

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

А. В. Алдушин

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,
обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки
05.03.06 Экология и природопользование

Калининград
2025

УДК 004.6, 504.03, 504.054

Рецензент

кандидат биологических наук, доцент ФГБОУ ВО «Калининградский
государственный технический университет» Е.А. Масюткина

Алдушин, А. В.

Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду:
учеб.-метод. пособие по изучению дисциплины для студ. бакалавриата по напр.
подгот. 05.03.06 Экология и природопользование / А. В. Алдушин. –
Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2025. – 54 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины
«Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду»
представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного
курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме,
рекомендации и материалы по подготовке к практическим занятиям, вопросы
для самоконтроля, а также задания для текущего контроля и промежуточной
аттестации, критерии и нормы оценки.

Табл. 1, список лит. – 3 наименования

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано
к изданию в качестве локального электронного методического материала для
использования в учебном процессе методической комиссией института
рыболовства и аквакультуры ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет» 25 апреля 2025 г., протокол № 4

УДК 004.6, 504.03, 504.054

©Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2025 г.
© Алдушин, А.В., 2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Методические рекомендации по изучению дисциплины	12
2 Тематический план лекционных занятий по дисциплине.....	14
3 Методические рекомендации по выполнению практических работ.....	29
4 Тематический план практических занятий по дисциплине	31
5 Методические рекомендации по выполнению контактной работы преподавателя в ЭИОС	34
6 Тематический план контактной работы преподавателя в ЭИОС.....	35
7 Вопросы для самоконтроля	39
8 Методические рекомендации по выполнению контрольной работы	41
9 Методические указания по выполнению самостоятельной работы студентов	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	52
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	53

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие разработано для направления подготовки 05.03.06 Экология и природопользование по дисциплине "Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду", входящей в модуль «модуль направления» обязательной части основной профессиональной образовательной программы высшего образования программы бакалавриата по данному направлению подготовки.

Цель освоения дисциплины «Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду» состоит в формировании знаний об основных принципах моделирования в экологии, а также умении использовать и применять методы моделирования для прогнозирования динамики экосистем при изменении внешних условий под влиянием антропогенной активности.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- методы и приемы работы с информацией, в том числе с использованием программного обеспечения и средств автоматизации рабочего процесса;
- основы системного подхода применительно к экологическим системам;
- основные методы и этапы моделирования.

уметь:

- выполнять систематизацию информации;
- производить оценку и определять изменения состояния окружающей среды при осуществлении хозяйственной деятельности с использованием моделирования;
- применять современные информационные технологии для моделирования и прогнозирования.

владеть:

- основными методами моделирования в экологии;
- базовыми знаниями в области информатики и геоинформационных систем;
- основными типами информационных систем, используемых при моделировании и прогнозировании при решении экологических задач.

При изучении дисциплины «Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду» студентами используются компетенции, базовые знания, умения и навыки, полученные в процессе освоения дисциплин обязательной части ОПОП ВО программы бакалавриата: «Информатика и основы программирования», «Пространственный анализ экологической информации», а также на базе изученных в школе дисциплин в сфере информационных технологий.

Студенты, начинающие изучать данную дисциплину, должны иметь представление о работе в информационной среде и уметь использовать стандартное программное обеспечение для успешного освоения материала.

Дисциплина «Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду» формирует компетенции, используемые студентами в дальнейшей профессиональной деятельности, является базой при изучении таких дисциплин как: «Оценка воздействия на окружающую среду», «Прикладное программное обеспечение экологической деятельности», а также при подготовке выпускной квалификационной работы бакалавра, магистерской диссертации.

Моделирование играет ключевую роль в экологии, предоставляя ученым инструменты для анализа сложных природных систем и процессов. Экологические модели позволяют исследовать взаимодействия между различными компонентами экосистем, например, такими как представители растительного и животного мира, почва и климат. С помощью моделей можно прогнозировать изменения в экосистемах под воздействием разного рода факторов, включая изменение климата, загрязнение окружающей среды и антропогенное воздействие. Это помогает в выработке стратегий охраны природы и управления ресурсами, а также в оценке долгосрочных последствий человеческой деятельности.

Моделирование способствует пониманию динамики популяций и биоразнообразия. Экологи могут использовать модели для изучения роста популяций, их распределения и взаимодействия с другими видами. Это особенно важно для оценки риска вымирания редких видов и разработки мер по их сохранению. Модели помогают выявить критические точки и пороги, за которыми экосистемы могут потерять устойчивость, что позволяет своевременно предпринимать превентивные меры.

Особое значение моделирование приобретает в контексте сложности проведения реальных экспериментов на живых системах. Проведение подобного рода опытов может привести к необратимым последствиям, что делает моделирование незаменимым инструментом при прогнозировании и анализе без риска нанесения вреда реальным экосистемам и их компонентам. Это позволяет экологам разрабатывать и тестировать гипотезы в виртуальной среде или системах с физическим подобием, минимизируя потенциальные негативные воздействия на природу и ее компоненты.

Таким образом изучение моделирования в рамках дисциплины «Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду» необходимо для подготовки экологов к современным вызовам в области охраны окружающей среды. Владение методами моделирования позволяет студентам анализировать данные, проводить симуляции и интерпретировать

получаемые результаты. Все это позволяет развивать критическое мышление и способность применять теоретические знания на практике. Кроме того, моделирование способствует междисциплинарному взаимодействию, так как экологические модели часто требуют интеграции данных из различных научных областей, таких как биология, химия, физика и информатика.

Текущая и промежуточная аттестация студентов

Текущая и промежуточная аттестация студентов в вузе играет важную роль в образовательном процессе, обеспечивая систематический контроль и оценку знаний, умений и навыков учащихся. Эти формы аттестации помогают преподавателю оценить уровень усвоения учебного материала и подготовки студентов к решению реальных экологических задач, выявить пробелы в знаниях и своевременно внести корректировки в процесс обучения в случае необходимости.

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

Текущий контроль приучает студентов к систематической работе по изучаемой дисциплине и позволяет определить уровень усвоения студентами теоретического материала и освоенных практических навыков.

Основные задачи текущей аттестации:

- оценка понимания теории: позволяет оценить, насколько студенты понимают основные теоретические аспекты моделирования и его применения в экологии;

- практические навыки: проверяет умение студентов применять модели и методы анализа для решения практических задач, связанных с антропогенным воздействием;

- обратная связь: студенты получают регулярную обратную связь о своих достижениях и ошибках, что способствует их мотивации и улучшению результатов;

- корректировка учебного процесса: преподаватель может адаптировать методы преподавания и учебные материалы в зависимости от результатов текущей аттестации.

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется посредством следующих видов оценочных средств:

- выполнение и защиту практических работ в форме контроля правильности выполнения задания и устного опроса по теме работы;
- контактную работу преподавателя в электронной информационно-образовательной среде (ЭИОС);
- тестовые задания по отдельным темам;

Оценка знаний при текущем контроле проводится в соответствии с числом правильно выполненных тестовых заданий, правильных ответов на вопросы преподавателя при защите практических работ.

Промежуточная аттестация по дисциплине предусмотрена в виде:

очная форма обучения, четвертый семестр – экзамен;

заочная форма обучения, четвертый семестр – контрольная работа, экзамен.

Условиями допуска студента к экзамену являются положительные результаты текущего контроля успеваемости, включающие прохождение всех тестов на оценку не ниже «удовлетворительно», выполнение заданий в ЭИОС на оценку «зачтено», выполнение и защиту практических и контрольной (для заочной формы обучения) работ, а также активное участие в работе на практических занятиях. Успешная сдача экзамена по дисциплине «Моделирование антропогенной нагрузки на окружающую среду» возможна только в случае полного выполнения учебной программы дисциплины.

