Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Осетинский государственный университет имени Коста Левановича Хетагурова»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УР
_____ А.М. Дигурова
«30» 04 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Математическое моделирование в экологии и природопользовании

Направление подготовки 05.03.06. Экология и природопользование

Профиль: Геоэкология

Форма обучения – очная.

Владикавказ 2020

Рабочая программа дисциплины Математическое моделирование в экологии и природопользовании составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки бакалавра 05.03.06 Экология и природопользование, утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 998 от «11» августа 2016 года; учебным планом направления подготовки бакалавра 05.03.06 Экология и природопользование по профилю Геоэкология, утвержденным ученым советом ФГБОУ ВО «Северо-Осетинский государственный университет имени Коста Левановича Хетагурова» » от 30.04.2020 г., протокол № 9.

Составитель: доцент кафедры алгебры и анализа, кандидат физико-математических наук А. Ф. Тедеев

Рабочая программа обсуждена и утверждена на заседании кафедры алгебры и анализа (протокол № 8 от «24» марта 2020 г.)

Зав. кафедрой_____А.Б. Лолаев

Одобрена Советом факультета Географии и геоэкологии.
(протокол №8 от «31» марта 2020 г.)

Председатель Совета факультета _____Ф.М.Хацаева.

1. Структура и общая трудоемкость дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы (72 часа).

Форма промежуточной аттестации – зачёт

	Очная форма обучения	Заочная форма обучения
Курс	2	
Семестр	4	
Лекции	16	
Практические занятия	32	
Лабораторные занятия	-	
Консультации	-	
Итого аудиторных занятий	48	
Самостоятельная работа	24	
Курсовая работа		
Зачет		
Общее количество часов	72	

2. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников:

Компетенции выпускников, формируемые частично при реализации дисциплины (модуля):

ОПК-1 – владением базовыми знаниями в области фундаментальных разделов математики в объеме, необходимом для владения математическим аппаратом экологических наук, обработки информации и анализа данных по экологии и природопользованию

ПК-4 – способностью прогнозировать техногенные катастрофы и их последствия, планировать мероприятия по профилактике и ликвидации последствий экологических катастроф, принимать профилактические меры для снижения уровня опасностей различного вида и их последствий

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

Студент должен:

- Знать основные принципы построения математических моделей в экологии.
- Понимать закономерности функционирования сложных систем, связанные со скоростями поступления, перераспределения и расходования ресурсов.
- Уметь выделять основные блоки моделей сложных систем и связи между этими блоками. -Иметь опыт деятельности в области анализа устойчивости стационарных состояний экосистем.
- Уметь организовать сбор и анализ данных для верификации математических моделей.

3.Формат обучения: лекции, семинары

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе 48 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 24 академических часа на самостоятельную работу обучающихся.

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

№ п/п	Наименование разделов и тем дисциплины «Математическое моделирование в экологии»	Трудоемкость (в ак.часах) по формам занятий с преподавателем (с разбивкой по формам и видам)			Самостоятельная работа	Форма текущего контроля
		Контактная работа во взаимодействии				
		Лекции	Семинары	Лабораторная работа		
Часть I. Введение в математическое моделирование						
1	Введение	2	4		6	
2	Процедура моделирования сложных динамических систем. Источники неопределенности в экологических моделях	2	2		1	
3	Статические и динамические модели. Качественные методы исследования динамических моделей	1	4		2	
4	Биогеохимические модели	1	6		2	
5	Модели педогенеза	1	2		3	
Часть II. Математическое моделирование в экологии						
1	Введение	1				
2	Элементы теории колебаний		2		2	

3	Математическое моделирование динамики популяций	2	6		2	
4	Модели глобального развития	2	2		2	
5	Глобальные климатические модели	1	1		2	
6	Имитационное моделирование экосистем	2	1		2	
7	Моделирование динамики	1	2		4	
	отдельных веществ в наземных экосистемах					
	Итого:	16	32		24	72
	Промежуточная аттестация:					Зачет

Содержание дисциплины по разделам и темам:

Часть I. Введение в математическое моделирование
И.М. Рыжова

Введение

Тема 1. МЕТОДОЛОГИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Математизация науки. Основные понятия системного анализа. Основные методологические принципы моделирования. Анатомия математических моделей. Вычислительный эксперимент. Цели моделирования. Основные характеристики моделей (реалистичность, точность, общность, модульность, способность к качественному и количественному развитию).

