

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

УТВЕРЖДАЮ
Декан географического факультета,
академик РАН Добролюбов С.А.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
Математические методы и моделирование в геохимии ландшафтов

Уровень высшего образования:
бакалавриат

Направление подготовки:
05.03.06 Экология и природопользование

Направленность (профиль) ОПОП:
Геохимия окружающей среды

Форма обучения:
очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методической комиссией географического факультета
(протокол №18 от 22.11.2022)

Москва 2022

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Экология и природопользование» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемым последовательно по схеме интегрированной подготовки*).

ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В.Ломоносова от 30 декабря 2020 года (протокол №1368).

Год приема на обучение: 2021

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП — относится к вариативной части ОПОП, является обязательной для освоения.
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия: базируется на знаниях по дисциплинам «Математика», «Информатика», «Статистические методы в экологии»
3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), сопряженные с компетенциями
СПК-ЗБ (<i>формируется частично</i>) Владеет математическими и статистическими методами обработки результатов исследований, методами ландшафтно-геохимического и почвенного картографирования, интерпретации и анализа данных дистанционного зондирования, геоинформационными технологиями.	Применяет методы статистического анализа, приемы прикладного системного анализа и математического моделирования в научной и практической деятельности.	Знать: основные принципы и подходы к количественному описанию пространственно-временных закономерностей поведения химических элементов и их соединений в окружающей среде; условия применимости математических методов обработки ландшафтно-геохимических данных и требования к их объему и качеству; основы прикладного системного анализа в качестве методологической базы для формализации изучаемых систем и процессов; уровень и состояние разработок по различным направлениям математического моделирования для эколого-геохимических исследований с определением области применимости моделей. Уметь: применять на практике математические модели для количественного описания функционирования ландшафтно-геохимических систем (ЛГС) разных иерархических уровней; выбирать адекватные математические методы для решения практических задач. Владеть: приемами формализации конкретных ландшафтно-геохимических проблем; наиболее широко применяемыми в ландшафтно-геохимических исследованиях математическими и статистическими методами.

4. Объем дисциплины (модуля) 5 з.е., в том числе 120 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем, 60 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

5. Формат обучения не предполагает электронного обучения и использования дистанционных образовательных технологий (за исключением форс-мажорных обстоятельств – пандемии и т.п.).

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

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) <i>Виды контактной работы, часы*</i>					Самостоятельная работа обучающегося <i>Виды самостоятельной работы, часы</i>			
		Занятия лекционного типа	Практические занятия	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Всего	Работа с литературой (включая подготовку доклада)	Подготовка реферата	Всего	
Часть 1. Статистические методы (7 семестр)										
Тема 1. Общая характеристика и особенности дисциплины	4	2	2			4				
Тема 2. Первичная обработка ландшафтно-геохимических данных	26	4	12			16	10		10	
Текущая аттестация №1: контрольная работа	2		2			2				
Тема 3. Одномерные статистические методы	34	6	18			24	10		10	
Текущая аттестация №2: контрольная работа	2		2			2				
Тема 4. Исследование статистических связей и классификационные задачи	36	6	18			24	12		12	
Промежуточная аттестация - зачет	4	<i>Устный зачет</i>						4		
Итого	108	72						36		
Часть 2. Математическое моделирование (8 семестр)										
Тема 5. Основы прикладного системного анализа и моделирования	22	4	12			16	6		6	
Тема 6. Классификация моделей ландшафтно-геохимических систем и процессов	22	4	12			16	6		6	

Тема 7. Применение математических моделей в эколого-геохимических исследованиях	24	4	12			16	8		8	
Промежуточная аттестация - зачет	4	<i>Устный зачет</i>					4			
Итого	72	48					24			
Всего за 7 и 8 семестр	180	120					60			

Содержание лекций, семинаров

Содержание лекций

Часть 1. Статистические методы

Тема 1. Общая характеристика и особенности дисциплины. Место курса в комплексе геоэкологических дисциплин, взаимосвязь с базовыми математическими курсами. Исторический обзор этапов и факторов развития математических методов и моделирования в геохимии ландшафтов. Цели и задачи курса, его содержание и структура. Основные методические особенности курса.