К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме экзамена, относятся экзаменационные задания по дисциплине, представленные в виде тестовых заданий закрытого и открытого типов с ключами правильных ответов и одного практического задания. Тестовые задания на экзамен формулируются с учетом задач курса, изложенных в учебной программе, и предусматривают проверку знаний разделов и тем, прочитанных в лекционном курсе и рассмотренных на практических занятиях.

Промежуточная аттестация по дисциплине "Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду" играет ключевую роль в оценке комплексных знаний и навыков студентов, приобретенных в течение семестра. Она включает в себя экзамен, который проводится в четвертом семестре, служащий для объективной оценки уровня усвоения как теоретических, так и практических аспектов дисциплины. Основные задачи промежуточной аттестации:

- оценка комплексных знаний: определяет, насколько студенты понимают и могут применять теоретические концепции и приемы моделирования для анализа и решения экологических проблем;

- практическое применение моделей: проверяет способность студентов использовать модели для прогнозирования последствий антропогенного воздействия и разработки стратегий управления экосистемами;

- формирование рейтинга: результаты аттестации могут использоваться для определения академического рейтинга студентов, что важно для получения стипендий и других форм поддержки;

- выявление пробелов в знаниях: помогает выявить системные проблемы в образовательном процессе, такие как недостаточный уровень подготовки студентов или неэффективные методы преподавания, что позволяет своевременно вносить коррективы.

Таким образом, промежуточная аттестация носит комплексный характер, т.е. оценивает все освоенные знания, умения и навыки, усвоенные студентом в результате изучения данной дисциплины. Для успешной сдачи экзамена по дисциплине студент обязан:

- 1) продемонстрировать знание основных теоретических вопросов по темам дисциплины, предусмотренным настоящей рабочей программой (дать удовлетворительные ответы на вопросы теоретической части экзаменационных тестовых заданий);

- 2) выполнить практическое задание, содержащееся в тестовом задании (задание дается в соответствии с темами, предусмотренными планом практических работ);

Как правило, дисциплина засчитывается студентам, выполнившим вышеуказанные условия, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины и посещавшим аудиторные занятия, установленные рабочей программой модуля «модуль направления» ОПОП бакалавриата по направлению подготовки 05.03.06 Экология и природопользование, в который входит дисциплина «Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду». На положительный результат экзамена не влияет незнание точных цифровых характеристик и данных, носящих справочный характер.

Критерии оценивания результатов освоения дисциплины

Устный опрос проводится на практических занятиях с целью уточнения правильного понимания рассматриваемых вопросов и применяемых методов моделирования, оценивается как «правильно» или «неправильно».

Проверка выполнения практических заданий (для всех форм обучения) осуществляется по критерию: «зачтено» или «не зачтено». Задание считается не выполненным, если в результатах моделирования допущены грубые ошибки, повлиявшие на общий результат.

Экзамен (для всех форм обучения) проводится в конце семестра по расписанию в виде тестовых заданий. Экзаменационный тест содержит вопросы теоретической части и одно практическое задание (в соответствии с одной из тем, предусмотренных планом практических работ).

Оценка за экзамен осуществляется по четырехбалльной системе.

Оценка «Неудовлетворительно» выставляется в случае, если студент набрал менее 60 % правильных ответов по теоретической части теста, либо полностью не выполнил практическое задание.

Оценка «Удовлетворительно» выставляется в случае, если студент набрал 60–70 % правильных ответов и допустил незначительные ошибки, либо не полностью выполнил практическое задание.

Оценка «Хорошо» выставляется в случае, если студент набрал более 70 % правильных ответов и допустил незначительные ошибки, либо не полностью выполнил практическое задание.

Оценка «Отлично» выставляется в случае, если студент набрал более 80 % правильных ответов и полностью выполнил практическое задание.

Тестовые задания используются для оценки освоения всех тем дисциплины студентами очной и заочной форм обучения. Тесты сформированы на основе материалов лекций и вопросов, рассмотренных в рамках практических занятий и заданий, выполненных в рамках работы в ЭИОС. Тестирование обучающихся проводится на практических занятиях (в течение 10-15 минут, в зависимости от уровня сложности материала) после рассмотрения на лекциях соответствующих тем и выполненных заданий в ЭИОС. Тестирование проводится с помощью компьютерной программы Indigo (база тестов располагается на сервере кафедры).

Положительная оценка («отлично», «хорошо» или «удовлетворительно») выставляется программой автоматически в зависимости от количества правильных ответов.

Градация оценок:

- «отлично» – 81 % и выше;
- «хорошо» – 70 % и выше, но не более 80 %;
- «удовлетворительно» – 60 % и выше, но не более 69 %.

Система оценивания результатов обучения при промежуточной аттестации включает в себя системы оценок: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно» (таблица).

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0-59 %	60-69 %	70-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
1 Системность и полнота знаний в отношении	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно	Обладает минимальным набором знаний, необходимым	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0-59 %	60-69 %	70-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
изучаемых объектов	корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	для системного взгляда на изучаемый объект	изучаемый объект	объект
2 Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задаче данные	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0-59 %	60-69 %	70-80 %	81-100 %
	«неудовлетвори- тельно»	«удовлетвори- тельно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
	освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	алгоритмом	алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	новые решения в рамках поставленной задачи

Учебно-методическое пособие состоит из:

– введения, где указаны: шифр, наименование направления подготовки; дисциплина учебного плана, для изучения которой оно предназначено; цель и планируемые результаты освоения дисциплины; место дисциплины в структуре ОПОП ВО; виды текущего контроля, последовательности его проведения, критерии и нормы оценки (отметки); форма проведения промежуточной аттестации; условия допуска к экзамену, критерии и нормы оценки (текущей и промежуточной аттестации);

– основной части, которая содержит методические рекомендации по изучению дисциплины; тематический план лекционных занятий; методические рекомендации по выполнению практических работ; тематический план практических занятий; методические рекомендации по выполнению контактной работы преподавателя в ЭИОС; тематический план контактной работы преподавателя в ЭИОС; методические рекомендации по выполнению контрольной работы (для заочной формы обучения); методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы студентов;

- списка вопросов для самоконтроля;
- заключения;
- списка рекомендованных источников.

1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Осваивая курс «Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду», студент должен научиться работать на лекциях, практических занятиях, в ЭИОС и организовывать самостоятельную работу. Основной упор в образовательном процессе сделан на соединение активной (аудиторной) и интерактивной форм обучения.

Лекции являются одной из основных форм аудиторной работы студентов. Целью лекции является знакомство студентов с ключевыми теоретическими аспектами моделирования антропогенного воздействия на окружающую среду в логически структурированной форме. При чтении данного курса применяются следующие виды лекций:

- вводная – введение в тему, цели и задачи курса;
- установочная – формирование базовых понятий и концепций;
- обзорная – обзор существующих методов и моделей;
- проблемная – рассмотрение актуальных экологических проблем и подходов к их решению;
- лекция-информация – представление новых данных и исследований;
- лекция-консультация – ответы на вопросы студентов, углубленное рассмотрение сложных тем;
- заключительно-обобщающая лекция – подведение итогов курса, обобщение изученного материала.

Лекции сопровождаются дополнительным иллюстративным материалом, позволяющим студентам в наглядной и доступной форме усваивать излагаемую лектором информацию. Иллюстративный материал может включать в себя помимо текстовой информации также графическое отображение и визуализацию различных моделей, применяемых в экологии, и связанных с ними процессами и явлениями. Занятия проводятся в аудитории, оснащенной компьютером и мультимедийным проектором (или иным устройством вывода, предназначенным для визуализации мультимедийных презентаций), маркерной доской.

