

1. Цели освоения дисциплины

В результате освоения данной дисциплины специалист приобретает знания, умения и навыки, обеспечивающие достижение целей **Ц1** , **Ц2**, **Ц5** основной образовательной программы «Прикладная геология».

Таблица 1

*Цели образовательной программы*

| Код цели | Формулировка цели |
| --- | --- |
| Ц1 | Выпускники обладают глубокими общенаучными и инженерными знаниями, практическими навыками и личностными компетенциями, имеют широкую эрудицию и стремление к постоянному повышению своего профессионализма в области прикладной геологии. |
| Ц2 | Выпускники ведут комплексную инженерную деятельность в области проектирования и реализации геологических работ, связанных с прогнозированием, поиском и разведкой полезных ископаемых. |
| Ц3 | Выпускники способны применять современные технологии и оборудование, вносить значительный вклад в повышение ресурсоэффективности и конкурентоспособности предприятий минерально-сырьевой отрасли. |

2. Место модуля (дисциплины) в структуре ООП

Дисциплина (модуль) «Математические методы моделирования в геологии» относится к вариативной части междисциплинарного профессионального модуля.

Дисциплине (модулю) «Математические методы моделирования в геологии» предшествует освоение дисциплин (ПРЕРЕКВИЗИТЫ):

* Общая геология,
* Математика,
* Общая геохимия.

Объем необходимых знаний по общей геологии, общей геохимии, математике должен обеспечивать понимание необходимости и возможности применения математических методов для моделирования свойств геологических объектов. Для успешного освоения дисциплины «Математические методы моделирования в геологии» студент должен знать («входные знания»):

* матрицы и действия над ними;
* понятие производной, ее физический и геометрический смысл;
* дифференциал функции, его геометрический смысл и связь с производной;
* неопределенный и определенный интегралы;
* тригонометрический ряд Фурье. Разложение функции в ряд Фурье;
* как образуются месторождения полезных ископаемых;
* закономерности поведения и факторы концентрирования химических элементов в основных геологических процессах;

Содержание разделов дисциплины (модуля) «Математические методы моделирования в геологии» согласовано с содержанием дисциплин, изучаемых параллельно (КОРЕКВИЗИТЫ):

* Основы учения о полезных ископаемых
* Геоинформационные системы.

Изучение указанных дисциплин дает возможность целостно воспринимать материал о процессах формирования месторождений полезных ископаемых; понимать возможности применения математических методов при моделировании и геометризации свойств геологических объектов

3. Результаты освоения дисциплины (модуля)

В соответствии с требованиями ООП освоение дисциплины «Математические методы моделирования в геологии» направлено на формирование у студентов следующих компетенций (результатов обучения), в т.ч. в соответствии с ФГОС:

Таблица 1

**Составляющие результатов обучения, которые будут получены при изучении данной дисциплины**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Результаты  обучения  (компетенции из ФГОС) | Составляющие результатов обучения | | | | | |
| Код | Знания | Код | Умения | Код | Владение  опытом |
| **Р1 *Фундаментальные знания*** | З1.7 | Знание математических методов обработки статистической геологической информации | У1.7 | Использовать математический аппарат и пакеты прикладных программ для анализа и систематизации геологической информации | В1.7 | Навыки моделирования изменчивости свойств геологических объектов |
| **Р5 *Инженерный анализ*** | З5.8 | Методы геолого-геофизических, геохимических, гидрогеологических исследований состава и свойств горных пород. | У5.8 | Выбирать и применять необходимый комплекс исследований на разных стадиях изученности месторождений. | В5.8 | Методами обработки, анализа и синтеза полевой и лабораторной геолого-геофизической, геохимической и гидрогеологической информации |

В результате освоения дисциплины «Математические методы моделирования в геологии» студентом должны быть достигнуты следующие результаты:

Таблица 2

**Планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)**

|  |  |
| --- | --- |
| № п/п | Результат |
|  | **Профессиональные компетенции** |
| РД1 | ***Фундаментальные знания***  Применять знания о строении Земли и главных геологических процессах, изменяющих планету, а также парагенетические ассоциации наиболее распространенных минералов в горных породах в междисциплинарном контексте для решения *комплексных инженерных проблем* в области *прикладной геологии.* |
| РД5 | ***Инженерный анализ***  Ставить и решать задачи *комплексного инженерного анализа* в области поисков, геолого-экономической оценки и подготовки к эксплуатации месторождений полезных ископаемых, локализующихся в горных породах различного генезиса (магматических, осадочных, метаморфических), уточнять их условия формирования с использованием современных аналитических методов и моделей. |

4. Структура и содержание дисциплины

**4.1** **Аннотированное содержание разделов дисциплины:**

**Введение**

Роль и значение математических методов в повышении эффективности геологоразведочных работ. Использование математических методов для обработки геологических данных в 19 - 20 в.в. Современное состояние и проблемы математической геологии.