Тема 2. Первичная обработка ландшафтно-геохимических данных. Вероятностный и детерминированный подход. Вероятностная природа ландшафтно-геохимических данных. Генеральная совокупность и выборка. Способы отбора объектов в выборку: случайный отбор, систематический отбор, типический пропорциональный отбор. Классификация ошибок в научных и прикладных исследованиях. Ошибки репрезентативности. Виды показателей. Измерения, шкалы измерений.

Простейшая статистическая обработка данных. Группировка данных. Построение и графическое изображение вариационных рядов: гистограмма, полигон, кумулята. Визуализация многомерных данных.

Тема 3. Одномерные статистические методы. Средние величины и показатели степени варьирования. Среднее арифметическое, мода, медиана. Амплитуда и пределы колебаний признака. Среднее квадратичное отклонение и его свойства. Дисперсия и коэффициент вариации. Ошибки репрезентативности.

Частота и вероятность. Распределение вероятностей непрерывных величин, понятие «плотность вероятности». Квартили, децили. Нормальное распределение. Доверительная вероятность и доверительный интервал. Односторонние и двухсторонние доверительные интервалы. Уровень значимости. Статистические гипотезы и их проверка. Критерий согласия χ^2 эмпирического распределения теоретическому, выравнивающие частоты. Критерий согласия Колмогорова-Смирнова. Проверка нормальности распределения с помощью критерия Уилка-Шапиро.

Асимметрия и эксцесс. Значимость асимметрии и эксцесса. Другие законы распределения: лог-нормальное, биномиальное. Распределение Стьюдента и его использование для определения доверительных границ среднего арифметического, единичных наблюдений, оценки типичности объекта исследования.

Сравнение выборочных параметров. Ошибка разности выборочных средних. Оценка достоверности выборочной разности. Сравнение нескольких средних, метод Дункана. Сравнение дисперсий, критерий Фишера.

Тема 4. Исследование статистических связей и классификационные задачи. Корреляционный анализ. Коэффициент корреляции как мера связи между признаками, его значимость. Факторы, влияющие на величину коэффициента корреляции, частный коэффициент корреляции. Сравнение коэффициентов корреляции. Ранговая корреляция Спирмена.

Регрессионный анализ. Линейная регрессия и метод наименьших квадратов. Значимость параметров линейной регрессии. Нелинейные уравнения регрессии. Множественная регрессия, процедура просеивания предикторов. Анализ остатков, основные виды графиков.

Дисперсионный анализ, его принципы. Условия применимости дисперсионного анализа. Разложение суммы квадратов и дисперсии при дисперсионном анализе. Оценка степени влияния изучаемого фактора. Одно- и двухфакторные дисперсионные комплексы.

Факторный анализ и метод главных компонент. Задачи и возможности факторного анализа. Алгоритм проведения анализа, требования к исходным данным, факторные нагрузки, вращение осей. Интерпретация результатов. Исследование размерности системы измерения и ее снижение. Приложение факторного анализа к анализу временных рядов геохимического мониторинга и разновременных многозональных космических снимков.

Иерархические классификации для описания пространственно-временного распределения геохимических показателей. Кластерный анализ. Выбор метода кластеризации и показателя сходства классифицируемых объектов.

Часть 2. Математическое моделирование

Тема 5. Основы прикладного системного анализа и моделирования. Определение понятия система. Основные свойства и типы систем.

Ландшафтно-геохимические системы как объект моделирования. Уровни иерархии ЛГС. Строение и компоненты ЛГС разных иерархических уровней. Функционирование ЛГС: геохимические потоки и биогеохимические циклы. Миграционная структура ландшафтов разных природных зон. Характерные размеры систем и характерные времена процессов миграции.

Системный метод исследований. Этапы системного анализа. Определение математической модели. Классификация моделей.

Выбор типа модели в зависимости от целей моделирования и имеющейся информации о системе. Последовательность этапов моделирования. Формализация изучаемых процессов: потоковые диаграммы Форрестера. Топологическая и аналитическая структура моделей. Основные виды уравнений. Идентификация параметров. Процедуры верификации и валидации моделей. Критерии соответствия результатов моделирования данным наблюдений. Анализ чувствительности моделей, получение модельных оценок и прогнозов для выработки решений.