В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать лектора и следить за логикой его изложения, записывая ключевые теоретические положения, содержащие важную информацию. Не стоит пытаться записывать каждое слово – это отвлекает и затрудняет понимание основного содержания предоставляемого лектором материала. Детали и примеры, иллюстрирующие основные идеи, можно найти в рекомендованной для данного учебного курса литературе.

Студентам рекомендуется вести конспект лекций в отдельной тетради. Каждую лекцию следует оформлять с указанием темы и выделением основных вопросов, которые ее раскрывают. Однако работа на лекции не должна ограничиваться простой записью материала. Студенты должны активно участвовать в процессе, следить за логикой изложения и участвовать в диалоге с преподавателем. Записи нужно вести постоянно, сохраняя логическую последовательность.

К материалам лекций нужно периодически возвращаться, не откладывая работу с конспектом до подготовки к экзамену. Перед каждой новой лекцией следует освежить в памяти уже пройденный материал для лучшего усвоения новой информации. Возникшие при этом вопросы необходимо постараться снять с помощью учебной литературы или на консультации у преподавателя. В этом случае обеспечивается преемственность в последовательности изучения материала и устойчивое закрепление знаний. В случае вынужденного пропуска лекции необходимо просмотреть и переписать её конспект. В тетради необходимо предусмотреть поля для самостоятельных заметок, где студенты могут выделять важные, значимые или проблемные моменты. Эти поля служат пространством для творческого осмысления услышанного и записанного, что делает учебный процесс более полноценным.

Конспектирование лекций – это индивидуальный и творческий процесс, и каждый студент может выбрать свой стиль и объем записей. Ведение конспекта помогает логично и систематично осваивать учебный материал и развивать навыки письменной фиксации устной речи, что может быть полезно в будущей профессиональной деятельности.

Начиная изучение дисциплины, следует очень серьёзно отнестись к вводной лекции, на которой преподавателем определяются цель и задачи дисциплины в общей программе профессиональной подготовки, её место в учебном плане, методы, которые будут использованы при её изучении. Указывается перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для самостоятельного изучения ряда тем и разделов.

На лекциях рассматриваются вопросы истории развития моделирования в экологии, основы системного подхода применительно к моделированию, методы и инструменты моделирования.

2 ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ЛЕКЦИОННЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Тема 1. Актуальность, цели и задачи моделирования экосистем. История развития моделирования в экологии. Методологические основы процесса моделирования

Форма проведения занятия: лекция.

Вопросы для обсуждения:

Понятие модели и моделирования, цели моделирования: определение модели как упрощенного представления реальной системы. Цели моделирования: предсказание поведения системы, оптимизация процессов, понимание взаимосвязей в экосистемах.

Специфические особенности моделирования: прогнозирование и предотвращение рисков, многогранный анализ, наглядность и упрощение анализа, количественный анализ, гибкость и адаптивность, интеграция данных.

Признаки модели: соответствие объекту, замещение объекта, информативность.

Особенности выбора существенных свойств оригинала при построении модели: определение ключевых параметров, исключение второстепенных факторов, валидация выбранных свойств, учет взаимосвязей, адаптация к целям моделирования, гибкость и масштабируемость.

История развития математического моделирования в экологии: ранние работы и основы – описание динамики популяций с помощью математических уравнений. Развитие системного анализа, позволившего рассматривать экосистемы как сложные системы с множеством взаимосвязанных компонентов. Компьютерное моделирование – расширение возможностей моделирования путем разработки численных методов и алгоритмов симуляции. Модели глобальных изменений – моделирование начало использоваться для прогнозирования глобальных изменений, таких как изменение климата и утрата биоразнообразия. Использование современных достижений – в 21-м веке моделирование в экологии продолжает развиваться благодаря использованию больших данных, машинного обучения и искусственного интеллекта. Использование междисциплинарного подхода – современное моделирование в экологии требует междисциплинарного подхода, включающего биологию, химию, физику, математику и информатику. Это позволяет создавать комплексные модели, учитывающие множество факторов и взаимосвязей.

Специфика моделирования живых систем: сложные системы – живые системы являются сложными и многокомпонентными, с пространственной структурой и индивидуальностью элементов. Модели должны учитывать взаимодействие между компонентами и их динамику во времени. Важно также

учитывать нелинейные взаимодействия и эмерджентные свойства, которые возникают на уровне системы. Размножающиеся системы – способность к авторепродукции является ключевым свойством живых систем, определяющим их устойчивость и адаптивность. Модели должны включать механизмы репликации и наследования, а также учитывать изменения, связанные с мутациями и естественным отбором. Важно моделировать процессы биосинтеза и переработки веществ, которые поддерживают рост и размножение. Открытые системы – живые системы являются открытыми, обмениваясь веществом и энергией с окружающей средой. Модели должны учитывать потоки вещества и энергии, а также использовать нелинейные уравнения для описания процессов, далеких от термодинамического равновесия. Важно учитывать влияние внешних факторов, таких как изменения в окружающей среде, на динамику системы. Многоуровневая система регуляции – биологические системы имеют сложную систему регуляции с петлями обратной связи, как положительной, так и отрицательной. Модели должны учитывать взаимодействие между различными уровнями организации, такими как молекулярный, клеточный и организменный. Важно моделировать процессы регуляции, такие как гомеостаз и адаптация к изменениям в окружающей среде. Эволюционные процессы – живые системы подвержены эволюционным процессам, таким как мутации, дрейф генов и естественный отбор. Модели должны учитывать эти процессы для прогнозирования долгосрочных изменений в системе. Важно включать механизмы адаптации и эволюции в модели для более точного отражения биологической реальности.

Преимущества и пути возникновения математических моделей: предсказательная способность – математические модели позволяют делать предсказания о поведении системы, которые можно проверить через эксперименты или наблюдения. Это помогает подтвердить или опровергнуть теоретические выводы. Количественная оценка – Модели предоставляют количественные оценки параметров системы, что позволяет более точно анализировать и интерпретировать данные. Проверка теоретических открытий – проверка моделей через эксперименты или наблюдения является необходимым этапом для подтверждения теоретических открытий. Это помогает убедиться в достоверности модели. Управление и оптимизация – модели помогают в управлении популяциями и ресурсами, позволяя находить оптимальные решения для различных задач, таких как сохранение биоразнообразия или контроль численности. Интеграция данных – математические модели могут объединять данные из различных источников, создавая целостную картину исследуемого процесса. Анализ чувствительности – модели позволяют оценивать, как изменения в параметрах влияют на систему, что помогает в принятии обоснованных решений.

Пути возникновения математических моделей: феноменологические модели – возникают в результате прямого изучения реального процесса. Эти модели строятся на основе наблюдений и экспериментальных данных, описывая явление на уровне его проявлений. Асимптотические модели – возникают в результате дедукции, когда новая модель является частным случаем более общей модели. Это позволяет использовать уже существующие теоретические основы для создания более специфичных моделей. Модели ансамблей – возникают в результате индукции, когда новая модель является обобщением элементарных моделей. Это позволяет учитывать множество факторов и взаимосвязей, создавая более комплексные модели.

Методические рекомендации

Требуется получить общее представление о дисциплине и ее основных положениях; знать основные термины и определения, получить общее представление о модели как упрощенном представлении реальной системы; понять уникальные аспекты моделирования, такие как прогнозирование рисков и многогранный анализ; определить ключевые признаки модели; понять процесс выбора ключевых параметров для модели; проследить эволюцию математического моделирования в экологии; понять уникальные аспекты моделирования живых систем; определить преимущества математических моделей и пути их возникновения; понять различные подходы к созданию математических моделей.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое модель, моделирование?
2. Перечислите специфические особенности моделирования.
3. Перечислите три основных признака модели.
4. Дайте описание математических моделей А. Лотки и В. Вольтерры.
5. Какое направление в экологии было освящено Р. Линдеманом: основные моменты его статьи «Трофодинамический аспект экологии»?
6. В чем заключается специфика моделей живых систем?
7. Преимущества и пути возникновения математических моделей.

