

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**

### **Введение в палеомагнитологию**

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:** изучение базовых понятий палеомагнитного метода и его стратиграфических приложений, в том числе на основе актуальных примеров магнитостратиграфических исследований.

**Задачи:** приобретение знаний об основах палеомагнетизма, методике изучения древнего магнитного поля Земли, приобретение навыков построения палеотектонических и геодинамических реконструкций, а также использования результатов палеомагнитных исследований для решения задач стратиграфии.

### Краткое содержание дисциплины (аннотация):

В рамках курса «Введение в палеомагнитологию» рассматриваются основы палеомагнитного метода: элементы земного магнетизма, виды намагниченности горных пород, современные методика и оборудование для проведения палеомагнитных исследований. Особое внимание уделяется практическому применению палеомагнитного метода для решения проблем магнитостратиграфии и палеотектоники.

**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».

**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).	<b>Б.ОПК-3. И-1.</b> Использует типовые подходы и методы при решении задач профессиональной деятельности	<b>Знать:</b> 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. <b>Уметь:</b> грамотно предложить необходимый комплекс палео- и петромагнитных исследований при решении конкретных геологических задач. Диагностировать минералы-носители намагниченности, выделять компоненты намагниченности горных пород; определять природу древних компонент намагниченности и время их приобретения; работать с

		палеомагнитной базой данных, рассчитывать положение палеомагнитного полюса. На основе результатов палеомагнитных исследований строить палеотектонические 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).	<b>Б.СПК-1. И-1.</b> Использует и применяет знания и навыки в области геологии, геотектоники, геоморфологии, тектонофизики, палеомагнитологии, неотектоники, физики Земли, геодинамики при решении научных и практических задач	<b>Владеть:</b> методами первичной обработки полевого материала и результатов лабораторных исследований и методами вычисления древнего магнитного поля. Владеть навыками палеомагнитного анализа и методами построения палеотектонических 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	<b>2</b>	2			2					
Раздел 2. Современное геомагнитное поле	<b>6</b>	4			4			2	<b>2</b>	
Раздел 3. Магнетизм минералов и горных пород	<b>4</b>	3			3			1	<b>1</b>	
Раздел 4. Виды естественной остаточной намагниченности	<b>4</b>	3			3			1	<b>1</b>	
Раздел 5. Статистика палеомагнитных данных	<b>5</b>	4			4			1	<b>1</b>	
Раздел 6. Приемы и методы палеомагнитных исследований. Области применения палеомагнитных исследований	<b>11</b>	10			10			1	<b>1</b>	
Раздел 7. Применение методов палеомагнетизма при решении задач магнитостратиграфии. Палеонапряженность	<b>2</b>	2			2					
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	<b>2</b>	<i>Устный экзамен</i>				<b>2</b>				
<b>Итого</b>	<b>36</b>	<b>28</b>				<b>8</b>				

## **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 геомагнитное поле. Механизм генерации геомагнитного поля**

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.

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 3. Магнетизм минералов и 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  $T_c$ . 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).

Магнитные минералы в горных породах. Магнетит – гематит и тройная система  $TiO_2 - Fe_3O_4 - Fe_2O_3$  – титаномагнетитовый и гематитовый ряды твердых растворов. Сульфиды и гидроокислы железа. Химические превращения, приводящие к появлению магнитных минералов. Первичные и вторичные соединения.

Процессы намагничивания ферромагнетиков, доменная структура. Однодоменные, суперпарамагнитные и многодоменные частицы и их коэрцитивность. Время релаксации. Горная порода как ансамбль частиц.

#### **Раздел 4. Виды естественной остаточной намагниченности**

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 5. Статистика палеомагнитных данных**

Статистика угловых величин на сфере, распределение Фишера. Ключевые параметры распределения Фишера. Понятие кучности и радиуса круга доверия. Вычисление среднего направления для выборки единичных векторов. Критерии надежности палеомагнитных данных.