Тема 2. СПЕЦИФИКА ЭКОСИСТЕМ И ПОЧВ КАК ОБЪЕКТА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Специфика почв и экосистем, как объекта моделирования. Открытость. Многокомпонентность. Сложный характер взаимодействия с окружающей средой. Динамичность. Нелинейность. Иерархическая организация. Пространственная неоднородность. Контринтуитивный характер реакции на внешние воздействия.

Тема 3. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Классификация экологических моделей (Федоров, Гильманов (1980); Ризниченко (2002); Jorgensen (2008)).

Раздел 1. Процедура моделирования сложных динамических систем

Тема 1. ПРОЦЕДУРА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Постановка задачи; выбор объекта исследования и определение его временных и пространственных границ; сбор необходимых данных и оценка их качества; выбор типа модели; концептуализация модели; формализация модели; выбор метода решения; реализация модели; верификация модели; анализ чувствительности; калибровка; проверка; заключительный синтез.

Тема 2. ИСТОЧНИКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

Пространственная вариабельность. Структура модели. Выбор сценария. Входы и параметры.

Раздел 2. Статические и динамические модели. Качественные методы исследования динамических моделей

Тема 1. СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Статические модели. Представление статических моделей в виде потоковых диаграмм и матричной форме. Достоинства и недостатки статических моделей. Динамические модели. Точечные модели. Используемый математический аппарат. Учет временной иерархии процессов («быстрые» «средние» и «медленные» переменные). Пространственнораспределенные динамические модели. Используемый математический аппарат.

Достоинства и недостатки динамических моделей.

Тема 2. КАЧЕСТВЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Динамические модели. Простейшие примеры динамических моделей. Качественные методы исследования динамических моделей. Линейные динамические модели. Иллюстративный пример: качественное исследование линейной модели круговорота углерода.

Тема 3. НЕЛИНЕЙНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Особенности динамики нелинейных систем. Простейшие примеры нелинейных динамических моделей. Иллюстративный пример: качественное исследование серии нелинейных моделей круговорота углерода.

Раздел 3. Биогеохимические модели

Тема 1. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ ЭЛЕМЕНТОВ. КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ.

Краткое историческое введение (первые модели; 30-40 годы; 70-е годы XX века; современный период). Классификация моделей: микробные, модели разложения подстилки; почвенные, экосистемные, глобальные. Особенности биогеохимических моделей в зависимости от пространственно-временного масштаба.

Тема 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ

Основные подходы к моделированию динамики органического вещества почв. Процесс-ориентированные и организм-ориентированные (модели пищевых цепей) модели. Процесс-ориентированные модели. Концептуальные пулы в моделях динамики органического вещества почв и измеряемые фракции. Проблема экспериментального обеспечения и проверки моделей динамики органического вещества почв. Редуцирующие функции (температурный фактор, фактор влажности, текстурный фактор), используемые в моделях динамики органического вещества почв.

Тема 3. ИСТОЧНИКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В МОДЕЛЯХ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ

Неоднозначный выбор пулов. Поиск связей между измеряемыми фракциями и концептуальными пулами моделей круговорота углерода. Неопределенность в определении структуры моделей ОВ почв. Противоречивые данные о температурной чувствительности разных пулов органического вещества почв. Использовании моделей в масштабе отличном от того для которого они были развиты. Входные данные и параметры. Проблема пространственно- временного масштаба при моделировании биогеохимических циклов.

Раздел 4. Модели педогенеза

Тема 1. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ МОДЕЛЕЙ ПЕДОГЕНЕЗА

Факторные модели. Эволюционные модели. Процессные модели. Примеры моделей педогенеза. Модель элювиального процесса. Модель SOILGEN.

Часть II. Математическое моделирование в экологии

Т.А. Архангельская

Введение.

Метод математического моделирования в экологии как инструмент исследования и прогнозов.

Раздел 1. Элементы теории колебаний.

Качественный анализ систем дифференциальных уравнений. Стационарные состояния. Изоклины. Главные изоклины. Особые точки: центр, устойчивый узел, неустойчивый узел, устойчивый фокус, неустойчивый фокус, седло. Предельные циклы.