**4.1.1 Понятие о геолого-математическом моделировании свойств геологических объектов**

Необходимость использования моделей при изучении геологических объектов и явлений. Принципы и методы геолого-математического моделирования. Геологические совокупности: изучаемая, опробуемая, выборочная. Требования, предъявляемые к выборочной совокупности.

**4.1.2 Основы теории вероятности**

Понятие о достоверном, невозможном и случайном событиях. Частота, частость, вероятность появления события. Закон распределения случайной величины и способы его задания. Интегральная и дифференциальная функции распределения случайной величины. Графическое изображение вероятности события попадания случайной величины в заданный интервал ее значений. Параметры распределения случайной величины: математическое ожидание, мода, медиана, дисперсия, стандарт, коэффициент вариации, коэффициенты асимметрии и эксцесса.

Возможные формы кривых распределения случайной величины. Некоторые теоретические законы распределения: нормальный, логнормальный, биномиальный, Пуассона; области их использования в геологической практике. Понятие о стандартном нормальном распределении. Кривая Гаусса.

Использование таблиц нормального распределения и вероятностного калькулятора для прогнозирования значений параметров в геологических объектах.

**4.1.3 Статистика случайных величин**

***4.1.3.1 Статистические оценки неизвестных параметров распределения***

Понятие о точечных и интервальных оценках параметров. Требования к качеству точечных оценок. Оценки математического ожидания, дисперсии, асимметрии и эксцесса по выборочным данным при различных законах распределения.

Точность оценок параметров. Построение доверительных интервалов оценок математического ожидания для различных доверительных вероятностей. Использование таблиц χ2-распределения для вычисления интервальной оценки дисперсии.

***4.1.3.2 Построение статистических решений***

Понятие о статистических гипотезах. Основная (нулевая) и конкурирующая (альтернативная) гипотезы. Задачи проверки гипотез как сопоставление принятой гипотезы с выборочными данными.

Ошибки 1-го и 2-го рода и вероятности их появления. Понятия о доверительной и критической областях критерия, об уровне значимости критерия относительно проверяемой гипотезы и мощности критерия относительно конкурирующей гипотезы. Выбор наиболее оптимального уровня значимости критерия в конкретных геологических условиях.

***4.1.3.3 Проверка некоторых типовых статистических гипотез***

Проверка гипотез о функциях распределения с помощью критерия Пирсона. Упрощенный способ проверки гипотез о соответствии эмпирического распределения нормальному (логнормальному) закону с помощью оценок асимметрии и эксцесса.

Проверка гипотез о равенстве двух дисперсий с помощью критерия Фишера. Проверка гипотез о равенстве более чем двух дисперсий на основе критерия Бартлета. Ранговый критерий Сиджела-Тьюки.

Проверка гипотез о равенстве неизвестного среднего заданному значению. Проверка гипотез о равенстве двух неизвестных средних. Критерий Стьюдента (Вэлча).

Непараметрические критерии Ван-дер-Вардена, Вилкоксона, Манна-Уитни. Проверка гипотез о равенстве k неизвестных средних. Использование гипотез о равенстве средних значений при сравнении двух и более геологических объектов.

***4.1.3.4 Исследование различий между геологическими объектами*** Проверка гипотезы об однородности изучаемого объекта. Подразделение общей задачи на три подзадачи: а) выявление аномальных значений, б) разделение неоднородных выборочных совокупностей на ряд однородных, в) оценка степени влияния различий факторов на характер изменчивости свойств объекта (дисперсионный анализ).

**4.1.4 Корреляционные зависимости между двумя случайными величинами**

***4.1.4.1 Выявление формы связи между двумя случайными величинами***

Виды связей между двумя случайными величинами: функциональная, стохастическая, корреляционная. Способы выявления и исследования корреляционных связей. Облако точек, эмпирические линии регрессии. Линейные и нелинейные уравнения регрессии.

***4.1.4.2 Выявление тесноты связи между двумя случайными величинами***

Показатели тесноты корреляционной связи: ковариация, коэффициент корреляции, корреляционное отношение, пределы их изменения. Необходимость использования рангового коэффициента корреляции. Определение тесноты связи между качественными показателями. Коэффициент сопряженности.

**4.1.5 Многомерные геолого-математические модели**

Необходимость использования многомерных моделей при изучении геологических объектов и явлений. Виды и типы моделей. Принципы и методы геолого-математического моделирования. Ковариационные и корреляционные матрицы, исследование структуры корреляционных матриц в целях классифицирования геологических объектов и решения задач распознавания образов. Построение графов корреляционных связей, корреляционных профилей, дендрограмм. Группирование геологических объектов на основе оценки компактности образованных групп.

Кластер-анализ. Каноническая корреляция. Распознавание образов, линейные дискриминантные функции. Множественная регрессия. Факторный анализ.

Использование многомерного корреляционного анализа в геологии.

