

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:

Теоретические основы обработки геофизических сигналов

Уровень высшего образования:

Бакалавриат

Направление подготовки:

05.03.01. Геология

Профиль программы бакалавриата:

Геофизика

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
методической комиссией геологического факультета
(протокол № _____, 25 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: 2023.

Цель и задачи дисциплины

Целью курса «Теоретические основы обработки геофизических сигналов» является получение знаний о теоретических принципах и основах, практических приемах и способах анализа и обработки экспериментальных данных разведочной геофизики.

Задачи: ознакомление с теоретическими основами обработки и анализа данных, являющимися общими для всех методов геофизики; освоение практических процедур обработки и способов анализа экспериментальных последовательностей; овладение приемами определения и изучения спектральных и корреляционных свойств геофизических полей; освоение регрессионного и факторного анализа полей; овладение навыками построения оптимальных фильтров и алгоритмами проведения фильтрации данных для определенных математических моделей экспериментальных полей в условиях различной полноты априорной информации о сигналах и помехах; ознакомление с принципами и процедурами обработки комплекса геолого-геофизических атрибутов; получение навыков владения процедурами обработки геофизических данных на примере компьютерной системы КОСКАД-3D; ознакомление с современными приемами обработки (вейвлет-анализ, нейронные сети, генетические алгоритмы, фрактальный анализ и др.); овладение способами решения конкретных задач разделения полей на составляющие и выделения сигналов на фоне помех; приобретение навыков проведения комплексного анализа геофизических полей и их атрибутов..

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Дисциплина «Теоретические основы обработки геофизических сигналов» направлена на получение знаний о теоретических принципах и основах, практических приемах и способах анализа и обработки экспериментальных данных разведочной геофизики. В процессе изучения дисциплины обучающиеся знакомятся с теоретическими основами обработки и анализа данных, являющимися общими для всех методов геофизики и осваивают практические приемы обработки и способы анализа экспериментальных последовательностей. Даются навыки применения процедур обработки геофизических данных на примере компьютерной системы КОСКАД-3D.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП. Относится к профильному блоку вариативной части ОПОП, является обязательной для освоения. Курс – IV, семестр – 7..

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия. Базируется на знаниях по дисциплинам «Математический анализ», «Линейная алгебра», «Теория вероятности и математическая статистика», «Вычислительная математика», «Физика», «Теория геофизических полей», «Магниторазведка», «Гравиразведка», «Электроразведка», «Сейморазведка», «Геофизические исследования скважин».

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-1.Б.	Б.ОПК-1.И-1. Использует базовые знания фундаментальных разделов наук естественнонаучного и математического циклов в профессиональной деятельности	<i>Знать:</i> принципы детерминированного и вероятностно-статистического подходов; основные приемы изучения спектральных и корреляционных свойств полей; основы теории статистических решений для выделения слабых сигналов; <i>Уметь:</i> обрабатывать данные в компьютерных системах; использовать результаты обработки геоданных при решении геологических задач; формулировать требования к приемам обработки, их параметрам и условиям их оптимального применения; <i>Владеть:</i> основными приемами обработки данных; программным обеспечением; эффективными приемами анализа результатов обработки при решении геологических задач..
ОПК-3.Б. (формируется частично).	Б.ОПК-3. И-3. Владеет базовыми навыками обработки и интерпретации информации при решении стандартных задач профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки.	<i>Знать:</i> основные подходы и приемы анализа и обработки геофизических данных; основные стандартные процедуры обработки данных геофизических методов; <i>Уметь:</i> обрабатывать данные в компьютерных системах; использовать результаты обработки для решения стандартных задач; <i>Владеть:</i> основными приемами обработки данных; стандартным программным обеспечением; приемами анализа и оценки качества результатов обработки.
ПК-2.Б (формируется частично).	Б.ПК-2. И-2. Владеет навыками по обработке полученных результатов согласно требованиям, принятым в профессиональном сообществе.	<i>Знать:</i> основные требования к результатам обработки геофизических данных и их представлению для последующей интерпретации; <i>Уметь:</i> обрабатывать данные в соответствии с принятыми требованиями и особенностями решаемых стандартных задач; <i>Владеть:</i> стандартными приемами обработки, визуализации и интерпретации данных геофизических методов.

4. Объем дисциплины 2 з.е., в том числе 42 академических часа на контактную работу обучающихся с преподавателем (14 часов лекций и 28 часов семинаров), 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 семинарского типа	Всего	Расчетно-графические работы	Работа с литературой (включая подготовку доклада)	Подготовка реферата	Подготовка к контр. опросу	Всего
Тема 1. Введение	1	1		1					
Тема 2. Основные понятия теории вероятностей и математической статистики	10	2	4	6		1			1
Текущая аттестация 1: доклад с презентацией								1	
Тема 3. Корреляционно регрессионный анализ	6	1	2	3	1	1			3
Тема 4. Дисперсионный и факторный анализы	6	1	2	3	1	1			3
Тема 5. Корреляционные характеристики геофизич. полей	10	2	4	6	1	1	1		3
Текущая аттестация 2: доклад с презентацией								1	
Тема 6. Спектральный анализ геофизических сигналов	5	1	2	3	1	1	1		2
Текущая аттестация 3: защита реферата								1	
Тема 7. Линейная фильтрация геофизических полей	5	1	2	3	1	1	1		2
Текущая аттестация 4: защита реферата								1	
Тема 8. Оптимальные линейные фильтры	10	2	4	6	1	1	1		4