Странные аттракторы. Сепаратрисы. Фазовая траектория. Фазовый портрет. Фазовое пространство. Фазовый сдвиг. Параметрический портрет системы. Бифуркация.

Раздел 2. Математическое моделирование динамики популяций. Тема 1. ОДИНОЧНАЯ ПОПУЛЯЦИЯ

Модели динамики одиночной популяции с непрерывным размножением. Рождаемость. Смертность. Коэффициент размножения. Экспоненциальный рост. Закон Мальтуса. Модель Ферхюльста. Логистический рост. Емкость среды. r- и K-стратеги. Модели промысла. Постоянный и долевой промысел.

Математические модели в микробиологии. Модель Моно.

Теория хемостата. Скорость разбавления, время удвоения, точка вымывания. Двухвозрастная модель Н.В. Степановой.

Матричные модели динамики одиночных популяций с возрастной структурой и дискретным размножением. Матрица Лесли. Эффект запаздывания. Возникновение колебаний численности.

Тема 2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОПУЛЯЦИЙ

Модели взаимодействия популяций. Общий вид системы уравнений, описывающей взаимодействие двух видов.

Система уравнений «хищник-жертва» В. Вольтерра. Особые точки, их устойчивость. Фазовый портрет системы. Возникновение автоколебаний. Форма предельного цикла при различном уровне поступления ресурсов в систему.

Система уравнений «хищник-жертва» при наличии внутривидовой конкуренции среди жертв. Система «хищник-жертва» в условиях проточного культиватора (хемостата).

Система уравнений, описывающая симбиотическое взаимодействие двух видов (а) в отсутствие внутривидовой конкуренции и (б) при наличии внутривидовой конкуренции.

Система уравнений, описывающая конкуренцию двух видов. Параметрический портрет системы. Триггерное переключение.

Взаимодействие трех популяций в системе «хищник-две жертвы» (а) в отсутствие конкуренции среди жертв и (б) при наличии конкуренции среди жертв.

Тема 3. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЭФФЕКТЫ

Возникновение структур в пространственно-распределенных системах. Билокальная система и ее поведение при различной интенсивности миграции жертв между двумя местообитаниями и при различных уровнях внутривидовой конкуренции среди жертв

Раздел 3. Модели глобального развития.

Тема 1. ЛОКАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ

Моделирование эколого-экономического взаимодействия на основе систем дифференциальных уравнений.

Модели Дж. Форрестера «Мир-1» и «Мир-2». Основные компоненты модели. Общий вид уравнений. Зависимость рождаемости и смертности (а) от уровня питания, (б) от материального уровня жизни, (в) от плотности населения, (г) от уровня загрязнения.

Основные результаты: кризис истощения ресурсов; кризис загрязнения. Сценарий глобального равновесия.

Модель нулевого роста Д. Медоуза. Усложнение структуры модели «Мир-3» по сравнению с моделями Форрестера.

Тема 2. ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ МОДЕЛИ

Пространственно-распределенная модель органического роста Месаровича-Пестеля. Региональный подход. Основные блоки модели. Основные результаты и их отличие от прогнозов Форрестера и Медоуза.

Раздел 4. Глобальные климатические модели.

Модель «ядерной зимы».

Сценарии динамики антропогенных выбросов парниковых газов в течение 21 века (по докладу Межправительственной группы экспертов по изменению климата, 2007)

Модели общей циркуляции атмосферы. Основные процессы, моделируемые в модели общей циркуляции атмосферы и океана Института вычислительной математики РАН. Прогноз изменения климата для сценария A1B, полученный на базе МОЦАО ИВМ РАН.

Модель «Климат - углеродный цикл» на базе МОЦАО ИВМ РАН. Основные блоки модели, основные процессы, основные уравнения. Прогноз содержания углерода в основных экосистемах для сценария A1B.

Модели «климат-озон» и «климат-метан» на базе МОЦАО ИВМ РАН. Основные блоки и процессы. Прогноз содержания метана в атмосфере для сценария A1B.

Раздел 5. Имитационное моделирование экосистем.