Тема 2. Основы экологического моделирования

Форма проведения занятия: лекция.

Вопросы для обсуждения:

Понятие экологической модели как упрощенного представления экологической системы, позволяющего исследовать её поведение и динамику с помощью математических или концептуальных методов. Типы экологических моделей: детерминированные модели – описывают системы, где будущие состояния полностью определяются начальными условиями и законами

изменения. Стохастические модели – учитывают случайные факторы и неопределенность, что позволяет моделировать более реалистичные сценарии. Статические модели – описывают состояние системы в определенный момент времени. Динамические модели – описывают изменения системы во времени.

Компоненты модели: переменные – параметры, описывающие состояние системы, такие как численность популяции, концентрация загрязнителей и т.д. Уравнения – математические выражения, описывающие взаимосвязи между переменными и их изменения во времени. Параметры – константы или коэффициенты, определяющие свойства системы, такие как скорость роста или коэффициент смертности.

Применение – экологические модели используются для решения задач в области охраны окружающей среды, управления природными ресурсами, прогнозирования изменений климата и оценки рисков.

Валидация и верификация – важным этапом является проверка модели на соответствие реальным данным и условиям. Это включает сравнение результатов модели с эмпирическими данными и корректировку модели при необходимости.

Классификация моделей. По степени полноты: полные модели – стремятся максимально точно воспроизвести все аспекты реального объекта, обеспечивая полное подобие во времени и пространстве. Неполные модели – описывают только ключевые характеристики объекта, игнорируя менее значимые детали. Приближенные модели – упрощают описание объекта, исключая некоторые аспекты, которые не моделируются совсем.

По характеру изучаемых процессов: детерминированные модели – описывают процессы, в которых отсутствуют случайные воздействия. Используются, когда система подчиняется строгим законам. Стохастические модели – учитывают вероятностные события и случайные факторы, позволяя анализировать ряд реализаций процесса.

По временной динамике: статические модели – описывают состояние системы в определенный момент времени, без учета изменений. Динамические модели – описывают изменения системы во времени, что важно для анализа процессов, зависящих от времени.

По способу представления: дискретные модели – описывают процессы, изменяющиеся в отдельные моменты времени. Непрерывные модели – описывают процессы, изменяющиеся постоянно. Дискретно-непрерывные модели – комбинируют элементы дискретных и непрерывных процессов.

По форме представления: мысленное моделирование – используется, когда реальный эксперимент невозможен. Включает наглядное, символическое и математическое моделирование. Реальное моделирование: включает натурное

и физическое моделирование, где исследования проводятся на реальных объектах или их частях.

По методу моделирования: аналитическое моделирование – использует математические уравнения для описания процессов. Позволяет получить явные зависимости для искомых характеристик. Имитационное моделирование – воспроизводит процессы во времени, позволяя анализировать их поведение в разные моменты. Комбинированное моделирование – объединяет аналитические и имитационные методы, позволяя охватить более сложные системы.

По цели моделирования: прогностические модели – направлены на предсказание будущих состояний системы. Описательные модели – описывают текущее состояние системы и её основные характеристики. Оптимизационные модели – направлены на поиск оптимальных решений для управления системой.

Методы моделирования в экологии: аналитическое моделирование - метод, использующий математические уравнения для описания экологических процессов. Подходит для систем с небольшим числом переменных, где возможно получить точное решение. Численное моделирование – метод, применяющий численные алгоритмы для решения уравнений, когда аналитическое решение невозможно. Используется для систем, где аналитическое решение недоступно. Имитационное моделирование – метод, воспроизводящий процессы в экосистеме во времени с использованием компьютерных симуляций. Подходит для моделирования изменений численности популяций, распространения загрязнителей и т.д. Стохастическое моделирование – метод, учитывающий случайные факторы и вероятностные события в экосистемах. Используется для моделирования процессов с высокой степенью неопределенности. Системное моделирование – метод, рассматривающий экосистемы как сложные системы с множеством взаимосвязанных компонентов. Подходит для комплексного анализа экосистем. Агентное моделирование – метод, моделирующий поведение отдельных агентов (например, организмов) и их взаимодействие в экосистеме. Используется для моделирования индивидуального поведения и взаимодействий. Географические информационные системы (ГИС) – метод, использующий пространственные данные для моделирования экологических процессов. Подходит для пространственного анализа и визуализации данных.

Этапы разработки модели: Первый этап – содержательное описание моделируемого объекта. Этот этап включает описание объекта моделирования с позиций системного подхода. Формируется концептуальная модель, которая служит основой для последующей формализации. Тщательное изучение объекта на этом этапе предотвращает логические противоречия и

неопределенности в дальнейшем. Второй этап – формализация операций. Включает в себя процесс преобразования содержательного описания в формальную (символьную) модель. Анализируются характеристики, исключаются несущественные, определяются управляемые и неуправляемые параметры, а также система ограничений. Фактически, это итеративный процесс, требующий тщательного анализа и понимания природы системы. Третий этап – проверка адекватности модели. Заключается в оценке соответствия модели реальному объекту. Включает предварительную проверку на наличие всех ключевых параметров, правильность ограничений и функциональных связей. Привлекаются специалисты для объективной оценки. Практическая проверка и накопление статистики необходимы для окончательного подтверждения адекватности. Четвертый этап – корректировка модели. Состоит в уточнении и доработке модели на основе результатов проверки. Включает уточнение существенных параметров, ограничений, показателей исхода операции и критериев эффективности. Необходим для обеспечения точности и надежности модели перед её практическим использованием. Пятый этап – оптимизация модели. Состоит в упрощении модели при сохранении её адекватности. Включает преобразование модели из одной формы в другую с использованием математических методов или эвристики. Позволяет повысить эффективность использования модели без потери её точности.

Методические рекомендации

Требуется изучить основные определения и примеры экологических моделей. Необходимо обратить внимание на то, как модели упрощают реальные системы для анализа их поведения и динамики. Необходимо изучить различия между детерминированными, стохастическими, статическими и динамическими моделями. Разобраться, в каких случаях применяется каждый тип.

Необходимо рассмотреть, что такое переменные, уравнения и параметры в контексте модели и понять, как они взаимодействуют для описания системы. Ознакомиться с областями применения экологических моделей, такими как охрана окружающей среды, управление природными ресурсами и прогнозирование изменений климата. Требуется изучить методы проверки моделей на соответствие реальным данным. Понять важность сравнения моделей с эмпирическими данными. Требуется также ознакомиться с различными классификациями моделей по степени полноты, характеру изучаемых процессов, временной динамике и способу представления.

Требуется изучить основные методы моделирования, такие как аналитическое, численное, имитационное, стохастическое, системное, агентное

и ГИС-моделирование. Необходимо разобраться с последовательностью этапов разработки модели: содержательное описание, формализация, проверка адекватности, корректировка и оптимизация.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие модели выделяют в зависимости от характера изучаемых процессов?
2. Назовите разновидности наглядного моделирования.
3. Назовите разновидности символического моделирования.
4. Назовите разновидности математического моделирования.
5. Назовите разновидности натурального моделирования.
6. Назовите разновидности физического моделирования.
7. В чем особенности макро- и микроподходов как методов моделирования экологических систем?
8. Перечислите основные этапы моделирования.

Тема 3. Системный анализ и его применение в экологическом моделировании

Форма проведения занятия: лекция.

Вопросы для обсуждения:

Введение в системный анализ: роль и важность системного анализа в решении сложных экологических задач. Целостность, взаимосвязь, иерархичность и адаптивность – как основные принципы, положенные в основу системного анализа экологических систем. Определение системы в экологии: роль живых организмов и их среды обитания как компонентов системы и взаимодействия между ними.