**4.1.6 Пространственная изменчивость свойств геологических объектов**

Горно-геометрическое моделирование. Моделирование пространственной изменчивости с помощью топоповерхностей. Закономерная и случайная составляющие изменчивости. Сглаживание наблюдений методом П.Л.Каллистова.

Тренд-анализ. Методы проверки гипотез о наличии тренда. Аппроксимация поверхностей тренда полиномами различных порядков. Анализ остатков тренда. Применение тренд-анализа в геологии. Построение поверхностей тренда с использованием компьютерных программ.

Моделирование дискретных полей. Проверка гипотез о случайном расположении точек на плоскости. Выделение областей относительного сгущения или разряжения точек. Использование моделей дискретных полей для выявления закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых.

**4.1.7 Модели типа случайных функций**

Случайные процессы и случайные последовательности в геологии. Понятие о случайной функции и ее характеристиках: математическом ожидании, дисперсии, автокорреляционной функции. Стационарные и эргодические случайные функции. Коэффициент автокорреляции и области его использования в геологии.

Полигармонические случайные функции. Спектральная плотность дисперсии и спектр амплитуд. Выявление периодической составляющей изменчивости геологических объектов. Области применения случайных функций и гармонического анализа в геологии.

Полувариограммы и кригинг.

**4.1.8 Искусственные нейронные сети в геолого-математическом моделировании**

**Заключение**

Перспективы и пути дальнейшего развития геолого-математического моделирования. Разработка методов математического моделирования геохимических полей в ТПУ.

**4.2 Структура дисциплины по разделам и видам учебной деятельности**

Таблица 3.

*Структура модуля (дисциплины)*

*по разделам и формам организации обучения*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Название раздела/темы | Аудиторная работа (час) | | | СРС  (час) | Колл,  Контр.Р. | Итого |
| Лекции | Практ./сем.  Занятия | Лаб. зан. |
| 1. Понятие о геолого-математическом моделировании свойств геологических объектов | 1 |  |  | 2 |  | 3 |
| 2. Основы теории вероятностей | 2 |  | 2 | 4 |  | 8 |
| 3. Статистика случайных величин | 2 |  | 6 | 10 |  | 18 |
| 4. Корреляционные зависимости между двумя случайными величинами | 2 |  | 6 | 10 |  | 18 |
| 5. Многомерные геолого-математические модели | 4 |  | 10 | 12 |  | 26 |
| 6. Пространственная изменчивость свойств геологических объектов | 2 |  | 4 | 8 |  | 14 |
| 7. Модели типа случайных функций | 2 |  | 4 | 8 |  | 14 |
| 8. Искусственные нейронные сети в геолого-математическом моделировании | 1 |  |  | 6 |  | 7 |
| ИТОГО | 16 |  | 32 | 60 |  | 108 |

4.3 Распределение компетенций по разделам дисциплины

Распределение по разделам дисциплины планируемых результатов обучения по основной образовательной программе, формируемых в рамках данной дисциплины и указанных в пункте 3.

Таблица 4

*Распределение по разделам дисциплины планируемых результатов обучения*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Формируемые**  **компетенции** | **Разделы дисциплины** | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|  | З.7.1 | + | + | + | + | + | + | + |
|  | З.5.8 |  |  | + | + | + | + | + |
|  | У.7.1 | + | + | + | + | + | + | + |
|  | У.5.8 |  |  | + | + | + | + | + |
|  | В.7.1 | + | + | + | + | + | + | + |
|  | В.5.8 |  |  | + | + | + | + | + |

5. Образовательные технологии

При освоении дисциплины используются следующие сочетания видов учебной работы с методами и формами активизации познавательной деятельности студентов для достижения запланированных результатов обучения и формирования компетенций.

Специфика сочетания методов и форм организации обучения отражается в матрице (см. табл. 5).

Таблица 5.

*Методы и формы организации обучения*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ФОО  Методы | Лекц. | Лаб. раб. | Пр. зан./сем. | Тр.\*, Мк\*\* | СРС |
| IT-методы |  | + |  |  | + |
| Работа в команде | + | + |  |  | + |
| Игра | + | + |  |  |  |
| Методы проблемного обучения | + | + |  |  | + |
| Обучение на основе опыта | + | + |  |  |  |
| Опережающая самост. работа |  | + |  |  | + |
| Проектный метод |  | + |  |  | + |
| Поисковый метод |  | + |  |  |  |
| Исследовательский метод |  | + |  |  | + |

\* - Тренинг, \*\* - мастер-класс.

Для достижения поставленных целей преподавания дисциплины реализуются следующие средства, способы и организационные мероприятия:

* изучение теоретического материала дисциплины на лекциях с использованием компьютерных технологий;
* самостоятельное изучение теоретического материала дисциплины с использованием *Internet*-ресурсов, информационных баз, методических разработок, специальной учебной и научной литературы;
* закрепление теоретического материала при проведении лабораторных занятий с использованием поисковых, творческих заданий.

6. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа является наиболее продуктивной формой образовательной и познавательной деятельности студента в период обучения. Для реализации творческих способностей и более глубокого освоения дисциплины предусмотрены такие виды самостоятельной работы, как текущая и творческая проблемно-ориентированная.

* 1. **Текущая и опережающая самостоятельная работа** направленная на углубление и закрепление знаний студента, развития практических умений включает:

- проработку учебного материала, подготовку к контрольным работам по разделам курса;

- выполнение реферата по теме, вынесенной на самостоятельную проработку;

- опережающая самостоятельная работа по темам практических занятий;

- работа с информационными ресурсами Интернета;

- подготовка к контрольной работе, к зачету.

* 1. **Творческая проблемно-ориенированная самостоятельная работа (ТСР)**

направлена на развитие интеллектуальных умений, комплекса универсальных (общекультурных) и профессиональных компетенций, повышение творческого потенциала студентов и заключается в:

* поиске, анализе, структурировании и презентации информации,
* выполнении индивидуальных заданий,
* углубленное исследование вопросов по тематике лабораторных занятий
* исследовательской работе и участии в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах.

**Содержание самостоятельной работы студентов по дисциплине**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Тема самостоятельной работы | Вид занятия | Технология организации самостоятельной работы | Контроль результатов самостоятельной работы | Бюджет времени, час. |
| 1. Понятие о геолого-математическом моделировании свойств геологических объектов | Аудиторное,  внеаудиторное | Проработка литературы и лекций | Опрос | 2 |
| 2. Основы теории вероятностей | Аудиторное,  внеаудиторное | Проработка литературы и лекций | Лабораторные работы | 4 |
| 3. Статистика случайных величин | Аудиторное,  внеаудиторное | Проработка литературы и лекций | Лабораторные работы | 10 |
| 4. Корреляционные зависимости между двумя случайными величинами | Аудиторное,  внеаудиторное | Проработка литературы и лекций | Лабораторные работы, коллоквиум | 10 |
| 5. Многомерные геолого-математические модели | Аудиторное,  внеаудиторное | Проработка литературы и лекций | Лабораторные работы | 12 |
| 6. Пространственная изменчивость свойств геологических объектов | Аудиторное,  внеаудиторное | Проработка литературы и лекций | Лабораторные работы | 8 |
| 7. Модели типа случайных функций | Аудиторное,  внеаудиторное | Проработка литературы и лекций | Лабораторные работы | 8 |
| 8. Искусственные нейронные сети в геолого-математическом моделировании | Аудиторное,  внеаудиторное | Проработка литературы и лекций | Коллоквиум | 6 |

В процессе освоения теоретических вопросов дисциплины студенты самостоятельно прорабатывают литературные источники, в соответствии с предложенным ниже списком. При изучении конкретных разделов необходимо обратить внимание на следующие принципиальные моменты.

**Понятие о геолого-математическом моделировании свойств геологических объектов**

При изучении этого раздела необходимо усвоить, что моделированию в геологии подвергаются не сами объекты, а наблюдаемая изменчивость их свойств. Поскольку характер этой наблюдаемой изменчивости зависит не только от природы объекта, но и от детальности проведенных геологических работ, надо четко представлять себе, насколько достоверны данные, на которые мы опираемся при различных геологических построениях. В этой связи необходимо усвоить понятие о геологической совокупности. Следует всегда помнить, что о всей изучаемой геологической совокупности мы судим по данным ограниченной выборочной совокупности. Поэтому всегда надо отдавать себе отчет в том, насколько выборка представительна по отношению к изучаемой совокупности. Возможность распространения выводов, полученных по выборочным данным, на всю геологическую совокупность обеспечивается применением математической статистики - науки о закономерностях, которым подчинены массовые случайные явления. Теоретической базой статистики является теория вероятностей.

**Основы теории вероятности**

Здесь следует обратить внимание на то, что переход от нормального распределения к стандартному нормальному заключается в переносе центра распределения в начало координат с выражением случайной величины в долях ее стандарта:



Необходимость такого преобразования заключается в том, что вычисление вероятностей непосредственно по формуле функции нормального распределения представляет собой очень трудоемкую операцию, а составить таблицы для всех значений - < x < + не представляется возможным. Такие таблицы составлены для нормированной величины t. Необходимо научиться пользоваться таблицами F(t), Ф(t), f(t) и давать геометрическую интерпретацию получаемым из таблиц вероятностям. Для определения вероятности попадания случайной величины в заданной интервал значений следует также научиться пользоваться модулем «Вероятностный калькулятор» программы Statistica.

Необходимо освоить некоторые приемы, позволяющие преобразовывать асимметричные эмпирические распределения в распределение, соответствующее нормальному закону.

**Статистика случайных величин**

**Статистические оценки неизвестных параметров**

Необходимо четко уяснить себе, что выборочные оценки математического ожидания, дисперсии, асимметрии, эксцесса представляют из себя случайные величины, характеризующиеся определенными интервалами разброса значений, внутри которых находятся (с заданной вероятностью) истинные значения этих параметров. Чем меньше число наблюдений и выше доверительная вероятность, тем больше интервал разброса, т.е. тем ниже точность оценки параметров.

