

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

УТВЕРЖДАЮ
Декан геологического
факультета, чл.-корр. РАН
Еремин Н.Н.



«25» сентября 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Комплексный анализ и интерпретация геолого-геофизических данных

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

05.04.01. Геология

Магистерская программа:

«Малоглубинная и глубинная геофизика»

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методическим Советом
Геологического факультета МГУ
(протокол № 6 от 8 сентября 2025)

Москва 2025

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Геология», утвержденным приказом по МГУ от 30.12.2016 № 1674 (в действующей редакции).

Год приема на обучение: 2024.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП. Относится к профильному блоку вариативной части ОПОП, является дисциплиной обязательной. Курс магистратуры – II, семестр – 3.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия. Базируется на знаниях по дисциплинам «Общая геология», «Геотектоника», «Геология и геохимия нефти и газа», «Гравиразведка», «Магниторазведка», «Электроразведка», «Сейсморазведка», «Геофизические исследования скважин», «Ядерная геофизика», «Геотермия и петротермальная геофизика», «Основы петрофизики», «Комплексирование геофизических методов», «Теоретические основы обработки геофизических сигналов», «Методы обработки и интерпретации данных гравиразведки и магниторазведки», «Геологическая интерпретация данных электроразведки», «Геологическая интерпретация данных гравиразведки и магниторазведки».

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

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с индикаторами достижения компетенций
ОПК-3.М	М.ОПК-3. И-1. Определяет цель, задачи, обосновывает актуальность и разрабатывает логическую схему проекта в профессиональной области. М.ОПК-3. И-2. Формулирует методику решения исследовательских задач на основе классических подходов и инновационных идей геологических и смежных наук.	Знать: основные принципы комплексирования, особенности современных методов, подходов и технологий качественной и количественной интерпретации данных геофизических методов с учетом петрофизической и геологической обстановки. Уметь: выбрать и обосновать оптимальный комплекс методов исследования; последовательность методов и процедур интерпретации комплекса геолого-геофизических данных, обеспечивающую эффективное решение поставленной задачи (геологической, поисковой, геотехнической и пр.), реализуемое в комплексе геолого-геофизических методов исследования.

ОПК-6. М.	М.ОПК-6. И-1. Выбирает способы обработки данных и программные средства для решения задач профессиональной деятельности с учетом основных требований информационной безопасности. М.ОПК-6. И-2. Использует ГИС-технологии для решения профессиональных задач. М.ОПК-6. И-3. Использует компьютерные, в т.ч. ГИС-технологии для представления результатов исследований.	Знать: принципы построения внутренней архитектуры цифровых систем различного назначения и технические требования к их элементам. Уметь: проектировать архитектуру цифровых систем для геолого-геофизических задач.
СПК-3.М (1)	М.СПК-3. И-1. Владеет методами обработки и интерпретации данных гравиразведки, магниторазведки и электроразведки с учётом априорной геолого-геофизической информации М.СПК-3. И-2. Использует теоретические знания для выбора оптимальной методики интерпретации геофизических данных для решения различных геологических задач.	Знать: современные методы обработки и интерпретации комплексной геологической, гравиметрической, магниторазведочной и электроразведочной информации, формальные и неформальные способы учета априорной геологической информации, применяемые при решении сложных геологических задач. Уметь: творчески, с учетом особенностей геологического объекта и задач и стадии исследований, использовать современные методы обработки и интерпретации геофизических данных, выбрать оптимальную методику комплексного анализа геоданных и применить ее для решения конкретной геолого-геофизической задачи, строить наглядные и геологически значимые результативные 2Д и 3Д решения (разрезы и объемные модели).