Виды связей в экологических системах: механические связи – примеры взаимодействий через физические силы. Трофические связи – описание пищевых цепей и энергетических потоков. Сигнальные связи – роль коммуникации и информационного обмена в экосистемах. Структура и функции экологических систем: внутренняя структура – описание того, как элементы системы организованы и взаимодействуют внутри системы. Внешняя структура – взаимодействие системы с окружающей средой.

Обратные связи в экологических системах: роль обратных связей в поддержании устойчивости системы. Примеры регуляции популяций хищников и жертв, саморегулирования в экосистемах. Адаптивность – как свойство системы приспосабливаться к изменениям через обратные связи.

Понятия эмерджентности и целостности системы. Эмерджентность – свойство, определяющее появление новых свойств на уровне системы, которых нет у отдельных ее элементов. Целостность – свойство, определяющее то, как

элементы системы совместно обеспечивают её функционирование. Примеры эмерджентных свойств в популяциях и экосистемах.

Критерии и эффективность экологических систем. Критерии оценки: устойчивость, биоразнообразие, продуктивность. Эффективность – мера оценки того, насколько система достигает своих целей. Пример: оценка эффективности управления лесными ресурсами.

Методы моделирования экологических систем: аналитическое моделирование – использование уравнений для описания экологических процессов. Численное моделирование – применение алгоритмов для решения сложных уравнений. Имитационное моделирование – создание компьютерных симуляций для изучения динамики систем. Преимущества имитационного моделирования: возможность моделировать сложные и нелинейные процессы, например, моделирование распространения загрязнителей или изменения численности популяций.

Применение системного анализа в экологии: решение практических задач, примеры успешного применения, будущие перспективы.

Методические рекомендации

Начните с изучения основных принципов системного анализа, таких как целостность, взаимосвязь и иерархичность. Разберитесь, как эти принципы применяются в экологических исследованиях. Найдите примеры экологических систем, где системный анализ был успешно применен для решения сложных задач. Ознакомьтесь с компонентами экологической системы, такими как живые организмы и их среда обитания. Изучите, как эти компоненты взаимодействуют друг с другом. Попробуйте разработать схему экологической системы, например, лесной экосистемы, указав основные компоненты и их взаимодействия.

Изучите различные виды связей в экологических системах: механические, трофические и сигнальные. Определите, как каждый тип связей влияет на функционирование системы. Обратите внимание на внутреннюю и внешнюю структуру системы. Изучите, как структура влияет на функционирование системы и её взаимодействие с окружающей средой. Изучите, как обратные связи поддерживают устойчивость и адаптивность экологических систем. Рассмотрите примеры экосистем с выраженными обратными связями.

Рассмотрите, что такое эмерджентность и как она проявляется в экологических системах. Изучите, как целостность системы влияет на её свойства и поведение. Попробуйте подобрать примеры эмерджентных свойств в популяции животных или растений.

Ознакомьтесь с критериями, используемыми для оценки функционирования экологических систем, такими как устойчивость и

биоразнообразии. Изучите методы определения эффективности систем. Изучите различные методы моделирования, применяемые в экологии, включая аналитическое, численное и имитационное моделирование. Обратите внимание на преимущества имитационного моделирования для анализа сложных и нелинейных процессов в экологии.

Изучите, как системный анализ помогает в решении практических экологических задач, таких как управление природными ресурсами и сохранение биоразнообразия.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое системный анализ и какие основные принципы лежат в его основе?
2. Какие компоненты включает экологическая система?
3. Объясните разницу между механическими, трофическими и сигнальными связями в экологических системах.
4. Как обратные связи влияют на устойчивость и адаптивность экологических систем?
5. Что такое эмерджентность в контексте экологических систем?
6. Какие критерии используются для оценки эффективности экологической системы?
7. Какие методы моделирования применяются в экологии для анализа сложных систем?

Тема 4. Моделирование процессов загрязнения окружающей среды

Форма проведения занятия: лекция, практическое занятие.

Вопросы для обсуждения:

Введение в моделирование процессов загрязнения окружающей среды: моделирование процессов загрязнения позволяет прогнозировать и анализировать распространение загрязнителей в окружающей среде. Основные цели: оценка рисков, разработка стратегий управления, прогнозирование изменений в экосистемах. Типы загрязнений и их источники: основные типы загрязнений: воздух, вода, почва. Источники загрязнений: промышленные выбросы, сельскохозяйственная деятельность, транспорт, бытовые отходы.

Моделирование загрязнения воздуха: учет основных факторов – метеорологические условия, типы загрязнителей, источники выбросов. Моделирование динамики и распространения загрязнителей в атмосфере. Моделирование загрязнения водных ресурсов и его особенности: гидрологические условия, типы водоемов, взаимодействие с экосистемами. Оценка влияния загрязнителей на водные экосистемы и качество воды. Моделирование загрязнения почвы: основные рассматриваемые процессы – миграция загрязнителей, накопление в почве, влияние на растительность.

Долгосрочное воздействие на почвенные экосистемы и сельскохозяйственные угодья.

Интеграция данных в модели загрязнений: необходимые данные – концентрации загрязнителей, метеорологические данные, гидрологические параметры. Интеграция данных из различных источников для повышения точности моделей. Валидация и верификация моделей: проверка точности моделей с использованием эмпирических данных. Методы верификации: сравнение с реальными данными, использование статистических методов.

Прогнозирование и управление загрязнениями: прогнозирование будущих уровней загрязнения на основе моделей. Разработка стратегий управления для снижения уровня загрязнения и минимизации рисков. Социальные и экономические аспекты моделирования загрязнений: влияние моделей на принятие политических решений и управление ресурсами. Экономические последствия загрязнений и меры по их снижению.

Технологические инновации в моделировании загрязнений: применение новых технологий: машинное обучение, искусственный интеллект. Улучшение моделей за счет использования больших данных и продвинутых алгоритмов.

Методические рекомендации

Начните с изучения основных понятий и целей моделирования процессов загрязнения. Изучите, как модели помогают в прогнозировании и управлении загрязнениями. Ознакомьтесь с основными типами загрязнений (воздух, вода, почва) и их источниками. Посмотрите, как различные источники влияют на окружающую среду.

Обратите внимание на факторы, которые необходимо учитывать при моделировании загрязнения воздуха, такие как метеорологические условия и типы загрязнителей. Изучите особенности моделирования загрязнения водоемов и водных систем. Обратите внимание на взаимодействие загрязнителей с водными экосистемами. Изучите процессы, которые необходимо учитывать при моделировании загрязнения почвы, такие как миграция загрязнителей и их накопление.

Ознакомьтесь с данными, необходимыми для построения точных моделей загрязнений, такими как концентрации загрязнителей и метеорологические данные. Изучите методы проверки точности моделей загрязнений и их верификации с использованием эмпирических данных. Обратите внимание на использование моделей для прогнозирования будущих уровней загрязнения и разработки стратегий управления. Изучите, как моделирование загрязнений влияет на принятие политических решений и управление ресурсами. Обратите внимание на экономические последствия загрязнений.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое моделирование процессов загрязнения и почему оно важно для экологических исследований?
2. Какие основные типы загрязнений существуют, и каковы их источники?
3. Какие факторы необходимо учитывать при моделировании загрязнения воздуха?
4. Какие особенности необходимо учитывать при моделировании загрязнения водных ресурсов?
5. Какие процессы необходимо учитывать при моделировании загрязнения почвы?
6. Какие данные необходимы для построения точных моделей загрязнений?

Тема 5. ГИС и особенности их применения при экологическом моделировании

Форма проведения занятия: лекция, практическое занятие, контактная работа с преподавателем в ЭИОС.