Следует помнить, что выборочная дисперсия, являющаяся случайной величиной, значения которой представляют собой суммы квадратов также случайных величин, подчиняется специфическому закону распределения –

2 - распределению. Для нахождения доверительного интервала оценки дисперсии следует научиться пользоваться таблицами 2 - распределения. Для вычисления выборочных оценок неизвестных параметров распределения следует использовать модуль Basic Statistics программы Statistica.

**Построение статистических решений**

При выборе уровня значимости критерия всегда надо иметь в виду, что уменьшая уровень значимости (то есть, уменьшая вероятность ошибки 1-го родя), мы увеличиваем вероятность ошибки 2-го рода. Поэтому критическую точку следует выбирать таким образом, чтобы вероятности ошибок 1-го и 2-го рода были сопоставимы.

**Проверка некоторых типовых статистических гипотез**

Следует иметь в виду, что параметрические критерии Стьюдента и Фишера используются только при соответствии распределения нормальному (логнормальному) закону. Если такое соответствие не устанавливается, следует воспользоваться непараметрическими (ранговыми) критериями (Манна-Уитни, Вилкоксона, Ван-дер-Вардена, Сиджела-Тьюки).

Проверка гипотезы о нормальном законе распределения можно осуществлять на основе оценок асимметрии и эксцесса: если отношения А/ и Е/ по абсолютной величине не превышают 3, то распределение не противоречит нормальному закону. В более общем виде для проверки гипотезы о соответствии эмпирического распределения какому-либо закону следует использовать критерий Пирсона.

**Исследование различий между геологическими объектами**

В этом разделе очень важно усвоить, что полную дисперсию (изменчивость) признака можно разложить на составные части, обусловленные влиянием различных факторов. Дисперсионный анализ позволяет оценить степень влияния каждого из факторов на общую изменчивость признака и, следовательно, прогнозировать эту изменчивость в зависимости от поведения внешних факторов.

**Корреляционные зависимости между случайными величинами.**

**Выявление формы связи между двумя случайными величинами** Необходимо иметь в виду, что связь между двумя величинами может быть линейной и нелинейной. Поскольку уравнения прямой линии наиболее просты, всегда следует выявлять причины нелинейности корреляционной связи и стараться привести форму связи к линейной. Для этого можно использовать различные способы преобразования исходных данных, например, логарифмирование, разбивку неоднородной выборки на ряд однородных и т.д.

**Выявление тесноты связи между двумя случайными величинами**

Теснота линейной корреляционной связи между двумя величинами, в случае соответствия их распределения нормальному закону, оценивается с помощью параметрического коэффициента корреляции Пирсона. Если закон распределения не соответствует нормальному, следует использовать непараметрические (нечувствительные к виду распределения) показатели, например, ранговый коэффициент корреляции Спирмена. В том случае, когда связь нелинейная, она может существовать и при равенстве коэффициента корреляции нулю. В этом случае для суждения о тесноте связи используется корреляционное отношение - показатель, оценивающий долю закономерностей составляющей в общей дисперсии признака.

Связь между несколькими случайными величинами отражается в виде корреляционной матрицы. На анализе структуры корреляционных матриц основаны методы многомерного моделирования и распознавания образов. Теснота корреляционной связи между качественными параметрами (цвет, форма, промышленный тип месторождения и т.д.) может быть установлена с помощью коэффициента сопряженности.

**Многомерное моделирование**

Необходимо помнить, что основной идеей всех методов группирования и классифицирования является разделение корреляционной матрицы на группы таким образом, чтобы внутри групп связь была максимальной, а между группами - минимальной. Методы группирования можно разбить на два класса: а)методы кластеризации переменных и б)методы кластеризации наблюдений. Они используются как в целях классифицирования, так и дискриминации.

Классифицирование сводится к объединению в группы (классы) коррелирующихся между собой переменных или наблюдений. Методы дискриминации (распознавания образов) основаны на том, что изучаемый геологический объект относится к одной из эталонных (обучающих) совокупностей. При решении названных задач каждый из рассматриваемых методов обладает определенными достоинствами и недостатками. Необходимо научиться правильно выбирать метод (комплекс методов) для решения конкретной геологической задачи. Всегда следует помнить, что все рассматриваемые методы анализа структуры корреляционных матриц выявляют только линейные взаимосвязи.