Текущая аттестация 5: доклад с презентацией								1	
Тема 9. Теория статистических решений для обнаружения слабых сигналов	10	2	4	6	1	1			4
Тема 10. Комплексный анализ геофизических данных	9	1	4	5	1	1			4
Промежуточная аттестация <u>экзамен</u>	4	Устный экзамен			4				
Итого	72	42			30				

РАЗВЕРНУТОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТЕМ И РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

Содержание лекций

1. Введение

- 1.1. Современные условия получения геолого-геофизической информации. Необходимость в наблюдении и особенности измерений геофизических полей. Актуальные требования к экспериментальным данным, обработке и результатам их интерпретации.
- 1.2. Цели, задачи и направленность обработки. Фундаментальные подходы к обработке экспериментальных данных. Основы математического аппарата анализа физических полей. Методы и приемы обработки информации, получившие наибольшее практическое применение.
- 1.3. Основные направления развития современных методов обработки геофизической информации.
- 1.4. План и аннотация курса. Ссылки на источники основной и дополнительной литературы.

2. Основные понятия теории вероятностей и математической статистики

- 2.1. Событие и вероятность: события и их типы; события-гипотезы; определения и свойства вероятности.
- 2.2. Случайная величина и описание данных измерений: случайная величина и ее числовые характеристики; характеристики системы случайных величин; свойства основных характеристик случайной величины; связь значений и вероятности случайной величины; возможность использования числовых характеристик на практике.
- 2.3. Статистические оценки (статистики): понятия «выборка», «генеральная совокупность», «оценка»; свойства и методы нахождения оценок; связь «количество – точность – надежность»; формулы для статистических оценок числовых характеристик; оценка функции распределения значений случайной величины; оценка плотности распределения (вероятностей) случайной величины.
- 2.4. Статистическая проверка простой гипотезы: понятия «статистическая гипотеза» и «критерий проверки»; виды и типы статистических гипотез; области действия и типы критериев; критерии соответствия статистической и теоретической функций распределения; критерии принадлежности двух выборок к одной генеральной совокупности.
- 2.5. Пример статистической обработки данных измерений физических свойств горных пород: процедуры статистической обработки (анализа) данных; представление результатов статистического анализа (обработки) данных; оценка вероятности разделения гистограмм; оценка

точности значений частот для интервалов (разрядов) гистограммы; разделение гистограмм сложной формы; оценка необходимого количества измерений для заданной точности; статистический анализ данных наблюдений геофизических полей для решения задач распознавания образов.

2.6. Выводы: основа анализа данных - вероятностно-статистический подход; основные процедуры статистической обработки данных универсальны; прикладные статистические методы основаны на законах и следствиях теории вероятностей; значения случайных величин и их вероятности связаны законами распределения; для оценки значений случайных величин используют статистические характеристики (атрибуты); оценкой функции распределения значений случайной величины является кумулятивная кривая; плотность распределения значений случайной величины оценивают гистограммой; нормальное (Гауссово) распределение наиболее часто используется на практике; закон больших чисел и центральная предельная теорема имеют важные практические следствия; при практическом анализе используется связь «количество – точность – надежность»; статистическая зависимость случайных величин оценивается корреляционными характеристиками; для проверки статистических гипотез используют критерии значимости; использование прикладных методов статистического анализа на всех этапах обработки геофизических данных; вероятностно-статистический подход применяется при решении разнообразных прикладных задач.

3. Корреляционно регрессионный анализ данных (выявление зависимости между признаками, интерполяция, аппроксимация)

3.0 Введение: установление и изучение зависимости между исследуемыми параметрами; необходимость интерполяции, аппроксимации, сглаживания данных гф методов; корреляционно-регрессионный анализ (вероятностно-статистический подход); методы интерполяции полиномами и функциями (детерминированный подход).

3.1 Корреляция и регрессия: статистическая (стохастическая) зависимость; взаимосвязь между случайными величинами и ее форма; оценка формы регрессионной зависимости

3.2. Оценка тесноты корреляционной связи: выборочный коэффициент корреляции и его аналоги; критерии отсутствия корреляции; множественный и частный коэффициент корреляции; мера связи нескольких параметров; оценка нелинейной корреляционной связи.

3.3. Виды регрессий и их применение: линейная регрессия; нелинейная регрессия; множественная регрессия.

3.4. Корреляционные методы преобразования аномалий: сущность корреляционных методов преобразования аномалий; результат применения корреляционных методов; два подхода для выявления полезной остаточной составляющей поля; метод трансформации геофизических аномалий; метод разделения геофизических аномалий; практические результаты использования корреляционных методов.

3.5 Кусочно-полиномиальная аппроксимация: причины и цель поинтервальной аппроксимации; алгоритм аппроксимации одномерной кривой; пример применения для сглаживания значений эффективной скорости.

3.6 Интерполяция и сглаживание: сущность метода интерполяции; интерполяционные полиномы; сплайн интерполирование и виды сплайн-функций; регулируемое сглаживание полей с использованием кубических сплайнов; особенности сплайн-интерполяции; интерполяция системой гармонических функций.