Вопросы для обсуждения:

Введение в географические информационные системы (ГИС): определение ГИС – обсуждение того, что такое ГИС и как они работают. Основные компоненты – описание аппаратного и программного обеспечения, данных и пользователей. Функции ГИС: сбор, хранение, анализ и визуализация пространственных данных. Примеры применения ГИС в городском планировании, управлении природными ресурсами и экологическом мониторинге.

Особенности применения ГИС в экологическом моделировании: пространственный анализ – возможность анализа данных с учетом их пространственного расположения. Визуализация данных – создание карт и графиков для наглядного представления экологических данных. Интеграция данных – объединение данных из различных источников для комплексного анализа экологических систем.

Пространственный анализ с использованием ГИС: анализ распределения видов – использование ГИС для картирования и анализа распределения растительных и животных видов. Моделирование распространения загрязнителей – анализ путей и зон распространения загрязнителей в окружающей среде. Оценка изменений ландшафтов – мониторинг изменений в использовании земель и их влияния на экосистемы.

Визуализация экологических данных: создание карт – разработка тематических карт для представления экологических данных. Визуализация временных рядов – отображение изменений экологических параметров во

времени. Интерактивные карты – создание интерактивных карт для динамического анализа данных.

Интеграция данных в ГИС: интеграция различных типов экологических данных для комплексного анализа. Использование спутниковых данных – включение данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем. Совместное использование данных – объединение данных из различных источников для повышения точности моделей.

Моделирование экологических процессов с помощью ГИС: моделирование гидрологических процессов – анализ водных потоков и водосборных бассейнов. Изменение климата – моделирование влияния климатических изменений на экосистемы. Динамика популяций – анализ распределения и миграции популяций животных и растений.

Преимущества и ограничения ГИС в экологическом моделировании: преимущества – высокая точность пространственного анализа, возможность визуализации и интеграции данных. Ограничения: необходимость качественных пространственных данных, вычислительные ресурсы, сложность в обработке больших объемов данных.

Примеры успешного применения ГИС в экологии: управление природными ресурсами – использование ГИС для мониторинга и управления водными и лесными ресурсами. Оценка уязвимости экосистем: анализ уязвимости экосистем к изменениям климата и антропогенным воздействиям. Планирование природоохранных мероприятий: разработка стратегий сохранения биоразнообразия и восстановления экосистем.

Методические рекомендации

Начните с изучения основных понятий и функций ГИС. Рассмотрите, как ГИС используются для сбора, хранения, анализа и визуализации пространственных данных. Ознакомьтесь с уникальными возможностями ГИС для экологического моделирования, такими как пространственный анализ, визуализация данных и интеграция данных из различных источников.

Изучите методы пространственного анализа с использованием ГИС. Обратите внимание на анализ распределения видов, моделирование распространения загрязнителей и оценку изменений ландшафтов. Ознакомьтесь с методами визуализации данных в ГИС. Изучите, как создавать тематические карты, визуализировать временные ряды и разрабатывать интерактивные карты.

Изучите, как интегрировать данные из различных источников в ГИС для комплексного анализа. Ознакомьтесь с методами моделирования экологических процессов с помощью ГИС. Изучите моделирование гидрологических процессов, изменения климата и динамики популяций.

Оцените преимущества использования ГИС в экологическом моделировании, такие как высокая точность пространственного анализа и возможность визуализации данных. Обратите внимание на ограничения, связанные с необходимостью качественных пространственных данных и вычислительных ресурсов.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое географические информационные системы (ГИС) и какие основные функции они выполняют?
2. Какие уникальные возможности предоставляют ГИС для экологического моделирования?
3. Какие методы пространственного анализа можно реализовать с помощью ГИС?
4. Какие преимущества дает визуализация данных с использованием ГИС в экологических исследованиях?
5. Как ГИС интегрируют данные из различных источников для комплексного анализа экологических систем?
6. Какие экологические процессы можно моделировать с помощью ГИС?
7. Какие преимущества и ограничения существуют при использовании ГИС в экологическом моделировании?

Тема 6. Прогнозирование экологических изменений с использованием моделей

Форма проведения занятия: лекция, практическое занятие.

Вопросы для обсуждения:

Введение в прогнозирование экологических изменений: определение прогнозирования, его роль в экологии, основные цели и задачи. Акцент на значимость прогнозирования экологических изменений для планирования и управления природными ресурсами.

Типы экологических моделей для прогнозирования: детерминированные и стохастические модели, статические и динамические модели, аналитические и численные модели. В рамках данного вопроса основной целью обсуждения является ознакомление с различными типами моделей, используемых для прогнозирования экологических изменений.

Методы прогнозирования изменений климата: глобальные климатические модели, региональные модели, сценарии изменения климата. Применение моделей для прогнозирования изменений климата и их последствий. Прогнозирование изменений в биоразнообразии: модели распределения видов, прогнозирование угроз исчезновения, влияние изменения климата на экосистемы. Роль моделей в прогнозировании изменений в биоразнообразии и распределении видов. Моделирование гидрологических процессов: модели

водосборных бассейнов, прогнозирование наводнений и засух, управление водными ресурсами. Использование моделей для прогнозирования изменений в водных ресурсах и гидрологических системах. Прогнозирование изменений в почвенных системах: модели деградации почв, прогнозирование эрозии, влияние изменения климата на почвенные процессы.

Интеграция данных и сценариев в прогнозные модели: использование спутниковых данных, климатических сценариев, данных о биоразнообразии. Акцент на том, как данные и сценарии интегрируются в модели для повышения точности прогнозов.

Оценка неопределенности и чувствительности моделей: анализ чувствительности, верификация и валидация моделей, методы снижения неопределенности. Рассмотрение методов оценки неопределенности и чувствительности в прогнозных моделях. Применение прогнозных моделей в управлении экосистемами: прогнозирование устойчивости экосистем, разработка мер адаптации, управление природными ресурсами. Использование прогнозных моделей для разработки стратегий управления экосистемами.

Методические рекомендации

Начните с изучения основных понятий и целей прогнозирования экологических изменений. Определите, как прогнозирование помогает в планировании и управлении природными ресурсами.

Ознакомьтесь с различными типами моделей, используемых для прогнозирования, включая детерминированные, стохастические, статические и динамические модели. Изучите, как модели используются для прогнозирования изменений климата. Обратите внимание на глобальные и региональные климатические модели и сценарии изменения климата. Ознакомьтесь с методами прогнозирования изменений в биоразнообразии, включая модели распределения видов и оценку угроз исчезновения. Изучите использование моделей для прогнозирования изменений в водных ресурсах. Обратите внимание на модели водосборных бассейнов и прогнозирование наводнений и засух. Ознакомьтесь с методами прогнозирования изменений в почвенных экосистемах, включая модели деградации почв и эрозии.

Изучите, как данные и сценарии интегрируются в модели для повышения точности прогнозов. Обратите внимание на использование спутниковых данных и климатических сценариев. Ознакомьтесь с методами оценки неопределенности и чувствительности в прогнозных моделях. Изучите методы верификации и валидации моделей. Изучите, как прогнозные модели используются для разработки стратегий управления экосистемами. Обратите внимание на прогнозирование устойчивости экосистем и разработку мер адаптации.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое прогнозирование экологических изменений и почему оно важно для управления природными ресурсами?
2. Какие типы экологических моделей используются для прогнозирования изменений?
3. Как глобальные климатические модели используются для прогнозирования изменений климата?
4. Какие методы применяются для прогнозирования изменений в биоразнообразии?
5. Как модели водосборных бассейнов используются для прогнозирования гидрологических процессов?
6. Какие процессы необходимо учитывать при прогнозировании изменений в почвенных системах?
7. Как данные и сценарии интегрируются в прогнозные модели для повышения их точности?
8. Какие методы используются для оценки неопределенности и чувствительности в прогнозных моделях?

