

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

Построение геодинамических реконструкций

Автор-составитель: Лубнина Н.В.

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

05.04.01 Геология

Направленность (профиль) ОПОП:

Геотектоника и геодинамика

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 освоения дисциплины «**Построение геодинамических реконструкций**» - получение магистрантами навыков построения магнитотектонических и геодинамических реконструкций в специализированных программах (Gmap и GPlates).

Задачи: 1) научиться строить реалистичные геодинамические реконструкции на основе кондиционных палеомагнитных данных; 2) уметь рассчитывать кинематические параметры перемещений континентальных блоков на сфере; 3) научиться представлять 3D реконструкции (анимации) перемещения плит в абсолютной/относительной системах координат для фанерозоя и докембрия соответственно.

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Основной целью дисциплины «**Построение геодинамических реконструкций**» является формирование у магистрантов четких научных представлений о роли палеомагнитных и структурных методов исследований при решении глобальных, региональных и локальных задач и построении глобальных магнитотектонических и геодинамических реконструкций в абсолютных и относительных системах координат. Основное внимание в курсе уделено обучению и практическому освоению современных методик построения глобальных и региональных геодинамических реконструкций. Основными задачами курса является освоение программных комплексов Gmap и GPlates и их применение для построения геодинамических реконструкций.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП – относится к вариативной части ОПОП, является обязательной для освоения.

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

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
СПК-4.М (1) Способен выполнять палеотектонические реконструкции, в том числе на основании палеомагнитных данных, составления и анализа карт фаций и мощностей, определения горизонтальных смещений в условиях покровно-складчатой структуры и при региональных сдвигах, интерпретировать	М-СПК-4 (1). И-1 Владеет методами построения палеотектонических реконструкции, и оценки полей напряжений на основании различных геологических данных	Знать: Особенности построения глобальных реконструкций в абсолютной и относительной системах координат; основные принципы геологических корреляций, используемых в геодинамике; принципы построения магнитотектонических и геодинамических реконструкций. Уметь: работать с Глобальными палеомагнитными базами данных, рассчитывать координаты палеомагнитного полюса; оценивать качество палеомагнитных данных согласно критериям палеомагнитной надежности; реконструировать положение континентальных блоков в абсолютной и

<p>данные геохимических и изотопных исследований в областях современной тектономагматической активности, оценивать поля напряжений</p>		<p>относительной системах координат; рассчитывать кинематические параметры движения континентальных блоков на сфере; сопоставлять магнитотектонические реконструкции с геологическими, географическими и тектоническими данными. Владеть: методами построения магнитотектонических и геодинамических реконструкций в абсолютной и относительной системах координат в различных специализированных программах.</p>
--	--	---

4. Объем дисциплины (модуля) составляет **1** з.е., в том числе **28** академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем (лекции и семинары), **8** академических часа на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – зачет.

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. Магнитотектонические и геодинамические реконструкции. Основные принципы построения	2	2			2					
Раздел 2. Методы отбора палеомагнитных данных для построения магнитотектонических реконструкций. Современные Глобальные палеомагнитные базы данных.	4	4			4					
Раздел 3. Траектории кажущейся миграции палеомагнитных полюсов (ТКМП). Кинематические параметры движений на сфере.	4	4			4					
Раздел 4. Программа GMAP-2015 для построения магнитотектонических реконструкций.	10	2		4	6	4				4
Раздел 5. GIS-система для построения геодинамических реконструкций GPlates 3.1.	14	2		8	10	4				4
Промежуточная аттестация <i>зачет</i>	2	2								
Итого	36	28				8				

Содержание лекций, семинаров

Содержание лекций

Раздел 1. Магнитотектонические и геодинамические реконструкции. Основные принципы построения.

Магнитотектоника. Основные направления магнитотектонических исследований. Прямая и обратная задачи магнитотектоники. Глобальные, региональные и локальные реконструкции. Абсолютные и относительные системы координат. Абсолютные системы координат: (1) Система всех плит; (2) Система горячих точек; (3) Система оси вращения Земли. Построение геодинамических реконструкций в абсолютных системах координат. Методы конечного совмещения и Траектории кажущейся миграции полюса. Относительные системы координат. Метод фиксации одного континента. Основные принципы и отличия построения магнитотектонических и геодинамических реконструкций для фанерозоя и докембрия.