**Моделирование пространственной изменчивости свойств геологических объектов.**

***Горно-геометрическое моделирование и тренд-анализ***

Необходимо иметь достаточно четкое представление о достоинствах и недостатках моделей П.К.Соболевского и П.Л.Каллистова. Следует помнить, что тренд-анализ позволяет изображать в виде поверхностей закономерную часть изменчивости различных порядков. В пределе, очевидно, возможен подбор аппроксимирующей поверхности бесконечно высокого порядка, которая учитывала бы 100% всей изменчивости признака, но на практике обычно ограничиваются 3-4 порядками. Анализ остатков от тренда, то есть отклонений от поверхностей тренда, всегда следует производить исходя из геологических соображений. Нередко эти отклонения ("аномалии") можно непосредственно использовать в поисковых целях. Следует стремиться дать геологическую интерпретацию поверхностям тренда различных порядков. Если это удается сделать, информативность метода и его прогнозно-поисковое значение резко возрастают.

***Моделирование дискретных полей***

Дан­ную проблему можно подразделять на две задачи: а) проверка гипотезы о случайном расположении объектов (общая задача), б) выделение обла­стей относительного сгущения или разрежения объектов (локальная за­дача). Для решения этих задач используются специальные палетки в виде концентрических кругов или квадратов. По соотношению количества объектов в большей и меньшей фигурах судят о наличии областей относительного сгущения или разряжения точек, используя биномиальный закон распределения для заданной доверительной вероятности.

**Модели типа случайных функций**

Следует иметь в виду, что любая серия геологических наблюдений может рассматриваться как одна из реализаций случайной функции. Если эта функция обладает свойствами стационарности и эргодичности, ее параметры могут быть вычислены всего по одной реализации. Одной из важных и специфических характеристик случайной функции является функция автокорреляции, значения которой зависят от расстояния между сечениями случайной функции. По виду функции автокорреляции мы можем судить о наличии как тренда, так и периодической пространственной изменчивости. В последнем случае для описания свойств объекта следует использовать модель полигармонической случайной функции.

Для вычисления значений параметров объекта в любой точке пространства создан специальный раздел математической геологии – геостатистика. Ключевым для геостатистики является понятие регионализированной переменной, которая имеет свойства, промежуточные между свойствами полностью случайных величин и полностью детерминированных переменных. Вычисление значений этих переменных в любой точке рассматриваемого пространства производится с использованием процедуры кригинга.

**Искусственные нейронные сети в геолого-математическом моделировании**

Проблема нелинейного многомерного моделирования геохимических полей с успехом может быть решена путем использования искусственных нейронных сетей. Искусственные нейронные сети являются примитивными моделями биологических нервных систем, однако несмотря на «простоту», с успехом используются в качестве мощного инструмента многомерного моделирования. При управляемом обучении необходимо подготовить набор обучающих данных, которые представляют собой примеры входных данных и соответствующих им выходов. Сеть в этом случае учится устанавливать связь между первыми и вторыми, а затем самостоятельно классифицирует новые входные данные, для которых выходные значения неизвестны. Процесс обучения нейронной сети, по сути дела, и состоит в том, чтобы найти на многомерной поверхности ошибок самую низкую точку. При этом необходимо иметь в виду, что в действительности сеть учится минимизировать ошибку на обучающем множестве, а не реальной модели объекта. Следует заметить, что системы, содержащие только входной и выходной слои генерируют линейные модели и фактически аналогичны линейной дискриминантной функции (при решении задач классификации), или процедуре множественной регрессии (при решении регрессионных задач).

Неуправляемое обучение, реализуемое в виде сети Кохонена, направлено на самостоятельное распознавание кластеров в наборе исходных данных. Соответственно, обучающие данные содержат только значения входных переменных. После того, как классы выявлены, сеть можно использовать для решения задач классификации. Кроме того, сети Кохонена могут использоваться для выявления сходства классов, если они указаны на входе, а также для обнаружения новых классов, если новый набор данных не похож на заданные классы.

**6.2.4 Темы, выносимые на самостоятельную проработку**

Все 8 вышеперечисленных разделов курса изучаются на аудиторных и самостоятельных занятиях. Тем, которые целиком выносятся на самостоятельную проработку, в составе дисциплины нет.

**6.3 Контроль самостоятельной работы**

Оценка результатов самостоятельной работы организуется как единство двух форм: самоконтроль и контроль со стороны преподавателей.

* 1. **Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

При самостоятельной работе студенты используют комплект учебно-методической документации по дисциплине, основную и дополнительную литературу, интернт-ресурсы, программное обеспечение компьютерного класса

7. Средства (ФОС) текущей и итоговой оценки качества освоения модуля (дисциплины)

Оценка текущей успеваемости и итоговой аттестации студентов осуществляется по результатам:

* устного опроса всех студентов на практических занятиях для выявления знания и понимания теоретического материала дисциплины;
* анализа и обсуждения подготовленных студентами докладов к коллоквиуму;
* выполнения лабораторных работ;
* итогового экзамена.

Текущий и рубежный контроль проводится в виде коллоквиумов (конференц-неделя). Итоговой контроль (экзамен) проводится в письменной форме.

Для оценки качества знаний во время текущей и итоговой аттестации подготовлен банк контролирующих материалов, который включает около 100 вопросов по всем разделам дисциплины. Кроме того, в зэкзаменационные билеты обязательно включаются расчетные задачи.