Информационное обеспечение моделей. Виды и источники геохимической информации. Создание специализированных баз данных. Технологии предобработки данных, направленные на определение и уменьшение размерности задачи. Способы оценки параметров модели: измерения, калибровка, косвенная оценка с помощью трансферных функций.

Эмпирические модели. Функции одной переменной, используемые в эколого-геохимических исследованиях. Оценка адекватности и точности моделей. Абсолютная и относительная погрешности. Анализ погрешностей. Статистические критерии соответствия экспериментальных и расчетных данных при аппроксимации.

Функциональные модели. Структура динамических моделей: переменные, параметры и константы, обыкновенные дифференциальные уравнения. Численное интегрирование уравнений. Структура, информационное обеспечение и способы реализации нульмерных балансовых моделей.

Тема 6. Подходы к моделированию ландшафтно-геохимических процессов и структур. Классификации моделей ландшафтно-геохимических процессов в зависимости от типа процесса и способа представления пространственной структуры системы. Модели миграции и трансформации вещества в ландшафтах, комплексные модели биогеохимических циклов. Принцип согласования пространственных и временных масштабов при моделировании миграционных процессов. Модели с сосредоточенными и с распределенными параметрами, способы модельного описания пространственно распределенных величин.

Модели миграции вещества в ландшафтах. Миграционная фаза и геохимическая нагрузка. Схематизация миграционной структуры ландшафтов разных иерархических уровней: модели атмосферной циркуляции, водного стока, эрозионных процессов. Способы модельного описания метеоусловий. Схематизация процессов водного стока в моделях ЛГС разных порядков: уравнения, параметры, входные функции.

Моделирование эрозии: универсальное уравнение водной эрозии.

Транспортные модели водной миграции растворенных веществ и взвесей; уравнение конвективной диффузии. Модельные описания процессов распространения примесей в атмосфере; биологической миграции.

Модели химических превращений в ландшафтах. Кинетические модели геохимических процессов нулевого, первого и других порядков: уравнение Стритера-Фелпса микробиологического разложения органических веществ в водотоке. Термодинамические модели химических равновесий: изотермы сорбции Фрейндлиха и Лангмюра.

Моделирование биогенного круговорота элементов при продукционно-деструкционных процессах. Функции отклика биологических объектов на недостаток или избыток химических элементов и их соединений в сопредельных средах.

Комплексные модели биогеохимических циклов. Принципы построения и основные блоки комплексных моделей. Способы объединения модулей, описывающих процессы разной природы или протекающие в разных средах. Учет иерархии характерных времен: «быстрые» и «медленные» переменные. Способы агрегирования пространственных переменных в зависимости от характера их дифференциации в пределах изучаемой ЛГС и задач моделирования.

Тема 7. Применение математических моделей в эколого-геохимических исследованиях. Моделирование поведения химических элементов в окружающей среде. Особенности модельного описания поведения консервативных и неконсервативных веществ, водных и воздушных мигрантов. Моделирование миграции солей в ландшафтах: прогноз засоления–рассоления. Модель SENTURY динамики углерода, азота, фосфора и серы в травяных экосистемах.

Балансовые модели биогеохимических циклов: способы описания разных фаз цикла, компоновка общей модели для ЛГС разных иерархических уровней. Структура модели глобального цикла углерода (Кондратьев, Крапивин, 2004): переменные состояния, описание потоков, оценка параметров наземных и водных экосистем.

Особенности моделирования поведения загрязняющих веществ. Модели поведения загрязняющих веществ в окружающей среде. Структура моделей в зависимости от вида загрязнителя: его устойчивости, миграционной способности и токсичности.

Динамическая модель миграции пестицидов в почвах с учетом разложения и сорбции AquaSalt (Губер, Шеин, 1997): уравнения, начальные и граничные условия, идентификация параметров, оценка точности.

Определение критических нагрузок тяжелых металлов на экосистемы с помощью балансовых моделей (Башкин, Касимов, 2004).

Формализация основных процессов в экосистемах. Статический и динамический варианты моделей.