Тема 1. ОБЩИЕ ПОДХОДЫ

Общая блок-схема имитационных моделей экосистем. Биотический, абиотический, климатический блоки. Общая схема потоков вещества и энергии в экосистеме. Диаграммы Дж. Форрестера. Принцип лимитирующих факторов. Функции отклика. Регрессионные модели. Статистические имитаторы климата. Цели прогнозного моделирования: (а) прогноз отклика экосистемы на изменение ее структуры; (б) прогноз отклика экосистемы на изменение внешних условий.

Тема 2. АГРОЭКОСИСТЕМЫ

Имитационное моделирование агроэкосистем. Почвенный блок, вегетационный блок, метеоблок. Цели моделирования, особенности продукционных моделей. Модели SOYMOD, СИМОНА, AGROTOOL.

Прогноз поведения сельскохозяйственных экосистем в условиях возможных изменений климата. Проект «PESETA» и его основные результаты для агроэкосистем. Имитационная система «Климат-почва-урожай» ВНИИСХМ и прогнозы изменений продуктивности основных сельскохозяйственных культур при ожидаемых изменениях климата для различных регионов РФ.

Тема 3. ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Имитационные модели лесных экосистем. Цели моделирования. Ярусно-мозаичная концепция. Пространственно-распределенные гэп-модели. 3D-визуализация результатов расчетов. Структура модели Mixfor-3D и пример ее применения для оценки влияния вырубки леса на микроклимат экосистемы. Модель EFIMOD, ее основные блоки и процессы. Моделирование реакции лесных экосистем на возможные изменения климата.

Модели реакции болотных экосистем России на климатические изменения и антропогенные воздействия.

Тема 4. ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Имитационные модели водных экосистем. Цели моделирования. Особенности моделей водных экосистем. Имитационная модель экосистемы Невской губы Финского залива. Моделирование динамики популяций промысловых гидробионтов.

Раздел 6. Моделирование динамики отдельных веществ в наземных экосистемах. Тема 1. УГЛЕРОД

Моделирование динамики углерода в наземных экосистемах при различных климатических сценариях. Модели динамики органического углерода Century, RothC. Прогноз динамики запасов органического углерода пахотных земель Европейской территории России при различных системах земледелия. Модель динамики органического вещества почв в лесных экосистемах ROMUL.

Тема 2. ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Модели динамики загрязняющих веществ в наземных экосистемах. Цели моделирования. Динамическая модель циклов тяжелых металлов для агроландшафтов левобережья Окского бассейна.

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

Формы	***Обобщенные критерии оценки***

и способы оценки	*0-5 балла*	*5-10 баллов*	*10-15 баллов*
Письменный ответ	– не раскрыто основное содержание учебного материала; – обнаружено незнание или непонимание большей, или наиболее важной части учебного материала; – допущены ошибки в определении понятий, при использовании терминологии, которые не исправлены после нескольких наводящих вопросов.	– неполно или непоследовательно раскрыто содержание материала, но показано общее понимание вопроса и продемонстрированы умения, достаточные для дальнейшего усвоения материа- ла; – усвоены основные категории по рассматриваемому и дополнительным вопросам; – имелись затруднения или допущены ошибки в определении понятий, использовании терминологии, исправленные после нескольких наводящих вопро- сов.	– вопросы излагаются систематизировано и последовательно; – продемонстрировано умение анализировать материал, однако не все выводы носят аргументированный и доказательный характер; – продемонстрировано усвоение основной литературы. –в изложении допущены небольшие пробелы, не исказившие содержание ответа; допущены один – допущены ошибка или более двух недочетов при освещении второстепенных вопросов.

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

Часть I. Введение в математическое моделирование

<u>Введение</u>

Основные понятия системного анализа.

Основные методологические принципы моделирования.

Вычислительный эксперимент и его достоинства.

Основные характеристики моделей (реалистичность, точность, общность, модульность, способность к качественному и количественному развитию).

Специфика почв и экосистем, как объекта моделирования.

Основные типы математических моделей. Классификация экологических моделей.

Раздел 1. Процедура моделирования сложных динамических систем. Источники неопределенностей в моделях

Основные этапы моделирования сложных динамических систем. Источники неопределенности в экологических моделях.

Раздел 2. Статические и динамические модели. Качественные методы исследования динамических моделей

Статические модели. Достоинства и недостатки статических моделей.