*Примеры вопросов для оценки теоретических знаний студентов:*

1. Какова роль математических методов в решении геологических задач?
2. Что такое выборка?
3. Какие требования предъявляются к выборочным данным?
4. Что такое вероятность случайного события?
5. Что такое закон распределения случайной величины?
6. Какие законы распределения обычно используются при моделировании геологических объектов и явлений?
7. Свойства нормального закона распределения.
8. Как определить вероятность попадания случайной величины в заданный интервал значений?
9. Что называется оценкой параметра распределения?
10. Что такое точечная оценка параметров распределения?
11. Как вычисляются оценки математического ожидания и дисперсии при логнормальном законе распределения?
12. Как вычисляется оценка асимметрии при биномиальном распределении?
13. Как вычисляются интервальные оценки среднего и дисперсии при нормальном законе распределения?
14. В чем заключается необходимость использования стиатистических гипотез при моделировании свойств геологических объектов?
15. Что такое ошибки 1-го и 2-го рода при принятии гипотез?
16. Что такое доверительная и критическая области критерия?
17. Как выбирается уровень значимости критерия?
18. Как можно проверить гипотезу о соответствии эмпирического распределения одному из теоретических законов?
19. Как проверить гипотезу о равенстве двух неизвестных средних, если распределение не соответствует нормальному закону?
20. Как проверить гипотезу о равенстве двух неизвестных дисперсий, если распределение не соответствует нормальному закону?
21. Как можно графически оценить однородность выборки?
22. В чем сущность дисперсионного анализа?
23. В чем отличие корреляционной связи от функциональной?
24. Какие показатели характеризуют форму и тесноту корреляционной связи?
25. Как определить тесноту связи, если закон распределения неизвестен?
26. Как проверить гипотезу о линейности корреляционной связи?
27. В чем отличие корреляционной и ковариационной матриц?
28. Методы исследования структуры корреляционных матриц.
29. Что такое кластер-анализ?
30. Что такое факторный анализ?
31. В чем суть дискриминантного анализа?
32. Области применения многомерного корреляционного анализа в геологии.
33. Как разделить закономерную и случайную составляющие пространственной изменчивости?
34. В чем суть тренд-анализа?
35. Как выявить наличие тренда?
36. Что такое тренд поверхности и остатки тренда?
37. Как применяется тренд-анализ в моделировании зональности геологических объектов?
38. Как проверить гипотезу о случайном (или закономерном) размещении месторождений на площади?
39. Что такое случайная функция?
40. Какие характеристики случайной функции вы знаете?
41. Какая случайная функция называется стационарной и эргодичной?
42. Что такое коэффициент автокорреляции?
43. Как можно выявить периодическую составляющую в пространственной изменчивости свойств геологических объектов?
44. Что такое спектральная плотность дисперсии и спектр амплитуд?
45. Как применяются модели типа случайных функций в геологии?
46. Что такое искусственные нейронные сети?
47. Достоинства и недостатки искусственных нейронных сетей.
48. Условия применения искусственных нейронных сетей для моделирования свойств геологических объектов.
49. Проблемы и перспективы использования математических моделей в геологии.
50. Методы многомерного моделирования геохимических полей, разрабатываемые в ТПУ.

Для практических задач создан фонд геолого-геохимической информации по десяткам рудных полей и месторождений России и СНГ общим объемом более 200 000 наблюдений. По указанию преподавателя студент решает практическую задачу, используя этот фонд.

*Примеры задач для оценки практических умений студентов:*

*1) Рядовая задача.* Выделить ассоциации химических элементов на площади Рябинового рудного поля R-методом факторного анализа. Анализ необходимо выполнить с использованием программного комплекса Statistica for Windows, предварительно импортировав файл Rjabin.xls с результатами геохимического опробования из базы данных.

*2) Задача повышенной сложности.* Создать модель геохимической зональности Рябинового рудного поля на основе факторного анализа, с изображением значений 3-х первых факторов в виде поверхностей тренда 1–3 порядков.

Ход решения:

а) импорт файла Rjabin.xls из базы данных в среду Statistica.

б) вычисление матрицы факторных нагрузок для 3-х факторов с использованием программы Factor analysis.

в) вычисление значений первых трех факторов для каждой пробы.

г) импорт полученных значений факторов в файл Rjabin.xls.

д)построение поверхностей тренда для значений факторов с использованием программы Surfer.

е) создание интегральной модели зональности геохимического поля

Текущий контроль производится путем оценки качества усвоения теоретического материала (ответы на вопросы, в том числе самостоятельной подготовки) и результатов практической деятельности (решение задач). Рубежный контроль осуществляется путем проведения коллоквиумов и защиты курсовой работы. Итоговая аттестация проводится в конце семестра в виде дифференцированного зачета.