Раздел 2. Методы отбора палеомагнитных данных для построения магнитотектонических реконструкций. Современные Глобальные палеомагнитные базы данных.

Геомагнитный, виртуальный геомагнитный и палеомагнитный полюсы. Критерии надежного палеомагнитного полюса. Критерии надежности палеомагнитных определений Q-index [Van der Voo, 1993], Demag Code (DC) [McElhinny and McFadden, 2000], R-index [Meert et al., 2020]. Понятие ключевого палеомагнитного полюса [Buchan et al., 2000].

Принципы построения каталогов палеомагнитных определений. Глобальные палеомагнитные базы данных [McElhinny, Lock, 1997], [Pisarevsky, 2005] и MagIC-Pmag [Tauхе et al., 2006]. Тесты палеомагнитной надежности: контакта, складки, конгломератов (галеки), несогласия и обращения. Статистика Фишера для определения среднего положения и достоверности результатов измерений направлений остаточной намагниченности.

Раздел 3. Траектория кажущейся миграции палеомагнитного полюса (ТКМП). Кинематические параметры движений на сфере.

Траектория кажущейся миграции полюса. Принципы построения: (1) метод наименьших квадратов, (2) дискретного окна, (3) скользящего окна, (4) сплайнов. Геометрические операции на сфере. Дуги больших и малых кругов. Треки и каспы. Кинематические параметры движения континентальных блоков на сфере – скорость перемещения, угол поворота, угловая скорость. Связь между векторами линейных и угловых скоростей. Вращения на сфере. Эйлера полюс вращения. Определение параметров вращения блока относительно неподвижного кратона. Построение реконструкций относительно горячих точек. Реконструкция взаимного положения двух континентов. Суперконтиненты, их образование и распад. Подход Эванса–Писаревского (2008) для реконструкций докембрийских суперконтинентов. Определение угловых расстояний для пар одновозрастных ключевых полюсов докембрийских континентальных блоков.

Раздел 4. Программа Gmap-2015 (Т. Torsvik, 2015) для построения магнитотектонических реконструкций.

Знакомство с программой Gmap-2015 (Т. Torsvik, 2015). Шесть основных географических проекций для построения магнитотектонических реконструкций: преимущества и ограничения. Границы литосферных плит. Создание новых континентальных блоков в программе Gmap-2015 для конкретного интервала времени; понятие о времени существования континентального блока в геодинамических реконструкциях. Расчет положения полюса древнего дипольного поля в современной системе координат (виртуальный геомагнитный полюс). Переход в древнюю систему координат, в которой дипольный полюс расположен на оси вращения Земли (палеомагнитный полюс). Матрицы вращения. Расчет кинематических параметров перемещений континентальных блоков в программе Gmap-2015.

Раздел 5. GIS-система для построения геодинамических реконструкций GPlates 3.1.

Глобальные и региональные палеогеографические и геодинамические реконструкции в ГИС-системе GPlates. Общие сведения. Точечные, линейные и площадные объекты в GPlates. Порядок организации и создания временного среза (time-slice) геодинамической реконструкции. Коды основных континентальных блоков, используемых в программе GPlates.

Работа с EarthByte Plate Model 2009 – Глобальной базой данных, содержащей границы всех современных плит, а также палеоплит. Работа с Глобальной базой данных Dynamic Closed Plate Polygon Data Files, позволяющей проследить изменения границ 40 основных плит от 0 до 140 млн. лет (с интервалом в 1 млн. лет). Работа с Эйлеровыми полюсами вращения.

Загрузка и обработка нескольких растровых изображений в форматах *.jpeg или *.NetCDF, включая временные последовательности растровых изображений для визуализации «по сетке». Привязка глобальных растровых изображений, охватывающих весь земной шар (карта линейных магнитных аномалий, конвекции в мантии+динамической топографии поверхности и др.). «Вырезание» растровых данных для конкретных полигонов, используемых при построении реконструкций. Создание геодинамических реконструкций вместе с растровыми данными в различных проекциях (ортогональной, прямоугольной, Меркаторовской, Мольвейда, Робинсона и др.). On-line перемещение и изменение положения геодинамической реконструкции на экране.

План проведения семинарских занятий:

1. Построение 3D реконструкций (анимаций) перемещения плит в абсолютной/относительной системах координат для фанерозоя.
2. Построение Траекторий кажущейся миграции полюса с использованием палеомагнитных полюсов, отобранных из Глобальных баз данных.