Динамические модели. Точечные модели. Используемый математический аппарат.

Простейшие примеры линейных динамических моделей.

Учет временной иерархии процессов («быстрые» «средние» и «медленные» переменные).

Пространственно-распределенные динамические модели. Используемый математический аппарат. Достоинства и недостатки динамических моделей.

Качественное исследование динамических моделей. Качественное исследование линейной модели круговорота углерода.

Нелинейные динамические модели. Особенности динамики нелинейных систем. Простейшие примеры нелинейных динамических моделей.

Раздел 3. Биогеохимические модели

Основные этапы развития математических моделей биогеохимических циклов элементов. Классификация моделей биогеохимических циклов в соответствии с пространственновременным масштабом.

Особенности биогеохимических моделей в зависимости от пространственно-временного масштаба.

Основные подходы к моделированию динамики органического вещества почв.

Процесс-ориентированные и организм-ориентированные (модели пищевых цепей) модели.

Концептуальные пулы в моделях динамики органического вещества почв и измеряемые фракции. Проблема экспериментального обеспечения и проверки моделей динамики органического вещества почв.

Редуцирующие функции (температурный фактор, фактор влажности, текстурный фактор), используемые в моделях динамики органического вещества почв.

Проблема пространственно- временного масштаба при моделировании биогеохимических циклов.

Раздел 4. Модели педогенеза Факторные модели педогенеза.

Эволюционные модели педогенеза. Процессные модели. Примеры моделей педогенеза. Модель элювиального процесса. Модель SOILGEN.

Часть II. Математическое моделирование в экологии

Введение.

Этапы развития математической экологии. Области применения математических моделей в экологии.

Раздел 1. Элементы теории колебаний.

Стационарные состояния. Особые точки: центр, устойчивый узел, неустойчивый узел, устойчивый фокус, неустойчивый фокус, седло. Предельные циклы. Сепаратрисы. Фазовая траектория. Фазовый портрет. Фазовое пространство. Фазовый сдвиг. Параметрический портрет системы. Бифуркация.

Раздел 2. Математическое моделирование динамики популяций.

Закон Мальтуса. Модель Ферхюльста. Емкость среды. r- и K-стратеги. Постоянный и долевой промысел.

Модель Моно.

Теория хемостата. Скорость разбавления, время удвоения, точка вымывания.

Матрица Лесли.

Общий вид системы уравнений, описывающей взаимодействие двух видов.

Система уравнений «хищник-жертва» В. Вольтерра.

Система уравнений «хищник-жертва» при наличии внутривидовой конкуренции среди жертв. Система «хищник-жертва» в условиях проточного культиватора (хемостата).

Симбиотическое взаимодействие двух видов.

Конкуренция двух видов.

Взаимодействие трех популяций в системе «хищник-две жертвы».

Билокальная система и ее поведение

Раздел 3. Модели глобального развития.

Модели Дж. Форестера «Мир-1» и «Мир-2».

Модель нулевого роста Д. Медоуза.

Модель органического роста Месаровича-Пестеля.

Раздел 4. Глобальные климатические модели.

Модель «ядерной зимы».

Сценарии динамики антропогенных выбросов парниковых газов в течение 21 века

Модели общей циркуляции атмосферы.

Модель «Климат - углеродный цикл» на базе МОЦАО ИВМ РАН. Прогноз содержания углерода в основных экосистемах для сценария A1B.

Модели «климат-озон» и «климат-метан» на базе МОЦАО ИВМ РАН. Прогноз содержания метана в атмосфере для сценария A1B.

Раздел 5. Имитационное моделирование экосистем.

Общая блок-схема имитационных моделей экосистем. Биотический, абиотический, климатический блоки.

Имитационное моделирование агроэкосистем.

Прогноз поведения сельскохозяйственных экосистем в условиях возможных изменений климата.

Имитационные модели лесных экосистем. Имитационные модели водных экосистем.

Раздел 6. Моделирование динамики отдельных веществ в наземных экосистемах.

Моделирование динамики углерода в наземных экосистемах.
Модели динамики загрязняющих веществ в наземных экосистемах.