Содержание семинаров

7-ой семестр

- 1. Расчет основных статистических характеристик выборки, визуализация данных.** Знакомство с базовыми статистическими пакетами: возможности и структура пакета, ввод данных, сохранение результатов расчетов, экспорт таблиц и графики. Построение гистограммы для одного из почвенно-геохимических показателей, полученного путем опробования ключевого участка. Построение диаграммы рассеяния для двух взаимосвязанных почвенно-геохимических показателей с помощью опции Scatterplots. Расчет среднего, моды, медианы, среднего квадратичного отклонения, дисперсии и коэффициента вариации одной из выборок.
- 2. Анализ распределения вероятностей случайной величины. Определение границ доверительных интервалов.** Оценка коэффициентов асимметрии и эксцесса эмпирического распределения. Проверка гипотезы о соответствии эмпирического распределения нормальному с помощью критериев хи-квадрат, Колмогорова-Смирнова, Уилка-Шапиро в опции Distribution fitting. Определение границ доверительного интервала и доверительной вероятности с помощью Probability Distribution Calculator.
- 3. Доверительные границы для среднего. Типичность объектов исследования.** Определение доверительных границ, гарантированного минимума и максимума среднего с помощью критерия Стьюдента в опции Conf. limits for means. Оценка типичности объекта исследования. Расчет границы типичности в случае двух распределений. Расчет описательных статистик и диаграмм размаха для двух подвыборок.
- 4. Сравнение средних и дисперсий.** Сравнение средних в двух выборках разной длины с помощью опции Difference between means. Сравнение нескольких средних. Сравнение единичных измерений при известной погрешности прибора. Оценка достоверности различий (воспроизводимость анализов) двух методов химического анализа по среднему и дисперсии. Сравнение дисперсий с помощью критерия Фишера.

5. **Корреляционный анализ.** Визуализация корреляционных рядов с помощью диаграмм рассеяния (опция Scatterplots) и призмogramм (Bivariate Histograms). Расчет коэффициент корреляции и оценка его значимости. Сравнение коэффициентов корреляции, оценка значимости различий с помощью критерия Стьюдента. Расчет коэффициента ранговой корреляции Спирмена и оценка его значимости. Тетрахорический показатель связи для бинарных признаков.
6. **Регрессионный анализ.** Определение характера статистической связи (прямая-обратная, прямолинейная-криволинейная) между двумя почвенно-геохимическими показателями путем построения и анализа диаграммы рассеяния. Выявление временных и пространственных трендов в изменении одного из ландшафтно-геохимических показателей с помощью коэффициента корреляции Спирмена. Построение линейного уравнения регрессии, определение его коэффициентов. Аппроксимация данных нелинейными зависимостями (экспоненциальной, степенной) с выбором наилучшей.

8-ой семестр

7. **Выделение парагенетических ассоциаций микроэлементов в одном из горизонтов дерново-подзолистой почвы методом кластерного анализа.** Выявление значимых положительных корреляционных связей между концентрациями элементов в выборке, содержащей результаты анализа нескольких образцов из горизонта A1 (A2, B, C) дерново-подзолистой почвы. Построение дендрограмм с помощью двух алгоритмов кластерного анализа: “Single linkage” и “Complete linkage”. Совместный анализ корреляционной матрицы и дендрограмм для определения устойчивых ассоциаций микроэлементов со сходными тенденциями к накоплению и выносу в различных ландшафтно-геохимических условиях.
8. **Оценка влияния ландшафтного и временного факторов на содержание микроэлементов в горизонте A1 (A2, B, C) дерново-подзолистых почв с помощью двухфакторного дисперсионного анализа.** Создание таблицы дисперсионного комплекса, проведение дисперсионного анализа. Расчет доли влияния каждого фактора, оценка вклада каждого из факторов (ландшафтного и временного) в общую дисперсию содержания рассматриваемого элемента. Построение составной диаграммы размаха, характеризующей средние значения и вариабельность содержания микроэлемента в разных градациях факторов (опция 2D Graphs, Box-Whiskers). Оценка влияния пространственного фактора и типа дороги на накопление металлов и металлоидов в дорожной пыли г. Москвы с помощью двухфакторного дисперсионного анализа.
9. **Факторный анализ.** Практическое использование факторной модели для анализа ландшафтно-геохимических данных: процедура вращения, выделение и интерпретация факторов. Определение размерности системы и ее снижение. Анализ совокупности данных о содержании тяжелых металлов в верхнем горизонте почв Восточного округа Москвы методом главных компонент. Дискриминантный анализ почвенно-геохимических данных по функциональным зонам Восточного округа: построение классификационных функций по обучающей выборке, диагностика новых объектов с помощью построенных классификационных функций, оценка качества классификации.