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. Определить Эйлеров полюс вращения Мадагаскара относительно Африки в мезозое-кайнозое.
2. Реконструировать кинематику раскрытия Атлантического океана на основании анализа линейных магнитных аномалий в относительной системе координат.
3. Определить кинематику движения Иберийского полуострова относительно

«стабильной» Европы на основании анализа линейных магнитных аномалий и палеомагнитных полюсов.

4. Построить магнитотектоническую реконструкцию в Системе Гавайской горячей точки.
5. Определить абсолютное смещение Исландской горячей точки относительно Гавайской.
6. Построить Траектории кажущейся миграции отдельного блока (Балтики, Сибири, Африки и т.п.) в определенном временном интервале.
7. Построить магнитотектоническую реконструкцию относительно одного фиксированного континента.

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

Примерный перечень вопросов при промежуточной очной аттестации (зачет):

1. Основные принципы построения геодинамических реконструкций
2. Геодинамические, магнитотектонические и палинспастические реконструкции.
3. Траектории кажущейся миграции полюса – способы построения аппроксимирующей зависимости.
4. Основные методы построения магнитотектонических реконструкций.
5. Какие тесты палеомагнитной надежности позволяют определить первичность выделенной компоненты естественной остаточной намагниченности NRM?
6. Синскладчатая намагниченность и ее значение при построении магнитотектонических реконструкций.
7. Горячие точки и мантийные плюмы: магнитотектонические реконструкции в абсолютной системе координат.
8. Реконструкции раскрытия Атлантики: новые методы и подходы
9. Геодинамические и магнитотектонические реконструкции складчатых областей: оценка перемещений.
10. Геодинамические реконструкции ороклинов: примеры, механизмы и модели образования.
11. Какие стереографические проекции и почему предпочтительнее использовать при построении региональных магнито-тектонических реконструкций для полярных областей?
12. Какие стереографические проекции и почему предпочтительнее использовать для построения глобальных магнито-тектонических реконструкций и расчета кинематических параметров перемещений континентальных блоков, располагавшихся в приэкваториальных широтах?
13. Метод штриховых кодов ('bar codes') для тестирования геодинамических реконструкций.
14. Крупные магматические провинции: методы изучения и перспективы.
15. Глобальные пояса перемагничивания пород: использование для построения геодинамических реконструкций.
16. Реконструкции в Системе всех плит для фанерозоя: принципы построения и основные неопределенности;
17. Кинематические параметры перемещения континентальных блоков: основные параметры и допустимые значения.
18. Совпадение разновозрастных палеомагнитных полюсов для одного и того же тектонического блока: геологические и палеомагнитные следствия.
19. Возраст пород и время приобретения породами метахронных компонент намагниченности: способы определения
20. Какие геологические критерии используются для тестирования реконструкций начала распада докембрийских суперконтинентов?

21. Перемещение и вращение блоков на сфере: основные принципы при построении магнитотектонических реконструкций.

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

Оценка результатов обучения, <i>соответствующие виды оценочных средств</i>	Незачет	Зачет
Знания (<i>устный опрос</i>) особенностей построения глобальных реконструкций в абсолютной и относительной системах координат, основных принципов геологических корреляций, используемых в геодинамике и принципы построения магнитотектонических и геодинамических реконструкций	Фрагментарные знания или отсутствие знаний	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания
Умения (<i>устный опрос</i>) работать с Глобальными палеомагнитными базами данных, рассчитывать координаты палеомагнитного полюса, оценивать качество палеомагнитных данных согласно критериям палеомагнитной надежности, реконструировать положение континентальных блоков в абсолютной и относительной системах координат, рассчитывать кинематические параметры движения континентальных блоков на сфере и сопоставлять магнитотектонические реконструкции с геологическими, географическими и тектоническими данными	В целом успешное, но не систематическое умение или отсутствие умений	Успешное и систематическое умение или в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)
Владение (<i>устный опрос</i>) методами построения магнитотектонических и геодинамических реконструкций в	Наличие отдельных навыков или отсутствие навыков	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач или, в целом, сформированные навыки (владения), но

абсолютной и относительной системах координат в различных специализированных программах		используемые не в активной форме
---	--	----------------------------------