3 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Практические занятия по дисциплине «Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду» направлены на формирование у студентов навыков моделирования, анализа и прогнозирования антропогенного воздействия на окружающую среду.

Практические работы направлены на освоение методов количественной оценки экологических рисков, разработку математических и компьютерных моделей для анализа воздействия на компоненты окружающей среды и интерпретацию результатов моделирования и разработки рекомендаций по минимизации негативных воздействий.

Занятия проводятся в компьютерном классе с использованием офисного и специализированного программного обеспечения, а также открытых геоинформационных систем. Практическая работа имеет следующую структуру:

- вводный инструктаж (20 мин.): включает в себя краткое повторение теоретической базы и постановку проблемы;
- подготовка к работе (10 мин.): настройка программного обеспечения, ознакомление с исходными данными, распределение заданий (индивидуальных или групповых);
- выполнение задания (70 мин.): построение модели, проведение расчетов, анализ результатов.
- защита работы (20 мин.): презентация модели и выводов по работе, ответы на вопросы преподавателя и дискуссия в группе.

В процессе защиты практических работ оцениваются:

- правильность построения модели, точность расчетов и адекватность исходных данных;
- умение интерпретировать результаты и предлагать меры по снижению экологического ущерба;
- умение аргументировать выводы по работе и давать ответы на вопросы по теме практической работы;
- свобода владения теоретическим материалом по теме практической работы.

При подготовке к практическому занятию студенту рекомендуется изучить тему заранее, используя конспекты лекций и теоретический материал к практической работе. Непосредственно при выполнении работы ему следует фиксировать возникающие ошибки и пути их устранения, и включить эту информацию в итоговый отчет по работе. При пропуске практического занятия студенту рекомендуется изучить и выполнить работу самостоятельно и

записаться на внеурочную консультацию, чтобы защитить работу и прояснить возникшие в ходе ее выполнения вопросы.

Отчет оформляется в электронном виде и содержит:

- Титульный лист (название работы, ФИО, группа).
- Цель и исходные данные.
- Описание модели (уравнения, параметры).
- Графики/карты результатов.
- Выводы и экологические рекомендации.

Примечание: плагиат не допускается. Все расчеты должны быть воспроизводимы.

4 ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

В разделе приводятся темы практических занятий, по каждой теме – цель работы и необходимое для ее выполнения оборудование и программное обеспечение. Более детально структура и содержание практических занятий по дисциплине, необходимые исходные данные для их выполнения и краткая теория по каждой теме представлены в учебно-методическом пособии по выполнению практических работ по дисциплине «Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду».

Тема 1. Моделирование антропогенного воздействия на водные экосистемы: расчет нормативов допустимых сбросов и оценка экологических рисков средствами универсальных программных продуктов.

Цель: разработать универсальную модель в среде Microsoft Excel для расчета нормативов допустимых сбросов (НДС) загрязняющих веществ, оценить антропогенную нагрузку на водные экосистемы и автоматизировать анализ соответствия фактических сбросов экологическим требованиям.

Оборудование и необходимое программное обеспечение: компьютеры с предустановленным набором офисных приложений, включая электронные таблицы и текстовый редактор (MS Office или аналоги).

Тема 2. Моделирование антропогенного воздействия на водные экосистемы с использованием специализированного ПО: оценка допустимых сбросов и разработка природоохранных мероприятий.

Цель: освоить применение специализированного программного обеспечения для комплексной оценки антропогенной нагрузки на водные объекты.

Оборудование и необходимое программное обеспечение: компьютеры с предустановленным набором офисного и специализированного программного обеспечения, включая программы для расчёта нормативов допустимых сбросов (НДС) («НДС-Эколог» или «Зеркало++ – расчёт НДС») а также электронные таблицы, текстовый редактор (MS Office или аналоги).

Тема 3. Автоматизация моделирования атмосферных выбросов в Excel: алгоритмы ветвления, расчет концентраций и экологический мониторинг.

Цель: освоить применение Microsoft Excel как универсального инструмента для автоматизации расчетов распространения загрязняющих веществ в атмосфере.

Оборудование и необходимое программное обеспечение: компьютеры с предустановленным набором офисных приложений, включая электронные таблицы и текстовый редактор (MS Office или аналоги).

Тема 4. Моделирование атмосферного загрязнения в специализированном ПО: расчет концентраций, построение изолиний и анализ зон воздействия.

Цель: освоить применение специализированного программного обеспечения для комплексного моделирования распространения загрязняющих веществ от промышленных источников.

Оборудование и необходимое программное обеспечение: компьютеры с предустановленным набором офисного и специализированного программного обеспечения, включая унифицированные программы расчёта загрязнения атмосферы (УПРЗА «Эколог» или УПРЗА "Web-Призма" предприятие), а также электронные таблицы, текстовый редактор (MS Office или аналоги).

Тема 5. Применение ГИС для оценки рисков, моделирования сценариев и принятия решений на основе пространственного анализа.

Цель: освоить комплексное применение ГИС-технологий для моделирования рельефа, анализа зон затопления и визуализации результатов при различных гидрологических сценариях.

Оборудование и необходимое программное обеспечение: компьютеры с предустановленным набором офисного программного обеспечения, включая электронные таблицы, текстовый редактор (MS Office или аналоги), а также географической информационной системой QGIS.

Тема 6. Моделирование различных параметров (температуры, концентраций и др.) в экологических исследованиях.

Цель: освоить применение ГИС-технологий для построения, анализа и визуализации пространственных моделей поверхностей (на примере рельефа дна водоёма) с использованием методов интерполяции, обработки векторных и растровых данных, а также трёхмерного моделирования.

Оборудование и необходимое программное обеспечение: компьютеры с предустановленным набором офисного программного обеспечения, включая

электронные таблицы, текстовый редактор (MS Office или аналоги), а также географической информационной системой QGIS.

Тема 7. ГИС-анализ речных систем: от цифровой модели рельефа к моделированию водосборных бассейнов.

Цель: освоить методы гидрологического анализа на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) с использованием ГИС-технологий, включая пространственную обработку данных, моделирование водосборных бассейнов и каналов, а также визуализацию результатов.

Оборудование и необходимое программное обеспечение: компьютеры с предустановленным набором офисного программного обеспечения, включая электронные таблицы, текстовый редактор (MS Office или аналоги), а также географической информационной системой QGIS.

5 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТАКТНОЙ РАБОТЫ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ В ЭИОС

Осваивая курс «Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду», студент должен научиться работать на лекциях, практических занятиях, ЭИОС и организовывать самостоятельную работу.

Интерактивная форма обучения в виде работы студента в ЭИОС позволяет студентам проявить самостоятельность в освоении теоретического материала и овладении практическими навыками, формирует интерес и позитивную мотивацию к учебе.

При подготовке к работе в ЭИОС студентам необходимо не только воспользоваться литературой, рекомендованной преподавателем, но и проявить самостоятельность в поиске новых источников, интересных фактов, статистических данных, связанных с темой практического занятия.

Во время выполнения данного вида работ студент постоянно взаимодействует с преподавателями через ЭИОС, выполняя задания. Данный вид занятий позволяет студентам углубить теоретические знания, полученные на лекции и в ходе самостоятельной работы.

Возможной формой работы в ЭИОС при изучении дисциплины «Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду» является выполнение конкретных заданий, представленных в ЭИОС.

Подготовка к данному виду работ по дисциплине «Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду» включает нахождение ответа, основанного на применении инструментов пространственного анализа открытой геоинформационной системы QGIS.

6 ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН КОНТАКТНОЙ РАБОТЫ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ В ЭИОС

Тема. ГИС и особенности их применения при экологическом моделировании.