10. **Построение многомерных регрессионных моделей, описывающих распределение микроэлементов в почвах и донных отложениях западного побережья Каспия в зависимости от ландшафтно-геохимических факторов и условий.** Построение корреляционной матрицы, характеризующей статистические связи между содержанием изучаемого микроэлемента и комплексов факторов и условий, определение значимых факторов. Построение уравнения множественной линейной регрессии в модуле *Multiple Regression* с включением в него всех факторов. Проверка гипотезы о равенстве нулю коэффициентов регрессии, исключение из модели незначимых факторов с расчетом нового уравнения для оставшихся факторов. Оценка качества полученной модели по величине R^2 , F-критерию и распределению остатков. Определение степени участия значимых факторов в оценке величины результирующего признака с получением ранжированного ряда факторов.
11. **Моделирование диффузии Cs-137 в почвенном профиле.** Расчет радиальной миграции цезия с помощью динамической модели Почвенного института (1988), учитывающей структуру порового пространства почвы и процессы сорбции изотопа. Получение профильного распределения Cs-137 на 200-е сутки после внесения изотопа на поверхность почвы. Анализ чувствительности модели к изменению коэффициентов диффузии и необменной сорбции. Выявление ведущих процессов, влияющих на профильное распределение элемента.
12. **Анализ математических моделей ландшафтно-геохимических процессов.** Подробный анализ одной из публикаций в ведущих научных журналах и монографиях по геохимии окружающей среды (Почвоведение, Вестник Московского университета и т.п.). Определение состава системы (элементов) и внешней среды. Классификационная принадлежность модели (динамическая или статистическая, эмпирическая или теоретическая, детерминистическая или стохастическая, имитационная или оптимизационная). Характеристика основных групп ландшафтно-геохимических процессов, включенных в модель (движение миграционной фазы, транспортные, физико-химических превращений, биологической миграции). Критический анализ включенных в модель допущений о системе и протекающих в ней процессах. Описание структуры модели с перечислением зависимых и независимых переменных, констант и параметров, уравнений, начальных и граничных условий. Сфера применения модели.

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

Текущий контроль практических навыков статистических расчетов проводится путем проведения двух контрольных работ в 7-м семестре и путем оценки выполнения всех практических работ на семинарских занятиях в 8-м семестре.

Зачеты проводятся в устной форме. При отсутствии у обучающегося принятых преподавателем двух контрольных работ в 7-м семестре и отчетов по всем практическим работам в 8-м семестре студенту предоставляется возможность на зачете выполнить весь объем учебной работы до ответа на вопросы по теоретической части курса в пределах нормативного времени, отведенного на приём устного экзамена (до 30 минут на одного обучающегося). При невыполнении указанного условия учебный план считается невыполненным, обучающемуся выставляется «незачет».

