

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

**УТВЕРЖДАЮ**

**Декан Геологического факультета  
академик**

\_\_\_\_\_/Д.Ю.Пушаровский/

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 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 20\_\_

---

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*) в редакции приказа МГУ №1674 от 30 декабря 2016 г.

Год (годы) приема на обучение – 2016.

© 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.

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО** – вариативная часть, профессиональный цикл, профессиональные дисциплины по выбору, курс – IV, семестр – 7.

### **2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:**

освоение дисциплин «Общая геология», «Физика», «Высшая математика», «Математические методы в геологии».

Дисциплина необходима в качестве предшествующей для дисциплины «Физика Земли», дисциплин магистерской программы «Региональная геология», а также для научно-исследовательской работы и выполнения выпускных квалификационных работ.

### **3. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.**

Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины:

ОПК-3.Б Способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки (формируется частично),

СПК-1.Б Способность использовать специализированные знания в области региональной геологии, геотектоники и геодинамики, литологии и морской геологии, палеонтологии, геологии полезных ископаемых для решения научных и практических задач (формируется частично).

### **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):**

**Знать:** основные характеристики магнитного поля Земли, ключевые магнитные свойства пород, виды магнитных веществ, типы остаточной намагниченности горных пород, полевые тесты палеомагнитной надежности; основные принципы построения палеотектонических реконструкций; возможности и ограничения палеомагнитного метода при решении различных геологических задач.

**Уметь:** грамотно предложить необходимый комплекс палео- и петромагнитных исследований при решении конкретных задач стратиграфии. Диагностировать минералы-носители намагниченности, выделять компоненты естественной остаточной намагниченности; определять природу древних компонент намагниченности и время их приобретения породами; работать с палеомагнитной базой данных, рассчитывать положение палеомагнитного полюса.

**Владеть:** приемами первичной обработки полевого и лабораторного материала. Владеть навыками палеомагнитного анализа и методами проведения магнитостратиграфических исследований.

**4. Формат обучения** – лекционные и семинарские занятия.

**5. Объем дисциплины (модуля)** составляет 2 з.е., в том числе **38** академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (**14** часов – занятия лекционного типа, **14** часов – занятия семинарского типа, **10** часов – мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), **34** академических часа на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

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

**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.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы * (виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Раздел 1. Введение		2			2	Подготовка к контрольному опросу, 2 часа
Раздел 2. Современное геомагнитное поле		2			2	Подготовка к контрольному опросу, 4 часа
Раздел 3. Механизм генерации геомагнитного поля		2			2	Подготовка к контрольному опросу, 4 часа
Раздел 4. Магнетизм минералов и горных пород		2		1	3	Подготовка к контрольному опросу, 4 часа
Раздел 5. Виды естественной остаточной намагниченности		2		1	3	Подготовка к контрольному опросу, 4 часа
Раздел 6. Приемы и методы палеомагнитных исследований				4	4	Подготовка к контрольному опросу, 4 часа
Раздел 7. Статистика палеомагнитных данных				4	4	Подготовка к контрольному опросу, 4 часа
Раздел 8. Области применения палеомагнитных исследований		2			2	Подготовка к контрольному опросу, 4 часа
Раздел 9. Применение методов палеомагнетизма при решении задач магнитоstrатиграфии		2		4	6	Подготовка к контрольному опросу, 4 часа
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>						10
<b>Итого</b>	<b>72</b>			<b>28</b>		<b>44</b>

## **Содержание лекционных занятий:**

### **Введение**

Краткие исторические сведения об изучении основных характеристик магнитного поля Земли. Первые представления о магнитном поле Земли, открытие магнитного склонения и магнитного наклонения, понятие 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.

### **Современное геомагнитное поле**

Элементы земного магнетизма. Единицы измерения элементов магнитного поля. Геомагнитные обсерватории. Приборы для измерения магнитного поля Земли. Соотношение основных характеристик магнитного поля в декартовой и сферической системах координат. Сферический гармонический анализ измеренных значений геомагнитного поля, 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.

### **Механизм генерации геомагнитного поля**

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 Глацмайера и Робертса (1995). Инверсии поля. Магнитные поля Солнца и планет.

### **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. 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) имеет противоположное направление.

### **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.

## **Приемы и методы 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.

## **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.

## **Области применения палеомагнитных исследований**

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

## **Применение методов палеомагнетизма при решении задач магнитостратиграфии**

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

## **Содержание семинаров:**

### **1. Основные минералы-носители намагниченности в горных породах.**

Магнитные минералы в горных породах. Магнетит – гематит и тройная система  $TiO_2 - Fe_3O_4 - Fe_2O_3$  – титаномагнетитовый и гемоильменитовый 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.

Магнитные характеристики горных пород: магнитная восприимчивость, магнитная анизотропия, термомагнитные характеристики, гистерезисные свойства.

### **2. 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 магнитоэлектрических, 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.

### **3. 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  $\alpha95$ .

Критерии надежности палеомагнитного полюса. Каталоги палеомагнитных определений и Глобальная база палеомагнитных данных (Pisarevsky, 2005).

### **Рекомендуемые образовательные технологии**

При реализации программы дисциплины «Введение в палеомагнитологию» во время аудиторных занятий (28 часов) занятия проводятся в виде лекций и семинарских занятий, с использованием ПК и компьютерного проектора, а самостоятельная работа студентов подразумевает работу под руководством преподавателей (консультации).

## **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.**

Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся контрольные опросы/работы.

#### ***Примерный перечень вопросов для проведения текущего контроля/ Темы конт рольных работ :***

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



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

### *Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации:*

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.**

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: физических основ палеомагнитного метода, основных характеристик современного геомагнитного поля, базовых понятий петромагнетизма	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания

Умения: использовать результаты петро- и палеомагнитных исследований при построении палеореконструкц ий и корреляции разрезов осадочных толщ	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическо е умение, допускает неточности непринципаль ного характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение использовать результаты петро- и палеомагнитны х исследований при построении палеореконстру кций и корреляции разрезов осадочных толщ.	Успешное умение использовать результаты петро- и палеомагнитн ых исследований при построении палеореконстр укций и корреляции разрезов осадочных толщ
Владения: методами графического отображения результатов магнитных чисток и методом выделения компонент ЕОН	Навыки владения графическими методами отсутствуют	Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков	В целом сформированны е навыки использования графических методов изображения результатов магнитных чисток	Владение графическими методами, использование их для решения задач.

## 8. Ресурсное обеспечение:

### А) Перечень основной и дополнительной литературы.

#### а) основная литература:

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

#### б) дополнительная литература:

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

Б) Перечень лицензионного программного обеспечения пакеты программ, Microsoft Office Excel, Microsoft Office PowerPoint (при необходимости)

В) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (лицензионное программное обеспечение не требуется).

Г) Материально-технического обеспечение: специализированная аудитория, оснащенная компьютером и LCD-проектором, а также лаборатория петромагнетизма кафедры динамической геологии, библиотека Геологического факультета МГУ.

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватель (преподаватели) – Лубнина Н.В., Веселовский Р.В.

11. Автор (авторы) программы – Лубнина Н.В., Веселовский Р.В.