Итоговый рейтинг определяется суммированием баллов текущей оценки в течение семестра и баллов итоговой аттестации в конце семестра по результатам зачета и экзамена. Максимальный итоговый рейтинг соответствует 100 баллам (60 – текущая оценка в семестре, 40 – итоговая аттестация в конце семестра).

Студент допускается к сдаче зачета, если он полностью выполнил учебный план и если его рейтинг в семестре более 33 баллов (более 55 %).

Зачёт считается сданным, если его оценка не менее 22 баллов.

Эта оценка суммируется с рейтингом семестра и подсчитывается общий рейтинг.

Если общий рейтинг составит 55 балла и более, то зачёт считается сданным.

8. Рейтинг качества освоения дисциплины (модуля)

Оценка качества освоения дисциплины в ходе текущей и промежуточной аттестации обучающихся осуществляется в соответствии с «Руководящими материалами по текущему контролю успеваемости, промежуточной и итоговой аттестации студентов Томского политехнического университета», утвержденными приказом ректора № 77/од от 29.11.2011 г.

В соответствии с «Календарным планом изучения дисциплины»:

* текущая аттестация (оценка качества усвоения теоретического материала (ответы на вопросы и др.) и результаты практической деятельности (решение задач, выполнение заданий, решение проблем и др.) производится в течение семестра (оценивается в баллах (максимально 60 баллов), к моменту завершения семестра студент должен набрать не менее 33 баллов);
* промежуточная аттестация (экзамен, зачет) производится в конце семестра (оценивается в баллах (максимально 40 баллов), на экзамене (зачете) студент должен набрать не менее 22 баллов).

Итоговый рейтинг по дисциплине определяется суммированием баллов, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Максимальный итоговый рейтинг соответствует 100 баллам.

9. Учебно-методическое и информационное обеспечение модуля (дисциплины)

***основная литература:***

1. Ворошилов В.Г. Математическое моделирование в геологии. - Томск: Изд-во ТПУ, 2001. - 124 с.
2. Каждан А.Б., Гуськов О.И. Математические методы в геологии. -М.:Недра, 1990. - 251с.
3. Дж.С.Дэвис Статистический анализ данных в геологии, Кн. 1, 2.//Пер. с анг. В.А.Голубевой.-М.:Недра,1990. - 319с., 427с.

***дополнительная литература:***

1. Белонин М.Д., Голубева В.А., Скублов Г.Т. Факторный анализ в геологии. – М.: Недра, 1982. – 269 с.
2. Боровко Н.Н. Статистический анализ пространственных геологических закономерностей. – Л.: Недра, 1971. – 174 с.
3. Бондаренко В.Н. Статистические решения некоторых задач геологии. – М.: Недра, 1970. – 248 с.
4. Вистелиус А.С. Основы математической геологии. – Л.: Наука, 1980. – 389 с.
5. Крамбейн У., Грейбилл Ф. Статистические методы в геологии. – М.:Мир, 1969. – 398 с.
6. Математическая статистика//Под ред. А.М.Длина. – М.: Высшая школа, 1975. – 398с.
7. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. – М.: Мир, 1968. – 408 с.
8. Миллер Р.А., Кан Дж.С. Статистический анализ в геологических науках. – М.: Мир, 1965. – 482с.
9. Родионов Д.А. Статистические решения в геологии. - М.:Недра, 1981. – 231с.
10. Серебренников М.Г., Первозванский А.А. Выявление скрытых периодичностей. – М.:Наука, 1965. – 244с.
11. Смирнов Б.И. Корреляционные методы при парагенетическом анализе. – М.: Недра, 1981. – 197с.
12. Справочник по математическим методам в геологии. М.: Недра, 1987. – 212 с.
13. Четвериков Л.И. Теоретические основы моделирования тел твердых полезных ископаемых. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1968. – 152 с.

***программное обеспечение и Internet-ресурсы:***

* электронные таблицы Excel;
* программный комплекс Statistica for Windows;
* программа ArcView;
* программа построения поверхностей Surfer
* пакет графических программ CorelDraw

*Internet*-ресурсы: [*http://www.exponenta.ru/educat/class/courses*](http://www.exponenta.ru/educat/class/courses)

[*http://www.statsoft.ru/*](http://www.statsoft.ru/)

9. Материально-техническое обеспечение модуля (дисциплины)

Лекции по дисциплине читаются в аудитории, оборудованной мультимедийной техникой. Лабораторные и курсовые работы выполняются в компьютерном классе кафедры, оснащенном современными компьютерами и необходимым программным обеспечением. Все компьютеры имеют выход в *Internet*. При изучении основных разделов дисциплины используются учебная и учебно-методическая литература, имеющаяся в библиотеке и разработанная на кафедре.

Программа составлена на основе Стандарта ООП ТПУ в соответствии с требованиями ФГОС по специальности 21.05.02 «Прикладная геология»

Программа одобрена на заседании

кафедры ГРПИ

(протокол № 12 от « 30 » июня 2015 г.).

Автор Ворошилов В.Г.

Рецензент Тимкин Т.В.