#### **Раздел 6. Приемы и методы палеомагнитных исследований. Области применения палеомагнитных исследований**

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 7. Применение методов палеомагнетизма при решении задач магнитостратиграфии. Палеонапряженность.**

Инверсии, эпизоды, экскурсы. Шкалы инверсий – глобальные и региональные. Абсолютная шкала Кокса (1963). Шкалы инверсий по линейным магнитным аномалиям и по океаническим осадкам (1975). Палеомагнитная корреляция.

Магнитостратиграфические шкалы. Особенности проведения магнитостратиграфических исследований. Магнитостратиграфия и циклостратиграфия. Примеры магнитостратиграфической корреляции разрезов. Вспомогательные исследования при проведении магнитостратиграфической корреляции.

Абсолютная и относительная оценки напряженности магнитного поля Земли в прошлом. Метод Телье-Коэ. Законы Телье. Лабораторное оборудование для оценки величины палеонапряженности, процедура лабораторных измерений. Критерии надежности. Напряженность магнитного поля Земли в мезозое и кайнозое.

#### **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. Основные минералы-носители намагниченности в горных породах и их точки Кюри.
2. Определить первичную или вторичную природу выделенной высокотемпературной компоненты намагниченности на основании результатов тестов палеомагнитной надежности
3. Определить критерий надежности палеомагнитного определения (по Van der Voo, 1991) и присвоить ему DemagCode.
4. Реконструировать взаимное положение двух континентов на основании их Траекторий кажущейся миграции полюса.
5. Определить вращение/смещение континентального блока относительно стабильного кратона.
6. Реконструировать вращение Иберийского полуострова относительно «Стабильной» Европы по данным линейных магнитных аномалий
7. Скоррелировать разрезы на основании результатов магнитостратиграфических исследований

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

*Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации (экзамене):*

1. Элементы магнитного поля.
2. Траектория кажущейся миграции палеомагнитного полюса.
3. Аналитическое представление магнитного поля Земли.
4. Дипольный характер магнитного поля Земли.
5. Каталоги палеомагнитных определений и Глобальная база палеомагнитных данных.
6. Прямая и обратная задачи палеомагнитологии.
7. Главное и аномальное магнитное поле Земли.
8. Структура магнитного поля Земли. Недипольная и аномальная части главного магнитного поля.
9. Нормальная и идеальная намагниченности.
10. Вековые вариации магнитного поля Земли.
11. Использование результатов палеомагнитных исследований в геологии.
12. Гипотезы происхождения магнитного поля Земли.
13. Ориентационная намагниченность.
14. Модели самоподдерживающегося динамо.
15. Магнитные домены. Доменное состояние вещества.
16. Инверсии и экскурсы магнитного поля Земли.
17. Магнитная чистка переменным магнитным полем: принцип, преимущества и ограничения.
18. Магнитные свойства твёрдых тел.
19. Минералогия ферромагнитных минералов.
20. Термоостаточная и химическая остаточная намагниченности.
21. Магнитный гистерезис. Основные параметры петли гистерезиса.
22. Полевые тесты оценки возраста компоненты намагниченности. Тест обращения.
23. Принципы палеомагнитного изучения геологических объектов: планирование исследований и отбор палеомагнитных коллекций.
24. Распределение Фишера, статистика векторов на сфере.
25. Магнитная релаксация и суперпарамагнетизм.
26. Основные этапы палеомагнитного исследования.
27. Построение палеотектонических реконструкций при помощи палеомагнитных данных.



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

Результаты обучения, соответствующие виды оценочных средств	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
<b>Знания</b> (устный опрос) физических основ палеомагнитного метода, основных характеристик современного геомагнитного поля, базовых понятий петромагнетизма	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
<b>Умения</b> (устный опрос) использовать результаты петро- и палеомагнитных исследований при построении палеорекострукций и корреляции разрезов осадочных толщ	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности непринципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы.	Успешное умение.
<b>Владения</b> (устный опрос) методами графического отображения результатов магнитных чисток и методом выделения компонент ЕОН	Навыки владения отсутствуют	Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков	В целом сформированные 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

- нелицензионные и свободного доступа

пакет программ Open Office

**В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

- реферативная база данных издательства Elsevier: [www.sciencedirect.com](http://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.