3.7 Выводы: наличие корреляционной связи позволяет прогнозировать значения одного из параметров; для оценки силы связи используют выборочный коэффициент корреляции; наблюдаемое «облако» точек аппроксимируют уравнением регрессии; регрессионные зависимости используют для прогноза значений одного из параметров; корреляционные методы преобразования полей позволяют выявлять составляющие; регулируемая аппроксимация данных эффективный инструмент для сглаживания геофизических полей; при интерполяции и сглаживании используют различные функции и их комбинации.

4. Дисперсионный и факторный анализы геофизических данных

4.0. Введение: изучение и сравнение дисперсий случайных величин; оценка влияния фактора на распределение данных; отсутствие систематических (прибор, методика, условия) ошибок в измерениях; оценка влияния систематической ошибки по двум и более приборам; выводы на основе анализа измерений при разных состояниях фактора (приборы, поля, профили); практические задачи обработки данных, решаемые с применением дисперсионного анализа.

4.1. Основы дисперсионного анализа: установление влияния фактора на изучаемую величину (фактор + случайные причины); однофакторный дисперсионный анализ наборов данных при разных состояниях фактора; двухфакторный дисперсионный анализ (два прибора, геологических фактора); двухфакторный дисперсионный анализ рангов (закон распределения отклонений неизвестен).

4.2. Дисперсионный анализ при изучении тренда: применение при изучении регрессионных зависимостей и поверхностей; задачи дисперсионного анализа (зависимость, степень, значимость коэффициентов); оценка согласованности регрессионной зависимости с исходными данными; оценка эффективности увеличения степени в уравнении регрессии; оценка влияния коэффициента в уравнении регрессии.

4.3. Факторный анализ: изучение внутренней структуры ковариационной матрицы (профили, методы, параметры); влияние признаков на другие, факторов на признаки, выражение признаков через факторы; информационная матрица, учет влияния факторов, исключение связей, независимые факторы; задача факторного анализа (представление связей факторами), факторизация; изучение простых структур факторных нагрузок; разложение поля источников на составляющие, обработка данных комплекса геофизических признаков; истолкование (физическое, геологическое) выявленных факторов.

4.4. Метод главных компонент: компонентный анализ наиболее часто используемая модификация факторного анализа; этапы изучения внутренней структуры ковариационной матрицы; нахождение собственных значений и собственных векторов, расщепление на компоненты; свойства собственных значений и собственных векторов, физическая интерпретация, фактор; основное соотношение метода главных компонент; оценка числа основных независимых факторов.

4.5. Области применения факторного и компонентного анализов: разделение поля на ортогональные составляющие, пример эффективности процедуры; интерполяция наблюдаемых полей, пример построения интерполяции; применение метода итераций для уменьшения

среднеквадратической ошибки интерполяции; фильтрация наблюдаемых полей; классификация геологических объектов по комплексу признаков; планирование физического эксперимента.

- 4.6. Выводы: дисперсионный, факторный, компонентный анализы - изучение и сравнение дисперсий данных; дисперсионный анализ - выявление и оценка влияния фактора (по соотношению дисперсий); оценки согласованности зависимости, степеней и значений коэффициентов регрессии (по результатам дисперсионного анализа); факторный анализ - изучение внутренней структуры ковариационной (корреляционной) матрицы; разделение поля на составляющие, интерполяция и фильтрация, классификация объектов (по результатам факторного анализа).

5. Корреляционные характеристики геофизических полей

- 5.0. Введение: от случайных событий, величин и их систем к случайным процессам; представление результатов измерений как случайных процессов; модель случайного процесса для описания геофизических данных по профилям, скважинам, трассам; расширение круга задач, решаемых при обработке данных; особая роль корреляционных функций случайных процессов.
- 5.1. Основные понятия теории случайных процессов: случайный процесс (обобщение понятия «система случайных величин»), реализация, сечение; простые числовые характеристики случайного процесса и их особенности; различия сечений случайного процесса, описание различий, автокорреляционная функция; свойства автокорреляционной функции; стационарность и эргодичность случайных процессов; структурная и взаимно корреляционная функции.
- 5.2. Автокорреляционная функция (АКФ) и ее применение: условия расчета АКФ, значения при сдвигах, графическая демонстрация ковариации; нормированная АКФ, значения при сдвигах, графики корреляционной связи; построение ковариационной и корреляционной матриц по АКФ; типы АКФ; интервал (радиус) корреляции, оценки интервала корреляции; задачи, решаемые с использованием АКФ и интервала корреляции; точность определения АКФ; использование АКФ для детерминированных сигналов.
- 5.3. Взаимно корреляционная функция (ВКФ) и ее применение: оценка корреляционных свойств двух случайных процессов по ВКФ; условия расчета ВКФ, значения при сдвигах, ранговая ВКФ; точность определения ВКФ; задачи, решаемые с использованием ВКФ.
- 5.4. Двумерные корреляционные функции: оценка корреляционных свойств двумерных геофизических полей по двумерной АКФ (ДАКФ) и двумерной ВКФ (ДВКФ); ДАКФ для произвольной сети, оценка основных статистических характеристик изотропных полей; использование ДАКФ.
- 5.5. Структурная функция: изучение нестационарных геофизических полей по структурной функции; пример применения структурной функции.
- 5.6. Выводы: свойство эргодичности позволяет получать оценки характеристик случайного процесса по одной реализации; отличие случайного процесса от случайной величины - наличие интервала между наблюдаемыми характеристиками; АКФ имеет самостоятельное значение и

применяется для решения задач обработки; АКФ и ВКФ применяются для решения широкого круга задач обработки и анализа данных; структурная функция устойчива к нестационарности случайного процесса по математическому ожиданию.