Примерный перечень вопросов к зачету в 7-м семестре

1. Случайные и детерминированные явления и события
2. Генеральная совокупность и выборка, ошибка репрезентативности
3. Репрезентативность выборки, способы отбора объектов в выборку, обеспечивающие ее репрезентативность
4. Три основных вида показателей и шкалы для их измерения
5. Показатели среднего. Среднее арифметическое и погрешность его определения.
6. Показатели варьирования почвенно-геохимических признаков.
7. Дисперсия, среднее квадратичное отклонение и коэффициент вариации. Число степеней свободы и несмещенная оценка дисперсии.
8. Формула и свойства среднего квадратичного отклонения.
9. Соотношение между природным варьированием и дисперсией экспериментальных данных. Аналитическая ошибка.
10. Закон нормального распределения. Его особенности и параметры.
11. Вычисление вероятности попадания случайной величины в интервал с помощью таблицы интеграла вероятностей для нормального распределения.
12. Вычисление границ интервала определенной вероятности с помощью таблицы интеграла вероятностей для нормального распределения.
13. Доверительная вероятность и доверительный интервал. Уровень значимости. Определение ширины доверительного интервала.
14. Сравнение эмпирического распределения с теоретическим с помощью критерия χ^2
15. Сравнение эмпирического распределения с теоретическим с помощью критерия Колмогорова-Смирнова
16. Асимметрия и эксцесс. Условия значимости асимметрии и эксцесса.
17. Распределение Стьюдента и его использование. Доверительные интервалы для среднего, формулы для их вычисления
18. Оценка типичности объекта исследования, границы типичных значений признака
19. Ошибка разности двух выборочных средних. Проверка нулевой гипотезы с помощью критерия Стьюдента.
20. Оценка разности нескольких средних. Наименьшая существенная разность. Критерий Дункана.
21. Сравнение дисперсий. Критерий Фишера.
22. Графическое представление взаимной изменчивости двух почвенно-геохимических показателей. Функциональная и статистическая (корреляционная) связь.
23. Коэффициент корреляции и степень тесноты связи. Оценка достоверности корреляционной связи.
24. Тетрахорический показатель связи для бинарных признаков
25. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Линейный тренд.
26. Назначение регрессионного анализа, условия его применимости, выбор аппроксимирующей функции

Примерный перечень вопросов к зачету в 8-м семестре

27. Определение понятий “система” и “элемент”, основные свойства систем.
28. Свойства иерархических систем. Уровни иерархии геохимических ландшафтов

29. Системные признаки
30. Различия между материальными и абстрактными, между открытыми и замкнутыми системами
31. Статические и динамические, детерминированные и стохастические системы
32. Суть системного метода исследований; системные исследования в геохимии ландшафтов
33. Основные этапы системного анализа
34. Определение математической модели. Различия между эмпирическими и функциональными моделями
35. Оптимизационные и имитационные модели
36. Статические и динамические, детерминистические и стохастические модели
37. Модели с сосредоточенными и модели с распределенными параметрами для описания ландшафтно-геохимических систем разного пространственного масштаба
38. Различия между фундаментальными, прикладными исследованиями и проектированием; модели для исследований и модели для управления
39. Элементы и структура динамических моделей: переменные, константы и параметры, уравнения. Динамическая модель подкисления почв
40. Характеристика балансовых моделей, применяемых в геохимии ландшафтов
41. Метод Эйлера численного интегрирования дифференциальных уравнений
42. Основные этапы моделирования
43. Основные виды уравнений и приемы для выявления ошибок при определении аналитической структуры моделей
44. Способы оценки параметров моделей: экспериментальные измерения, трансферные функции, калибровка
45. Валидация и верификация модели. Способы проверки адекватности математической модели: графические, статистические, динамические
46. Этапы построения эмпирических моделей. Основные виды аппроксимирующих функций
47. Характеристика балансовых моделей, применяемых в геохимии ландшафтов
48. Классификация математических моделей в геохимии ландшафтов в зависимости от природы процессов, вида ландшафтно-геохимической системы, свойств мигрирующего вещества
49. Характеристика транспортных моделей
50. Характеристика моделей физико-химических превращений в ландшафтах. Кинетические и термодинамические модели.
51. Характеристика моделей биологической миграции в ландшафтах
52. Комплексные модели биогеохимических циклов, принципы их построения.