8. **Ресурсное обеспечение**:

- Перечень основной и дополнительной литературы:

№ п/п	Автор	Название книги/статьи	Отв. редактор	Место издания	Издательство	Год издания
1	Мятлев В.Д., Панченко Л.А., Ризниченко Г.Ю., Терехин А.Т.	Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели. (разделы II-1, II-2).		Москва	Академия	2009
2	Базыкин А.Д.	Математическая биофизика взаимодействующих популяций (раздел II-2)		Москва	Наука	1985
3	Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С.	Математическое моделирование в биофизике (разделы II-1, II-2)		Москва	Наука	1975
4	Светлосанов В.А.	Основы методологии моделирования природных систем (раздел II-3)		Москва		2007
5	МГЭИК	Сценарии выбросов. Специальный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (раздел II-4)			ВМО-ЮНЕП	2000
6	Джефферс Дж.	Введение в системный анализ: применение в экологии (Введение, разделы II-2, II-5)		Москва	Мир	1981
Дополнительная						
7	Вольтерра В.	Математическая теория борьбы за существование (раздел II-2)		Москва	Наука	1976

8	Форрестер Дж.	Мировая динамика. (раздел II-3)		СПб	АСТ	2003
9	Медоуз Д., Рандерс Й., Медоуз Д.	Пределы роста. 30 лет спустя (раздел II-3)		Москва	Академкнига	2007
10	Пузаченко Ю.Г.	Основы общей экологии (Введение, раздел II-2)		Москва	Изд-во Моск. унта	1996
11	Смит Дж.М.	Модели в экологии (Введение, раздел II-2)		Москва	Мир	1976
12		Сельскохозяйственные экосистемы (раздел II5)		Москва	Агропромиздат	1987
13	Чертов О.Г., Комаров А.С., Надпорожская М.А. и др.	Динамическое моделирование процессов трансформации органического вещества почв. Имитационная модель ROMUL: Учебно-метод. пособие (раздел II-6)	Апарин Б.Ф.	СПб		2007
14	Романенков В.А., Сиротенко О.Д., Рухович Д.И и др.	Прогноз динамики запасов органического углерода пахотных земель Европейской территории России (раздел II-6)		Москва	ВНИИА	2009
15	Мамихин С.В.	Динамика углерода органического вещества и радионуклидов в наземных экосистемах (раздел II-6)		Москва	Изд-во Моск. унта	2003
16	Кошелева Н.Е.	Моделирование почвенных и ландшафтногеохимических процессов (раздел II-6)		Москва	Изд-во Моск. унта	1997
17	Федоров В.Д., Гильманов Т.Г.	Экология (раздел 1)		Москва	Изд-во МГУ	1980
18	Jorgensen S.E.	Fundamentals of Ecological Modelling			Elsevier	2001
19	Самарский А.А.,	Математическое		Москва	Физматлит.	2001
	Михайлов А.П.	моделирование: Идеи. Методы. Примеры (раздел 1)				

20	Nieder R. Benbi D.K.	Carbon and Nitrogen in the Terrestrial Environment			Springer	2008
Интернет-ресурсы						
21	http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=2900	Impacts of climate change in agriculture in Europe. PESETA-Agriculture study (разделы II-4, II-5)				
22	http://mathbio.professorjournal.ru/lectur es	Г.Ю. Ризниченко. Курс лекций «Биоинформатика и математическое моделирование» (разделы II-1, II-2)				
23	http://www.journals.elsevier.com/enviro nmental-modellingand-software/	Environmental Modelling & Software (все разделы)				
24	http://agrotool.asu.ru/	AGROTOOL (раздел II-5)				
25	http://nrel.colostate.edu/projects/century5/reference/html/Century/overview.htm	The CENTURY Soil Organic Matter Model				
26	http://www.rothamsted.ac.uk/sustainablesoils-and-grasslandsystems/rothamstedcarbon-model-rothc	Rothamsted Carbon Model (RothC)				

- Перечень лицензионного программного обеспечения (при необходимости)
- Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости)
- Описание материально-технического обеспечения:

А. Помещения

- Лекционное потоковая аудитория, оборудованная оргтехникой (проектор, компьютер, выход в Интернет): Б. Оборудование:

Для лекционных аудиторий: необходимая оргтехника, ЭВМ, и др.