4. Объем дисциплины 2 з.е., в том числе 42 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем (12 часов – занятия лекционного типа, 30 часов – занятия семинарского типа), 30 академических часов на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины Форма промежуточной аттестации по дисциплине	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	с Работа литературой	Подготовка доклада	к Подготовка контрольному опросу	Всего
Раздел 1. Введение.	1	1	-		1					
Раздел 2. Основные алгоритмы комплексного анализа геоданных.	12	2		6	8		2	2		4
Раздел 3. Количественная комплексная интерпретация геоданных.	10	2		4	6		2	2		4
Раздел 4. Сейсмо-гравитационное моделирование	12	2		6	8		2	2		4
Раздел 5. Комплексирование геофизических методов при решении малоглубинных задач Контрольный опрос.	12	2		6	8	2	2	2		4

Раздел 6. Комплексирование геофизических методов при решении задач рудной геофизики Контрольный опрос.	10	2		4	6	2	2	2		7
Раздел 7. Комплексирование геофизических методов при решении задач нефтегазовой геологии	9	1		4	5	2	2	2		7
Промежуточная аттестация <u>экзамен</u>	0	<i>Письменный экзамен*</i>				0				
Итого	72	42				30				

*Промежуточная аттестация в форме экзамена проводится во время экзаменационной сессии, предусмотренной графиком учебного процесса

Развернутое содержание тем и разделов дисциплины

Содержание лекций

Раздел 1. Введение.

История создания методов комплексных анализа и интерпретации геолого-геофизических данных. Развитие геоинформационных систем и технологий комплексного анализа и интерпретации данных. Математические модели комплексного анализа и количественной комплексной интерпретации.

Раздел 2. Основные алгоритмы комплексного анализа геоданных.

Атрибутный анализ геофизических полей. Расчеты атрибутов волновых и потенциальных полей в скользящих окнах «живой» формы статистических, спектральных, корреляционных и градиентных. Размеры окна для вычисления состоятельных и эффективных оценок атрибутов. Информативность атрибутов и способы ее оценки при решении задач поисков и геокартирования. Особенности расчета атрибутов для волновых и потенциальных полей.

Раздел 3. Количественная комплексная интерпретация геоданных.

Математическая постановка задач количественной комплексной интерпретации по определению геометрических и физических параметров искомых объектов. Понятие о согласованных физико-геологических моделях. Количественные оценки адекватности физико-геологических моделей реальной среде.

Раздел 4. Сейсмо-гравитационное моделирование.

Геологические предпосылки совместного анализа сейсмических и гравитационных данных. История развития метода. Петрофизические основы связи скорость–плотность и эмпирические зависимости для разных типов пород. Глобальные модели Земли: согласование данных сейсмологии и гравиметрии. Распределение плотности в недрах. Анализ моделей границы Мохо и земной коры по комплексу методов. Методика региональных исследований: построение сейсмоплотностных моделей, удовлетворяющих наблюдаемому полю и условиям изостазии. Примеры 2D моделирования вдоль профилей ГСЗ. Современное 3D моделирование: интеграция сейсмических кубов, данных ГИС и гравитации. Итерационные методы уточнения скоростных законов. Оценка разрешающих способностей комплекса и перспективы развития.

Раздел 5. Комплексирование геофизических методов при решении малоглубинных задач

Специфика малоглубинных исследований. Оптимальные комплексы методов. Постановка задач изучение верхней части разреза. Особенности интерпретации при высоких требованиях к детальности и точности.

Раздел 6. Комплексирование геофизических методов при решении задач рудной геофизики

Прямые и косвенные поисковые признаки месторождений полезных ископаемых. Роль магниторазведки и электроразведки, гравиразведка при. Комплекс геофизических методов для изучения структурного положения рудных тел на глубине.

Раздел 7. Комплексирование геофизических методов при решении задач нефтегазовой геологии

Поисково-разведочный цикл исследований. Использование гравиразведки и магниторазведки для районирования и составление тектонических схем. Электроразведка для изучения глубинного строения и прогноза флюидонасыщения. Комплекс ГИС.