Шкала и критерии оценивания

Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств	Незачет	Зачет
Знания (виды оценочных средств: устный опрос, реферат)	Фрагментарные знания или отсутствие знаний	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания
Умения (виды оценочных средств)	В целом успешное, но не	Успешное и систематическое умение или в целом

<i>средств: устный опрос, реферат)</i>	систематическое умение или отсутствие умений	успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)
Навыки (владения, опыт деятельности) (виды оценочных средств: устный опрос, реферат)	Наличие отдельных навыков или отсутствие навыков	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач или, в целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме

8. Ресурсное обеспечение:

Основная литература

1. Гильманов Т.Г. Математическое моделирование биогеохимических циклов в травяных экосистемах. М., МГУ, 1978. 168 с.
2. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2008, 320 с.
3. Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф. Моделирование глобального круговорота углерода. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 336 с.
4. Кошелева Н.Е. Моделирование почвенных и ландшафтно-геохимических процессов. М.: изд. МГУ, 1997. 109 с.
5. Линник В.Г. Методы моделирования динамики и оптимизации геосистем. М., изд. МГУ, 1993. 98с.
6. Сметник А.А., Спиридонов Ю.Я., Шеин Е.В. Миграция пестицидов в почвах. Глава 4. М.: РАСХН-ВНИИФ, 2005. 336 с.
7. Сысуев В.В. Физико-математические основы ландшафтоведения. Учебное пособие. М., географический ф-т МГУ, 2003. 175 с.
8. Шеин Е.В., Рыжова И.М. Математическое моделирование в почвоведении. М., «ИП Маракушев А.Б.», 2016. 377 с.

Дополнительная литература

1. Аргучинцев В.К., Аргучинцева А.В. Модели и методы для решения задач охраны атмосферы, гидросферы и подстилающей поверхности. Иркутск: Иркутский госуниверситет, 2001. 115 с.
2. Богатырев Л.Г., Рыжова И.М. Биологический круговорот и его роль в почвообразовании. М.:изд-во МГУ, 1994. 80 с.
3. Батлер Д.Н. Ионные равновесия (математическое описание). Л.: Химия, 1973. 446 с.
4. Геоэкологическое моделирование для целей управления природопользованием в условиях изменений природной среды и климата// Под ред П.М. Хомякова. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 400 с.
5. Корытный Л.М. Бассейновая концепция в природопользовании. Новосибирск: изд-во Ин-та географии СО РАН, 2001. 161 с.
6. Крапивин В.Ф., Кондратьев К.Я. Глобальные изменения окружающей среды: экоинформатика. Главы 3, 5. СПб, 2002. 724 с.
7. Машихин С.В. Динамика углерода органического вещества и радионуклидов в наземных экосистемах (имитационное моделирование и применение информационных технологий). М.: изд-во Моск. ун-та, 2003. 172 с.
8. Мешалкина Ю.Л., Самсонова В.П. Математическая статистика в почвоведении: Практикум. М.: МАКС Пресс, 2008. 84 с.
9. Образцов А.С. Системный метод: применение в земледелии. М.: ВО Агропромиздат, 1990. 303 с.
10. Франс Дж., Торнли Дж.Х. Математические модели в сельском хозяйстве. М., Агропромиздат, 1987. 400 с.

11. Schnoor J.L. Environmental Modeling: Fate and Transport of Pollutants in Water, Air and Soil. New York, A Wiley-Interscience publ., 1996. 685 pp.
12. Kanevski M., Maignan M. Analysis and Modelling of Spatial Environmental data. Switzerland, Lausanne, EPFL Press, 2004. 304 pp.
13. Andrienko N. and G. Exploratory Analysis of Spatial and Temporal Data. Germany, Heidelberg, Springer-Verlag, 2005. 650 pp.
14. Johnston R.J. Multivariate Statistical Analysis in Geography. A primer on the general linear model. Longman Scientific & Technical. 1992. 280 pp.
15. Modelling the Fate of Chemicals in the Environment and the Human Body. Eds. P. Ciffroy, A. Tediosi, E. Capri. Switzerland, Springer. 2018, 262 p.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

Программный пакет STATISTICA

Программный пакет MS Office с программами Word и Excel

Программный пакет Photoshop

Реферативная база данных издательства Elsevier: www.sciencedirect.com

Поисковая система научной информации www.scopus.com

Электронная база научных публикаций www.webofscience.com

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Компьютерный класс

10. **Язык преподавания:** русский

11. **Преподаватель:** Ответственный за курс и преподаватель – Кошелева Наталья Евгеньевна, профессор кафедры геохимии ландшафтов и географии почв.

12. **Разработчик программы:** Кошелева Наталья Евгеньевна, профессор кафедры геохимии ландшафтов и географии почв.