6. Спектральный анализ геофизических сигналов

- 6.0. Введение: место спектрального анализа среди процедур и методов обработки геофизических данных; получение информации при разложении поля на частотные составляющие; возможности спектрального анализа для фильтрации исходных данных, оценки погрешностей, сравнении эффективности обработки данных; объединение анализа Фурье и статистического анализа временных последовательностей; преимущества спектрального анализа при обработке данных конечной длительности.
- 6.1. Спектры дискретно заданного сигнала: исходные данные – дискретные сигналы; спектральный анализ детерминированных сигналов; модельное представление периодических и непериодических сигналов; период сигнала; разложение по периодическим функциям; обозначения и условия представления сигнала; представление функции рядом Фурье; условия Дирихле, нахождение коэффициентов Фурье; основная частота сигнала; кратные частоты – гармоники основной частоты; частота Найквиста; среднее значение сигнала; тригонометрическая форма ряда Фурье; связь коэффициентов Фурье с амплитудами и фазами гармоник; амплитудный и фазовый спектр; вид спектров для периодических сигналов; изменение фазы; пример вычислений спектров; комплексный спектр; вид ряда Фурье; комплексно сопряженный спектр сигнала; энергетический спектр сигнала; средняя мощность сигнала; ограниченность полосы частот сигнала; прямое и обратное преобразование Фурье; восстановление сигнала по спектрам; разложение по сферическим функциям. Замечание о быстром преобразовании Фурье: ускорение процесса вычисления спектра; алгоритм быстрого преобразования Фурье; принцип работы алгоритма; основное условие применения алгоритма.
- 6.2. Спектры непрерывных сигналов и их дискретных аналогов: спектры непрерывных сигналов; условия представления непрерывного периодического сигнала в виде ряда Фурье; коэффициенты, амплитуды, фазы, спектры; отсутствие ограничений по частоте; обратное преобразование Фурье; аperiodические сигналы; интегралы Фурье; спектры аperiodического сигнала; спектр убывающего по экспоненте сигнала; спектр мощности аperiodического сигнала; круговая частота; вид одномерного и двухмерного преобразований Фурье; эквивалентность преобразований Фурье и Ханкеля для задач с круговой симметрией; вид преобразований Ханкеля. Свойства преобразований Фурье: основные свойства преобразований Фурье для аperiodических сигналов (линейность, симметрия, подобие); запаздывание сигнала, смещение спектра; дифференцирование сигнала; интегрирование сигнала; свертка двух сигналов, свертка двух спектров; выражение для энергии аperiodического сигнала через спектральную плотность. Спектры некоторых непрерывных сигналов: вычисление спектров с использованием свойств преобразований Фурье; часто применяемые сигналы и их спектры (дельта-функция Дирака, функция Хевисайда, прямоугольная функция, треугольная функция, знаковая функция, косинусоида, функция Лапласа, функция Гаусса, функция Бергале); таблица гравитационных и магнитных аномалий тел простой формы и их спектров. Дискретизация непрерывных сигналов: дискретизация аналоговых записей без искажения информации; теорема Котельникова; ограниченность спектров

сигналов; справедливость теоремы Котельникова для всех геофизических сигналов; условие полного восстановления функции; частота дискретизации; обратная теорема Котельникова; представление функции рядом Котельникова; примеры изменения формы спектра дискретного сигнала при изменении шага дискретизации; взаимное наложение основного и побочных спектров – причина невозможности восстановления сигнала; причина наложения частот; различимость пиков определяется длиной записи; значение максимальной различимой частоты определяется интервалом отсчета; пример применения низкочастотной фильтрации перед дискретизацией данных сейсморазведки; значения интервалов дискретизации при каротаже, регистрации электрических полей; зависимость дискретизации геофизических полей потенциальных методов от шага съемки; выбор величины шага путем расчета спектров для наиболее узких ожидаемых аномалий.

6.3. Спектры случайного процесса.

6.4. Z-преобразование и разложение сигналов по другим системам ортогональных функций.

6.5. Основные приложения спектрального анализа при обработке геофизических сигналов

7. Линейная фильтрация геофизических полей

7.1. Понятия сигнала (аномалии) и помехи. Математическая модель измеряемого поля.

7.2. Понятие о линейной фильтрации. Свертка.

7.3. Построение фильтров для заданного диапазона частот.

7.4. Построение фильтров в комплексной плоскости.

7.5. Двумерные линейные фильтры

8. Оптимальные линейные фильтры

8.1. Критериальный подход к построению линейных фильтров: критерий Колмогорова-Винера; принцип регуляризации Тихонова; задача обнаружения сигнала; пиковое отношение сигнал/помеха; энергетическое отношение сигнал/помеха; критерий максимума пикового отношения сигнал/помеха; критерий максимума энергетического отношения сигнал/помеха

8.2. Понятие о линейной фильтрации. Свертка.