План проведения семинаров:

Тема 1. Алгоритмы комплексного анализа геоданных

Обсуждение основных алгоритмов комплексного анализа геоданных при наличии эталонных объектов: логические, регрессионные (нейронные регрессионные сети), проверки статистических гипотез (байесовский подход) и вероятностные нейронные сети. Оценка качества методов распознавания образов. Примеры применения.

Обсуждение основных алгоритмов классификации геополей на однородные области при отсутствии эталонных объектов: метод главных компонент, метод К-средних и его модификации. Оценка качества проведенной классификации. Методики расчетов по алгоритмам классификации. Примеры применения.

Обсуждение развития метода главных компонент при решении задач классификации с учетом корреляционных связей между полями и их атрибутами по всей площади наблюдений или в пределах временного разреза. Математическая и физическая идентичность метода главных компонент и энергетической фильтрации. Алгоритм многопризнаковой (многоатрибутной) энергетической фильтрации и результаты его применения при обработке потенциальных и волновых полей.

Тема 2. Количественная комплексная интерпретация геоданных.

Обсуждение возможностей применения машинного обучения при анализе геолого-геофизических данных. Искусственный интеллект – направление, решающее задачи моделирования интеллектуальной деятельности человека. Машинное обучение – раздел искусственного интеллекта, изучающий методы построения алгоритмов, способных обучаться. Нейронные сети – класс алгоритмов машинного обучения, моделирующих поведение биологических нейронных сетей. Глубокое обучение – раздел нейронных сетей, включающий в себя многослойные (глубокие) нейронные сети.

Тема 3. Подходы и алгоритмы совместного анализа сейсморазведочных и гравиразведочных данных.

Обсуждение методики комбинированного сеточно-блокового моделирования для построения слоистых и слоисто-блоковых моделей глубинного строения на основе глубин залегания сейсмических поверхностей, интервальных скоростей, априорной плотностной модели. Анализ критериев выбора геометрических параметров модели (размер элементарной ячейки, учет краевых эффектов) от размеров области моделирования и типа (двумерное или трехмерное) моделирования. Теория решения прямой и обратной двумерной и трехмерной задач гравиразведки. Анализ особенностей методов подбора латерального изменения плотности в слое, формы плотностной границы, решения нелинейной трехмерной задачи гравиразведки. Оценка невязки между наблюдаемыми и модельными данными.

Тема 4. Методика построения согласованных ФГМ земной коры.

Анализ применимости линейной и логистической регрессии при анализе геолого-геофизических данных. Линейная регрессия – аппроксимация зависимости между входными и выходными данными на основе линейной функции. Логистическая регрессия – модель линейного классификатора, решающая задачу бинарной классификации (0/1 или Нет/Да).

Примерный перечень тем рефератов:

1. Логические алгоритмы при наличии эталонных объектов
2. Алгоритмы классификации полей при отсутствии эталонных объектов
3. Метод главных компонент с учетом корреляционных связей между полями
4. Алгоритмы многопризнаковой (многоатрибутной) энергетической фильтрации
5. Математическая постановка задачи количественной комплексной интерпретации
6. Методика комплексной интерпретации потенциальных полей на основе их трансформаций
7. Нейронные сети в задачах классификации полей
8. Применение алгоритмов машинного обучения для решения задач регрессии в геофизике
9. Обзор существующих геоинформационных систем для решения комплексных задач геофизики
10. Атрибутный анализ геофизических полей

11. Примеры комплексирования при глубинном исследовании Земли
12. Примеры комплексирования при решении обратных задач в региональной геологии
13. Примеры комплексирования при решении обратных задач в рудной геологии
14. Примеры комплексирования при решении обратных задач в нефтегазовой геологии
15. Примеры комплексирования при решении обратных задач в инженерной геологии
16. Кластеризация данных комплекса геофизических методов
17. Выбор оптимального комплекса геофизических методов

6. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине:

6.1. Примерный перечень типовых вопросов при текущей аттестации при проведении контрольных работ и докладов по темам рефератов:

1. Понятие комплексного анализа геолого-геофизических данных.
2. Математические модели комплексного анализа и количественной интерпретации.
3. Атрибутный анализ геофизических полей.
4. Размеры окна для вычисления состоятельных и эффективных оценок атрибутов.
5. Информативность атрибутов и способы ее оценки при решении задач поисков и геокартирования.
6. Особенности расчета атрибутов для волновых и потенциальных полей.
7. Основные алгоритмы комплексного анализа геоданных при наличии эталонных объектов: логические, регрессионные (нейронные регрессионные сети), проверки статистических гипотез (байесовский подход) и вероятностные нейронные сети.
8. Оценка качества методов распознавания образов. Примеры применения.
9. Алгоритм многопризнаковой (многоатрибутной) энергетической фильтрации и результаты его применения при обработке потенциальных и волновых полей.
10. Методика комплексной интерпретации гравитационного и магнитного полей на основе пересчета полей в нижнее полупространство по алгоритмам Б.А. Андреева, А.В. Петрова, И.М. Приезжева с построением разрезов эффективных значений плотности и намагниченности.
11. Задачи априорной плотностной (магнитной) модели и перевод эффективных значений физических параметров в их «истинные» значения.

12. Методика сеточного моделирования при построении слоистых и слоисто-блоковых моделей глубинного строения земной коры на основе данных ГСЗ, КМПВ и др. методов, задание априорной плотностной (магнитной) модели и ее коррекция путем линейной интерполяции.
13. Технология построения согласованных ФГМ земной коры по данным комплекса глубинной сейсморазведки, МТЗ, грави- и магниторазведки масштаба 1:200000. Примеры ее использования по геотраверсам на территории Восточной Сибири.
14. Геоинформационные системы и технологии комплексного анализа и количественной комплексной интерпретации геолого-геофизических данных.

6.2. Примерный перечень типовых вопросов при промежуточной аттестации (экзамен):

1. Атрибутный анализ геофизических полей. Расчеты атрибутов волновых и потенциальных полей в скользящих окнах «живой» формы статистических, спектральных, корреляционных и градиентных.
2. Основные алгоритмы классификации геополей на однородные области при отсутствии эталонных объектов: метод главных компонент, метод К-средних и его модификации. Оценка качества проведенной классификации. Методики расчетов по алгоритмам классификации. Примеры применения.
3. Метод главных компонент при решении задач классификации с учетом корреляционных связей между полями и их атрибутами по всей площади наблюдений или в пределах временного разреза. Математическая и физическая идентичность метода главных компонент и энергетической фильтрации.
4. Математическая постановка задач количественной комплексной интерпретации по определению геометрических и физических параметров искомых объектов.
5. Понятие о согласованных физико-геологических моделях. Количественные оценки адекватности физико-геологических моделей реальной среде. Методика комплексной интерпретации гравитационного и магнитного полей на основе расчета коэффициента ранговой корреляции эффективных значений физических параметров в скользящем 3D-окне. Геометризация глубинного разреза по аномальным значениям коэффициента ранговой корреляции.
6. Оценка вещественного состава пород по значениям плотности и намагниченности с привлечением имеющихся значений скорости и проводимости.
7. Методика сеточного моделирования при построении слоистых и слоисто-блоковых моделей глубинного строения земной коры. Расчет физических параметров между слоями, создание сети точечных источников по разрезу с дальнейшим решением прямой задачи и расчета невязки между наблюдаемыми и модельными данными.

8. Интеграция детерминированного и вероятностно-статистического подхода для количественной комплексной интерпретации геоданных.
9. Технологии «прямого» прогноза углеводородов по данным комплексного анализа атрибутов временного сейсмического разреза, потенциальных и электромагнитных полей. Возможности подтверждения абиогенной гипотезы образования ловушек углеводородов.
10. Перспективы развития новых математических методов и геоинформационных систем при решении задач комплексного анализа и количественной интерпретации геолого-геофизических данных. Возможности генетических алгоритмов и экспертных систем.