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. *(наличие печатных изданий в Научной библиотеке МГУ имени М.В. Ломоносова и электронных изданий в кафедральном фонде)*;
- 2) Butler, R. 2004. Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geological Terranes. Electronic Edition, London. 238 p. *(наличие электронных изданий в кафедральном фонде)*;
- 3) Condie, Kent C., 1997. Plate Tectonics and Crustal Evolution, published by Butterworth Heinemann, Boston. *(наличие электронных изданий в кафедральном фонде)*;
- 4) McElhinny, M.W., McFadden, P.L. Paleomagnetism: Continents and Oceans. 1999. Academic Press. International Geophysics series, Volume 73. 386 p. *(наличие электронных изданий в кафедральном фонде)*.

- дополнительная литература:

- 1) Кокс, А., Харт, Р. Тектоника плит. М.: Мир, 1989. 427 с.
- 2) Boyden, J.A., Müller, R.D., Gurnis, M., Torsvik, T.H., Clark, J.A., Turner, M., Ivey-Law, H., Watson, R.J. and Cannon, J.S., 2011, Next-generation plate-tectonic reconstructions using GPlates, in: Geoinformatics: Cyberinfrastructure for the Solid Earth Sciences, Keller G.R. and Baru, C., eds., Cambridge University Press, p. 95–114.
- 3) Gurnis, M., M. Turner, S. Zahirovic, L. DiCaprio, S. Spasojevic, R. D. Müller, J. Boyden, M. Seton, V. C. Manea, and D. J. Bower, [Plate tectonic reconstructions with continuously closing plates](#), Computers & Geosciences, 38, 35-42, 2012.
- 4) Meert J.G., Pivarunes A.F., Evans D.A.D., Pisarevsky S.A., Pesonen L.J., Li Z.-X., Elming S.-A., Miller S.R., Zhang S., Salminen J., 2020. The magnificent seven: A proposal for modest revision of the Van der Voo (1990) quality index. Tectonophysics 790, 228549. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2020.228549>
- 5) Torsvik T.H. Gmap2015 for Windows 7-8. User manual and exercises. <http://www.earthdynamics.org/software>
- 6) Williams, S., Müller, R.D., Landgrebe, T. C.W., Whittaker, J.M., 2012, An open-source software environment for visualizing and refining plate tectonic reconstructions using high resolution geological and geophysical data sets, GSA Today, 22, no. 4/5, doi: 10.1130/GSATG139A.1.
- 7) Qin, X., Müller, R.D., Cannon, J., Landgrebe, T.C.W., Heine, C., Watson, R.J., and Turner, M., 2012, The GPlates Geological Information Model and Markup Language, Geosci. Instrum. Method. Data Syst. Discuss., 2, 1–63, doi:10.5194/gid-2-365-2012.

Б) Перечень программного обеспечения:

- лицензионное

нет

- **нелицензионные и свободного доступа**

пакет программ Open Office, GIS-система Gplate 3.1., Gmap-2015

В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

- реферативная база данных издательства Elsevier: www.sciencedirect.com
- Global Paleomagnetic DataBase GPMDB-2004 (Pisarevsky, 2005);
- On-Line Data and Software Tools in Paleomagnetism and Plate Tectonics (Milan, Italy);
- Lisa Tauxe, Subir K. Banerjee, Robert F. Butler and Rob van der Voo. Essentials of Paleomagnetism: Fifth Web Edition (<https://earthref.org/MagIC/books/Tauxe/Essentials/>);
- Global Paleomagnetic Data Base MagIC-Pmag [Tauxe et al., 2006]

Г) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- поисковая система научной информации www.scopus.com
- электронная база научных публикаций www.webofscience.com
- всероссийской научной электронной библиотеки Elibrary <http://elibrary.ru/>
- сайты издательств Springer – <http://www.springer.com>
- Программа Gplates – <http://www.gplates.org/> (the Gplates Web Portal)
- Software for Palaeomagnetic Directional Analysis and Statistics;
- Программа GMAP software (<http://www.geodynamics.no/GMAP/>);
- Энциклопедия Британника: <http://global.britannica.com/science/plate-tectonics>

Д) Материально-технического обеспечение:

Учебная аудитория с мультимедийным проектором

Компьютерный класс

9. Язык преподавания – русский.

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

11. Разработчики программы: профессор Лубнина Н.В.