8.3. Фильтр Колмогорова-Винера (фильтр сглаживания; фильтр воспроизведения; пример нахождения весовых коэффициентов); выделение аномалий в гравиразведке; обратная фильтрация (фильтр сжатия, оптимальный обратный фильтр, корректирующая фильтрация); фильтр прогнозирования (метод максимума энтропии).

8.4. Согласованный фильтр (пример нахождения весовой характеристики согласованного фильтра, пример обнаружения сигнала на фоне коррелированной помехи).

8.5. Энергетический фильтр (пример построения энергетического фильтра).

8.6. Двумерные оптимальные фильтры

9. Теория статистических решений для обнаружения слабых сигналов

- 9.0. Введение: необходимость обоснованной процедуры для принятия решения о наличии сигнала; слабый сигнал; обнаружение, выделение, оценка формы сигнала; максимальное извлечение полезной информации; применение теории проверки статистических гипотез для принятия решения о наличии сигнала.
- 9.1. Критерии принятия статистических решений: две статистические гипотезы при решении задачи обнаружения сигнала; ошибки первого и второго рода; критерии принятия решений; применение критериев принятия решения о наличии сигнала.
- 9.2. Надежность обнаружения сигнала: определение надежности обнаружения сигнала по энергетическому отношению сигнал-помеха; выражение для вероятности правильного обнаружения сигнала известной формы и амплитуды; значения вероятностей (A , B , V) для критерия максимального правдоподобия; определение значения энергетического отношения для достижения заданной надежности; практические выводы из анализа характеристик обнаружения сигнала; увеличение надежности обнаружения сигнала.
- 9.3. Способ обратных вероятностей: обнаружение сигнала с использованием проверки статистических гипотез; использование формулы Байеса для вычисления обратных вероятностей; алгоритм обнаружения сигнала для некоррелированной помехи; физический смысл слагаемых под знаком экспоненты в алгоритме обнаружения; алгоритм обнаружения сигнала на фоне коррелированных помех; оценка качества обработки по способу обратных вероятностей; распознавание двух близко расположенных сигналов по способу обратных вероятностей.
- 9.4. Способ межпрофильной корреляции: расчет взаимно корреляционных функций; определение смещения; задание направлений суммирования; нахождение сумм; выделение аномалий и аномальных зон; оценка разрешающей способности; пример разделения магнитных аномалий.
- 9.5. Способ адаптивной (самонастраивающейся) фильтрации: критерии многомерного статистического анализа; принцип алгоритма; оценка отношения амплитуды сигнала к дисперсии помех; нахождение порога по критерию Неймана-Пирсона; надежность обнаружения аномалии; накопление аномального эффекта; выбор размеров окна; перемещение окна; выделение и классификация аномалий; принятие решения о наличии аномалии; модельный пример применения адаптивного фильтра; разрешающая способность адаптивной фильтрации; пример схемы вычислений оценки; применение адаптивной фильтрации; пример выделения осей аномалий.
- 9.6. Непараметрические приемы обнаружения сигналов: знаковая статистика, знаковый алгоритм; порядковая статистика; ранг; ранговая статистика; ранговый алгоритм; знаково-ранговый алгоритм; пример использования знаково-рангового алгоритма; эффективный знаковый алгоритм; алгоритм Вилкоксона; знаково-ранговый алгоритм обнаружения детерминированного сигнала; устойчивость ранговых алгоритмов; основные процедуры знаково-рангового алгоритма; непараметрические аналоги способов межпрофильной корреляции; коэффициент ранговой корреляции Спирмена; ранговая взаимно корреляционная функция; процедуры рангового аналога межпрофильной корреляции; выделение слабого сигнала нелинейным накоплением; непараметрический аналог адаптивной фильтрации;

критерий Фридмана; обнаружение сигнала неизвестной формы на фоне некоррелированных помех; пример выделения слабого сигнала на фоне ненормально распределенных помех; разрешающая способность комплекса способов межпрофильной корреляции, адаптивной фильтрации; значимость непараметрической адаптивной фильтрации в комплексе способов.

10. Комплексный анализ геофизических данных

10.0. Введение: надежность обнаружения аномалий комплексом методов; направленность обработки данных комплекса; задача классификации геологических объектов; теория распознавания образов; связь структуры поля, объекта и образа; решение задач поиска, геокартирования, прогноза месторождений; зависимость выбора обработки от характера исходных признаков и их зависимости, от наличия априорной информации и особенностей задачи; использование эталонов и самообучения.