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

Результаты обучения, <i>соответствующие виды оценочных средств</i>	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: принципы оптимального комплексирования; цели и задачи комплексирования; основные алгоритмы и методика комплексного анализа геоданных	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения (<i>устный опрос</i>) целенаправленно, с учетом конечной геологической задачи и масштаба исследований, собрать необходимый данные, выбрать оптимальную методику комплексного анализа геоданных и применить ее для решения конкретной геолого-геофизической задачи.	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности не принципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы.	Успешное умение.
Навыки (<i>владения, опыт деятельности</i> (<i>устный опрос</i>)) методами сбора информации, методами комплексного анализа геоданных и способами наглядного изображения результатов.	Навыки владения отсутствуют	Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков	В целом сформированные навыки.	Свободное владение и использование.

7. Ресурсное обеспечение:

7.1. Перечень основной и дополнительной литературы.

Основная литература:

1. Черемисина Е.Н., Никитин А.А. Системный анализ в природопользовании: учебное пособие для вузов. – М.: ВНИИГеосистем, 2014. 117 с.
2. Никитин А.А., Хмелевской В.К. Комплексирование геофизических методов: учебник для вузов. – 2-е изд. испр. и доп. – М.: ВНИИГеосистем, 2012. 346 с.

Дополнительная литература:

1. Андреев Б.А., Клушин И.Г. Геологическое истолкование гравитационных аномалий. Л.: Недра, 1965. 405 с.
2. Гвишиани А.Д., Диаман М., Михайлов В.О. и др. Алгоритмы искусственного интеллекта для кластеризации магнитных аномалий // Физика Земли. 2002. № 7. С. 13-28.
3. Гольцман Ф.М. Статистические модели интерпретации. М.: Наука, 1971. 327 с.
4. Гольцман Ф.М., Калинина Т.Б. Статистическая интерпретация магнитных и гравитационных аномалий. Л.: Недра, 1983. 248 с.
5. Никитин А.А. Использование статистической теории обнаружения сигналов для выделения слабых геофизических аномалий // Изв. вузов. Геология и разведка. 1977. № 6. С. 77-87.
6. Петров А.В., Трусов А.А. Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа трехмерной геоинформации КОСКАД 3D // Геофизика. 2000. № 4. С. 29-33.
7. Приезжев И.И. Уточнение геологической модели по данным гравитационного поля на основе критериальных методов решения обратных задач // Геофизика. 2010. № 1. С. 65-68.
8. Серкерев С.А. Корреляционные методы анализа в гравиразведке и магниторазведке. М.: Недра, 1986. 247 с.
9. Шимелевич М.И., Оборнев Е.А. Нейросетевой метод магнитотеллурического мониторинга геоэлектрических параметров среды на основе неполных данных // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 1. Вып. 11. С. 171-176.
10. Элланский М.М. Петрофизические связи и комплексная интерпретация данных промысловой геофизики. М.: Недра, 1978. 254 с.

7.2. Перечень лицензионного программного обеспечения:

- лицензионное

программы Microsoft PowerPoint, Microsoft Word;

- нелицензионное и свободного доступа

пакет программ Open Office.

7.3.Описание материально-технической базы:

Учебный компьютерный класс, оснащенный мультимедийным проектором и учебной доской. Персональные компьютеры, оснащенные необходимыми стандартными и специальными прикладными программами.

8. Язык преподавания: русский

9. Преподаватели: доц. Лыгин И.В. (ответственный по дисциплине), проф. Булычев А.А., проф. Модин И.Н., проф. Куликов В.А., проф. Пушкарев П.Ю., доц. Кузнецов К.М.

10. Разработчики программы: доц. Лыгин И.В, проф. Булычев А.А., проф. Модин И.Н., проф. Куликов В.А., проф. Пушкарев П.Ю., доц. Кузнецов К.М.