. Единицы измерения напряжённости геомагнитного поля в СИ и СГСМ. Методы Телье для оценки напряжённости магнитного поля Земли в прошлом. Напряжённость магнитного поля Земли в докембрии.

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 контрольных опросах.

Примерный перечень вопросов (тестов) для проведения текущего контроля:

1. Построить векторы элементов нормального магнитного поля Земли вдоль широтного профиля – от северного до южного магнитных полюсов
2. В чем отличие магнитного полюса Земли от геомагнитного и палеомагнитного?
3. Что такое широта и почему мы не можем определить палеодолготу?
4. Основные минералы-носители намагниченности в горных породах и их точки Кюри.
5. Определить первичную или вторичную природу выделенной высокотемпературной компоненты намагниченности на основании результатов тестов палеомагнитной надежности
6. Определить критерий надежности палеомагнитного определения (по Van der Voo, 1991) и присвоить ему DemagCode.
7. Реконструировать взаимное положение двух континентов на основании их Траекторий кажущейся миграции полюса.
8. Определить вращение/смещение континентального блока относительно стабильного кратона.
9. Реконструировать вращение Иберийского полуострова относительно «Стабильной» Европы по данным линейных магнитных аномалий
10. Скоррелировать разрезы на основании результатов магнитостратиграфических исследований

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

Примерный перечень вопросов при промежуточной очной аттестации (экзамене):

1. Элементы магнитного поля. Эквивалентность магнитного поля постоянного магнита и тока. Единицы измерения магнитного поля в системах СГСМ и СИ.
2. Траектория кажущейся миграции палеомагнитного полюса.
3. Прямая и обратная задачи палеомагнитологии. Главное и аномальное магнитное поле Земли.

4. Траектория кажущейся миграции палеомагнитного полюса.
5. Аналитическое представление магнитного поля Земли. Дипольный характер магнитного поля Земли.
6. Каталоги палеомагнитных определений и Глобальная база палеомагнитных данных.
7. Структура магнитного поля Земли. Недипольная и аномальная части главного магнитного поля.
8. Нормальная и идеальная намагниченности.
9. Вековые вариации магнитного поля Земли.
10. Использование результатов палеомагнитных исследований в геологии.
11. Модели самоподдерживающегося динамо.
12. Магнитные домены. Доменное состояние вещества.
13. Инверсии и экскурсы магнитного поля Земли.
14. Магнитная чистка переменным магнитным полем: принцип, преимущества и ограничения.
15. Модель осевого геоцентрического диполя.
16. Магнитные свойства твёрдых тел.
17. Минералогия ферромагнитных минералов.
18. Термоостаточная и химическая остаточная намагниченности.
19. Гипотезы происхождения магнитного поля Земли.
20. Ориентационная намагниченность.
21. Принципы палеомагнитного изучения геологических объектов: планирование исследований и отбор палеомагнитных коллекций.
22. Распределение Фишера, статистика векторов на сфере.
23. Магнитный гистерезис. Основные параметры петли гистерезиса.
24. Полевые тесты оценки возраста компоненты намагниченности. Тест обращения.
25. Магнитная релаксация и суперпарамагнетизм.
26. Основные этапы палеомагнитного исследования.
27. Построение палеотектонических реконструкций при помощи палеомагнитных данных.
28. Температурная магнитная чистка: принцип, преимущества и ограничения.
29. Магнитные обсерватории. История обсерваторных наблюдений за элементами магнитного поля Земли.
30. Определение напряженности геомагнитного поля в прошлом.
31. Аппаратура для измерения намагниченности образцов горных пород: принцип действия, преимущества и недостатки.
32. Магнитное поле дна океанов. Принцип построения палеотектонических реконструкций с использованием линейных аномалий.
33. Магнитная модель горной породы: ансамбль невзаимодействующих магнитных частиц.
34. Вязкая и термовязкая намагниченность.
35. Роль ядра Земли в процессе генерации геомагнитного поля.
36. Анизотропия магнитной восприимчивости: условия возникновения, методы измерения и интерпретация.
37. Первичная и вторичная остаточные намагниченности.
38. Понятия магнитного, геомагнитного, виртуального геомагнитного и палеомагнитного полюсов.
39. Магнитная стратиграфия: цели, методы, основные результаты.
40. Графическое представление результатов магнитных чисток и их интерпретация.
41. Идентификация магнитных минералов в горных породах.
42. Археоманетизм: задачи, методы, объекты.
43. Титаномагнетитовый и гемоильменитовый ряды твердых растворов.

44. Блокирующая температура. Коэрцитивные спектры.
 45. Сульфиды и гидроокислы железа. Химические превращения, приводящие к появлению магнитных минералов. Первичные и вторичные соединения.
 46. Диа-, пара- и ферромагнетизм вещества. Спиновый магнитный момент электрона. Температура Кюри.
 47. Отбор образцов для изучения вековых вариаций магнитного поля в прошлом.
 48. Датирование компонент намагниченности.

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

Результаты обучения, соответствующие виды оценочных средств	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания (устный опрос) параметров, структуры магнитного поля Земли, основные магнитные свойства пород, виды намагниченности горных пород, полевые тесты палеомагнитной надежности	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения (устный опрос) диагностировать минералы-носители намагниченности, выделять компоненты древнего магнитного поля; определять природу древних компонент намагниченности и время их приобретения породами; работать с Глобальной	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности не принципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы.	Успешное умение.

палеомагнитно й базой данных, рассчитывать положение палеомагнитно го полюса				
Владения (устный опрос) приемами первичной обработки полевого и лабораторного материала и методами расчета древнего магнитного поля	Навыки владения отсутствуют	Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков	В целом сформирован- ные навыки.	Свободное владение и использование.

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

- 1) Палеомагнитология. А.Н. Храмов, Г.И. Гончаров, Р.А. Комиссарова и др. Л.: недра, 1982. 312 с. – библиотека МГУ
- 2) Шипунов С.В. Элементы палеомагнитологии. М.: ГИН РАН, 1994. 64 с. – библиотека МГУ

- дополнительная литература:

- 1) Butler, R. Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geological Terranes. Electronic Edition, 1998. 237 p.
- 2) McElhinny, M.W., McFadden, P.L. Paleomagnetism: Continents and Oceans. 1999. Academic Press. International Geophysics series, Volume 73. 386 p.
- 3) Evans, M.L., Heller, F. Environmental Magnetism. Principal and Applications of Environmagnetics. Elsevier Science, 2003. 295 p.
- 4) Кокс, А., Харт, Р. Тектоника плит. М.: Мир, 1989. 427 с.
- 5) Шипунов С.В. Статистика палеомагнитных данных. М: ГЕОС, 2000. 80 с.
- 6) Lanza, R., Meloni, A. The Earth magnetism. An introduction for geologist. Springer, 2006. 280 p.

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

Г) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- специальные компьютерные программы для обработки и интерпретации палеомагнитных данных: PMCALC (R. Enkin, 1998), GMAP-2004 (Т. Torsvik) и Глобальная палеомагнитная база данных (GPMBD-2005, S. Pisarevsky).

Д) Материально-технического обеспечение:

Учебная аудитория с мультимедийным проектором

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватель (преподаватели): Ответственный за курс — Лубнина Н.В. (сотрудник каф. динамической геологии), преподаватели: Лубнина Н.В., Веселовский Р.В.

11. Разработчики программы: профессор Лубнина Н.В., профессор Веселовский Р.В.