10.1. Принципы обработки данных комплекса: выделение аномалии – задача распознавания образов; этапы решения задачи; этапы обработки данных комплекса. Математическая модель и постановка задачи: общий вид статистической модели; распознавание с обучением; классификация без обучения; выбор эталонных объектов для изучения статистических характеристик признаков; применение алгоритма классификации для разделения пунктов наблюдений на однородные классы с известными статистическими характеристиками признаков; признаки геологических объектов. Оценка статистических характеристик и информативности признаков: эталонные объекты и элементарные ячейки; два способа выбора элементарных ячеек; количественная и качественная информация; независимость признаков; признаки геофизических и геологических полей; целевое свойство ячейки; выделяемые объекты; количество эталонных объектов для оценки плотности распределения признаков; оценка зависимости признаков; информативность признака; частная информативность признака; информационная значимость признака; сочетание признаков (совокупность); информативная совокупность признаков. Выбор алгоритма обработки данных комплекса: условия для выбора алгоритма обработки. Принятие решений о наличии искомых объектов: мера сходства; минимум риска; оценка риска; локальность и надежность прогноза; критерий оптимизации; оптимальный порог; оценка вероятности по формуле Байеса; ранжирование объектов по индексу перспективности; связь запасов и меры сходства; разделение площади на однородные области. Оценка качества обработки данных комплекса: ошибка распознавания объектов; оценка вероятности ошибки распознавания; вероятности ошибок первого и второго рода; безусловная вероятность ошибки; надежность распознавания; вероятность ошибки распознавания для объектов трех различных классов.

10.2. Оценка информативности признаков (необходимость оценки информативности). Надежность разделения объектов разных классов: универсальность надежности; алгоритм определения надежности разделения объектов двух классов и пример его применения; оценка информативности для зависимых признаков; оценка значимости вклада признака; полный анализ информативности признаков; условие для информативной совокупности признаков. Количество информации: оценка среднего количества информации; относительная информативность; суммарная относительная информативность. Оценка частной информативности градаций признаков: смещенное отношение условных вероятностей; оценка информационной значимости признака по сумме значимостей градаций признака; условие

формирования информативной совокупности признаков; условие включения признака в совокупность; условие правильного распознавания объекта; условие исключения признака из совокупности; алгоритм исключения признака из совокупности.

10.3. Обработка данных при наличии эталонных объектов (типы алгоритмов распознавания). Логические алгоритмы (установление меры сходства по суммарной информативности совокупности признаков): алгоритм «кора-3»; алгоритм тупиковых тестов; алгоритм «потенциал-2»; алгоритм меры сходства; условия применения алгоритмов; примеры опробования алгоритмов; влияние выбора эталонных объектов на результаты работы алгоритма; необходимость интерпретации мер сходства; минимизация коэффициента риска; выявление зависимости между мерой сходства и количеством классов – детерминистский алгоритм. Алгоритмы регрессионного анализа: решение задач промысловой геофизики и интерпретации гравимагнитных данных; построение зависимости между искомым параметром и признаками физических полей; удобство использования для комплекса данных; эффективность алгоритмов при построении математических моделей геологических параметров по геофизическим признакам; пример уравнения регрессии; алгоритм построения регрессии; особенность алгоритмов; ограниченность физической интерпретации. Алгоритмы по проверке статистических гипотез: применение критериев максимального правдоподобия и максимума апостериорной вероятности; построение гистограмм значений признаков и корреляционных матриц по эталонным объектам; алгоритм обработки для двух классов; частные коэффициенты правдоподобия – количественная оценка информативности признаков; отсутствие ограничений на законы распределения признаков; пример расчета коэффициента правдоподобия и апостериорной вероятности для двух признаков; распознавание объектов при количестве классов больше двух; построение алгоритмов распознавания по зависимым признакам; допущения при реализации алгоритмов; дискриминантная функция; алгоритм обнаружения по комплексу признаков принадлежности объекта к одному классу; проверка гипотезы о равенстве средних векторов признаков эталонного и искомого объектов; проверка гипотезы о равенстве средних и дисперсий признаков эталонного и искомого объектов; проверка гипотезы о равенстве корреляционных матриц для зависимых признаков эталонного и искомого объектов; фиксированный порог принятия решения; условие нормальности распределений; непараметрический алгоритм; оптимизация критерия качества распознавания; разрешающая способность распознавания; максимальная вероятность класса в оптимальной окрестности объекта.

10.4. Обработка данных комплекса при отсутствии эталонных объектов: эвристические алгоритмы классификации; корреляционный алгоритм классификации; алгоритмы классификации на основе проверки статистических гипотез; алгоритм классификации методом К-средних.

План проведения семинаров.

1. Способы нахождения статистических оценок (количество-точность-надежность).
2. Статистические оценки функции и плотности распределения случайной величины.
3. Способы проверки статистических гипотез.

4. Примеры применения прикладных методов статистического анализа.
5. Способы выявления стохастических зависимостей случайных величин.
6. Примеры использования корреляционных связей между параметрами.
7. Практические примеры применения дисперсионного анализа данных.
8. Практическое применение факторного анализа данных.
9. Применение корреляционных функций для решения практических задач.
10. Особенности практических реализаций спектральных преобразований данных.
11. Области применения линейной фильтрации.
12. Реализация оптимальных линейных фильтров и анализ результатов их применения
13. Применение критериев принятия решений для обнаружения слабых сигналов.
14. Приемы (методика) и способы (обработка) обнаружения слабых сигналов.
15. Практическая реализация алгоритмов анализа и обработки комплекса признаков.
16. Построение и анализ гистограмм, оценка основных статистических характеристик.
17. Определение типа и формы корреляционной связи между случайными величинами.
18. Оценка значения ковариационной связи между величинами, практические выводы.
19. Разложение полей на составляющие методом главных компонент.
20. Расчет и изучение типов АКФ, оценка интервала корреляции, построение матрицы.
21. Построение ВКФ для разделения сигналов по разным направлениям.
22. Расчеты спектров дискретно заданного сигнала, непрерывного периодического сигнала, автокорреляционных функций.
23. Расчеты линейных фильтров для подавления заданной области частот. Изучение частотных характеристик двумерных линейных фильтров.
24. Построение оптимальных фильтров при заданных значениях АКФ сигналов и помех. Выполнение фильтрации данных по самостоятельно рассчитанным фильтрам.
25. Сравнительный анализ оптимальных фильтров, их характеристик и результатов фильтрации для нескольких типов сигналов и помех.
26. Расчеты по способу обратных вероятностей, межпрофильной корреляции и самонастраивающейся фильтрации с использованием системы КОСКАД-3D.
27. Расчеты комплексного параметра и проведение кластерного анализа с использованием системы КОСКАД-3D.

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

Типовые задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения:

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется при сдаче каждым студентом выполненных (на семинарах и самостоятельно) практических работ, защите рефератов и результатов самостоятельных факультативных работ по следующим темам:

1. Проверка принадлежности выборок значений кажущегося сопротивления к одной генеральной совокупности для данных площадных электротомографических измерений.
2. Практическое использование статистических характеристик кажущегося сопротивления для выполнения первичной обработки данных электротомографии.
3. Оценка качества результатов двумерной инверсии данных электротомографии для основного и робастного вариантов.
4. Влияние изменения пространства анализируемых статистических атрибутов (признаков) на увеличение достоверности комплексной интерпретации данных методов естественного поля и электропрофилирования.
5. Выявление формы и силы корреляционных связей между результатами измерений методов естественного поля и электропрофилирования для построения пространства классов методом общего расстояния.
6. Практическое применение алгоритмов основанных на проверке статистических гипотез для классификации данных электротомографии.
7. Оценка радиуса корреляции и практические результаты использования при обработке и совместной интерпретации площадных данных методов электротомографии и естественного поля.
8. Применение корреляционных методов преобразования аномалий для удаления ураганных отскоков из данных электротомографии.
9. Анализ результатов применения метода остаточной составляющей поля для устранения эффектов от приповерхностных неоднородностей, неработающих электродов и сбоев аппаратуры в методе электротомографии.
10. Практическая реализация метода разделения геофизических аномалий и его применение для первичной обработки данных электротомографии.
11. Практические результаты применения дисперсионного анализа для изучения трендов в данных электротомографии.
12. Описание применения факторного анализа к результатам двумерной инверсии данных электротомографии с целью выявления факторов, влияющих на ошибки в оценке мощностей слоев.
13. Практические результаты оценки возможности использования автокорреляционной функции для анализа данных площадных электротомографических измерений.
14. Результаты исследования связи амплитуды аномалии и значений автокорреляционной функции для качественного определения интервала корреляции.
15. Построение и анализ зависимостей значений интервала корреляции от протяженности и амплитуды аномалии.
16. Применение взаимно корреляционной функции при обработке данных площадной электротомографии.
17. Разложение измерений методом азимутального электропрофилирования на круговые гармоники.
18. Проявление в спектральных характеристиках влияния анизотропии, двумерных и трехмерных неоднородностей.
19. Практические результаты расчетов спектров для оценки шага наблюдений по профилю.
20. Оценка шага измерений по азимутам для проведения круговых наблюдений при изучении анизотропии линейными и нелинейными электроразведочными установками.
21. Практическая реализация линейной фильтрации данных геофизических методов.

22. Практические примеры применения оптимальной фильтрации для разделения гистограмм сложной формы.
23. Оценка количества коэффициентов линейного фильтра для выявления аномалий.
24. Определение формы и длины линейного фильтра для проведения фильтрации данных.
25. Анализ возможностей процедуры сглаживания и линейной фильтрации данных потенциальных методов для выявления разнопериодных аномалий.
26. Практические расчеты и применение фильтра воспроизведения.
27. Реализация линейной фильтрации для экстраполяции данных и нахождение коэффициентов фильтра прогнозирования.
28. Результаты расчетов и практическое применение энергетического отношения сигнал-помеха.
29. Сравнение результатов применения оптимальных фильтров к одной реализации данных.
30. Практическое применение межпрофильной корреляции данных.
31. Результаты реализации адаптивной фильтрации полевых измерений методом электротомографии.
32. Изучение возможностей использования непараметрических критериев для оценки качества обработки данных электротомографии.
33. Практические примеры применения теории распознавания образов для построения процедур обработки данных профильных и площадных измерений.
34. Построение и применение эвристических алгоритмов классификации для районирования площади исследований комплексом геофизических методов.
35. Результаты применения корреляционного алгоритма классификации для комплекса статистических признаков.
36. Применение алгоритма классификации методом К-средних для выявления искажений данных электрической томографии влиянием приповерхностных неоднородностей, помехами и ураганскими значениями.
37. Результаты практического применения алгоритма классификации площадных данных на основе проверки статистических гипотез.
38. Построение и практические расчеты взаимно корреляционных функций для разделения сигналов по разным направлениям.
39. Результаты расчетов и анализ спектров дискретно заданных сигналов (аномалий) с использованием быстрого преобразования Фурье.
40. Построение, расчет и применение оптимальных фильтров при заданных значениях автокорреляционных функций сигналов и помех.
41. Сравнительный анализ оптимальных фильтров, их характеристик и результатов фильтрации для нескольких типов сигналов и помех.
42. Разделение сигналов по разным направлениям с применением самостоятельно рассчитанной взаимно корреляционной функции.
43. Результаты и анализ расчетов спектров дискретно заданного сигнала и автокорреляционных функций.
44. Результаты расчетов линейных фильтров для подавления заданной области частот.
45. Изучение частотных характеристик двумерных линейных фильтров.
46. Анализ результатов применения вейвлет-преобразования с использованием различных порождающих вейвлетов.
47. Практические расчеты по способам обратных вероятностей, межпрофильной корреляции и самонастраивающейся фильтрации с использованием системы КОСКАД-3D.
48. Расчеты комплексного параметра и проведение кластерного анализа с использованием системы КОСКАД-3D. Описание, анализ результатов, выводы.

Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации (экзамене):

1. Спектры дискретно заданного сигнала.
2. Спектры непрерывного периодического сигнала.
3. Спектры непрерывного аperiodического сигнала.
4. Спектры стационарного случайного сигнала.

5. Спектры основных преобразований в грави-магниторазведке.
6. Свойства преобразований Фурье.
7. Применение спектрального анализа в геофизике.
8. Синтез сигналов по их спектрам.
9. Математическая модель геофизического поля. Понятие о сигнале и помехе.
10. Понятие о линейной фильтрации. Свертка.
11. Построение фильтров для заданного диапазона частот.
12. Z-образование и построение рекурсивного фильтра
13. Двумерная фильтрация геофизических сигналов.
14. Фильтр Колмогорова-Винера и его применение.
15. Согласованный фильтр и его применение
16. Энергетический фильтр и его применение
17. Основные приемы выделения регионального тренда и локальных аномалий.
18. Частотные характеристики оптимальных фильтров.
19. Автокорреляционная функция и ее применение.
20. Взаимно корреляционная функция и ее применение
21. Основные типы АКФ и их спектры.
22. Двумерные корреляционные функции и их применение.
23. Корреляция и регрессия.
24. Корреляционно-регрессионный анализ и его применение.
25. Дисперсионный анализ и его применение.
26. Метод главных компонент и его применение.
27. Понятие о среднем риске. Вероятности ошибок I и II рода.
28. Критерии принятия статистических решений.
29. Надежность обнаружения сигнала и ее применение
30. Способ обратных вероятностей.
31. Способ межпрофильной (межтрассовой) корреляции сигналов.
32. Способ самонастраивающейся фильтрации сигналов.
33. Вейвлет-преобразование.

Шкала и критерии оценивания

Результаты обучения, соответствующие виды оценочных средств	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания основ детерминированного и вероятностно-статистического подходов; приемов анализа спектральных и корреляционных свойств полей; основ корреляционно-регрессионного, дисперсионного и факторного анализов и решаемых с их применением геологических задач; алгоритмов линейной фильтрации полей; основ теории статистических решений для выделения слабых сигналов (письменный или устный опрос)	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения обрабатывать данные в компьютерных системах; использовать результаты обработки геоданных при решении геологических задач; формулировать требования к приемам обработки данных в соответствии с решаемой задачей (письменный или устный опрос)	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает не принципиальные неточности	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы	Успешное умение
Навыки владения основными приемами обработки данных; специальным программным обеспечением; эффективными приемами анализа результатов обработки при решении геологических задач (письменный или устный опрос)	Навыки владения отсутствуют	Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков	В целом сформированные навыки	Свободное владение и использование

7. Ресурсное обеспечение

Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная

- 1) Никитин А.А., Петров А.В. Теоретические основы обработки геофизической информации: учебное пособие / А.А. Никитин, А.В.Петров. – М.: ООО «Центр информационных технологий в природопользовании», 2008. – 114с.: ил.
- 2) Никитин А.А. Теоретические основы обработки геофизической информации: Учебник для вузов. – М., Недра, 1986. – 342 с.
- 3) Серкерев С.А. Спектральный анализ гравитационных и магнитных аномалий. М., Недра, 2002 г.

Дополнительная

- 1) Кузнецов О.Л., Никитин А.А., Черемисина Е.Н. Геоинформационные системы. ГНЦ ВНИИгеосистем, 2005г. 345с.
- 2) Серкерев С.А. Спектральный анализ в гравиразведке и сейсморазведке. М., Недра 1991, 280 с.
- 3) Никитин А.А., Хмелевской В.К. Комплексирование геофизических методов. Изд. ГНРС г. Тверь, 2004, 341с.
- 4) Карасевич А.М., Земцова Д.П., Никитин А.А. Новые технологии геофизических исследований при поисках и прогнозе углеводородного сырья. М. Страховое ревю. 2010, 160 с.
- 5) Вычислительная математика и техника в разведочной геофизике. Справочник геофизика / Под ред. В.И. Дмитриева. М.: Недра, 1990.

8. Язык преподавания: русский

9. Преподаватели: доц. Большаков Д.К., доц. Коснырева М.В., доц. Кузнецов К.М. (ответственный за дисциплину – доц. Большаков Д.К.)

10. Разработчик программы: доц. Большаков Д.К.