Средствами открытой геоинформационной системы QGIS требуется выполнить следующее (в соответствии с вариантом, выдаваемым преподавателем) задание.

Задание (вариант №1): построить зону вокруг объектов слоя "Пашня" (где произрастает кукуруза), находящуюся на удалении 500-1000 м. Определить общую площадь (в гектарах с округлением до двух знаков после запятой) сформированных вокруг объектов слоя "Пашня" зон. В качестве ответа указать значение рассчитанной площади.

Примечание. Требуемый для выполнения задания слой берется из файла Test.gpkg. Для выполнения потребуется приложение QGIS. При расчетах используйте систему координат "Pulkovo 1945 / Gauss-Kruger CM 21E" (для слоя и для карты).

Задание (вариант №2): построить зону вокруг объектов слоя "Пашня" (где произрастает кукуруза), находящуюся на удалении 350-940 м. Определить общую площадь (в гектарах с округлением до двух знаков после запятой) сформированных вокруг объектов слоя "Пашня" зон. В качестве ответа указать значение рассчитанной площади.

Примечание. Требуемый для выполнения задания слой берется из файла Test.gpkg. Для выполнения потребуется приложение QGIS. При расчетах используйте систему координат "Pulkovo 1945 / Gauss-Kruger CM 21E" (для слоя и для карты).

Задание (вариант №3): построить зону вокруг объектов слоя "Пашня" (где произрастает кукуруза), находящуюся на удалении 220-730 м. Определить общую площадь (в гектарах с округлением до двух знаков после запятой) сформированных вокруг объектов слоя "Пашня" зон. В качестве ответа указать значение рассчитанной площади.

Примечание. Требуемый для выполнения задания слой берется из файла Test.gpkg. Для выполнения потребуется приложение QGIS. При расчетах используйте систему координат "Pulkovo 1945 / Gauss-Kruger CM 21E" (для слоя и для карты).

Задание (вариант №4): построить зону вокруг объектов слоя "Пашня" (где произрастает кукуруза), находящуюся на удалении 50-640 м. Определить общую площадь (в гектарах с округлением до двух знаков после запятой) сформированных вокруг объектов слоя "Пашня" зон. В качестве ответа указать значение рассчитанной площади.

Примечание. Требуемый для выполнения задания слой берется из файла Test.gpkg. Для выполнения потребуется приложение QGIS. При расчетах используйте систему координат "Pulkovo 1945 / Gauss-Kruger CM 21E" (для слоя и для карты).

Задание (вариант №5): построить зону вокруг объектов слоя "Пашня" (где произрастает ячмень), находящуюся на удалении 300-900 м. Определить общую площадь (в гектарах с округлением до двух знаков после запятой) сформированных вокруг объектов слоя "Пашня" зон. В качестве ответа указать значение рассчитанной площади.

Примечание. Требуемый для выполнения задания слой берется из файла Test.gpkg. Для выполнения потребуется приложение QGIS. При расчетах используйте систему координат "Pulkovo 1945 / Gauss-Kruger CM 21E" (для слоя и для карты).

Задание (вариант №6): построить зону вокруг объектов слоя "Пашня" (где произрастает ячмень), находящуюся на удалении 350-940 м. Определить общую площадь (в гектарах с округлением до двух знаков после запятой) сформированных вокруг объектов слоя "Пашня" зон. В качестве ответа указать значение рассчитанной площади.

Примечание. Требуемый для выполнения задания слой берется из файла Test.gpkg. Для выполнения потребуется приложение QGIS. При расчетах используйте систему координат "Pulkovo 1945 / Gauss-Kruger CM 21E" (для слоя и для карты).

Задание (вариант №7): построить зону вокруг объектов слоя "Пашня" (где произрастает ячмень), находящуюся на удалении 220-730 м. Определить общую площадь (в гектарах с округлением до двух знаков после запятой) сформированных вокруг объектов слоя "Пашня" зон. В качестве ответа указать значение рассчитанной площади.

Примечание. Требуемый для выполнения задания слой берется из файла Test.gpkg. Для выполнения потребуется приложение QGIS. При расчетах используйте систему координат "Pulkovo 1945 / Gauss-Kruger CM 21E" (для слоя и для карты).

Задание (вариант №8): построить зону вокруг объектов слоя "Пашня" (где произрастает ячмень), находящуюся на удалении 50-640 м. Определить общую площадь (в гектарах с округлением до двух знаков после запятой) сформированных вокруг объектов слоя "Пашня" зон. В качестве ответа указать значение рассчитанной площади.

Примечание. Требуемый для выполнения задания слой берется из файла Test.gpkg. Для выполнения потребуется приложение QGIS. При расчетах используйте систему координат "Pulkovo 1945 / Gauss-Kruger CM 21E" (для слоя и для карты).

Задание (вариант №9): построить зону вокруг объектов слоя "Луга", находящуюся на удалении 100-250 м. Определить общую площадь (в гектарах с округлением до двух знаков после запятой) сформированных вокруг объектов слоя "Луга" зон. В качестве ответа указать значение рассчитанной площади.

Примечание. Требуемый для выполнения задания слой берется из файла Test.gpkg. Для выполнения потребуется приложение QGIS. При расчетах используйте систему координат "Pulkovo 1945 / Gauss-Kruger CM 21E" (для слоя и для карты).

Задание (вариант №10): построить зону вокруг объектов слоя "Луга", находящуюся на удалении 180-322 м. Определить общую площадь (в гектарах с округлением до двух знаков после запятой) сформированных вокруг объектов слоя "Луга" зон. В качестве ответа указать значение рассчитанной площади.

Примечание. Требуемый для выполнения задания слой берется из файла Test.gpkg. Для выполнения потребуется приложение QGIS. При расчетах используйте систему координат "Pulkovo 1945 / Gauss-Kruger CM 21E" (для слоя и для карты).

Задание (вариант №11): построить зону вокруг объектов слоя "Луга", находящуюся на удалении 250-540 м. Определить общую площадь (в гектарах с округлением до двух знаков после запятой) сформированных вокруг объектов слоя "Луга" зон. В качестве ответа указать значение рассчитанной площади.

Примечание. Требуемый для выполнения задания слой берется из файла Test.gpkg. Для выполнения потребуется приложение QGIS. При расчетах используйте систему координат "Pulkovo 1945 / Gauss-Kruger CM 21E" (для слоя и для карты).

Задание (вариант №12): построить зону вокруг объектов слоя "Дороги", находящуюся на удалении 200-540 м. Определить общую площадь (в гектарах с округлением до двух знаков после запятой) сформированных вокруг объектов слоя "Дороги" зон. В качестве ответа указать значение рассчитанной площади.

Примечание. Требуемый для выполнения задания слой берется из файла Test.gpkg. Для выполнения потребуется приложение QGIS. При расчетах используйте систему координат "Pulkovo 1945 / Gauss-Kruger CM 21E" (для слоя и для карты).

Задание (вариант №13): построить зону вокруг объектов слоя "Дороги", находящуюся на удалении 275-712 м. Определить общую площадь (в гектарах с округлением до двух знаков после запятой) сформированных вокруг объектов слоя "Дороги" зон. В качестве ответа указать значение рассчитанной площади.

Примечание. Требуемый для выполнения задания слой берется из файла Test.gpkg. Для выполнения потребуется приложение QGIS. При расчетах используйте систему координат "Pulkovo 1945 / Gauss-Kruger CM 21E" (для слоя и для карты).

Задание (вариант №14): построить зону вокруг объектов слоя "Дороги", находящуюся на удалении 50-270 м. Определить общую площадь (в гектарах с округлением до двух знаков после запятой) сформированных вокруг объектов слоя "Дороги" зон. В качестве ответа указать значение рассчитанной площади.

Примечание. Требуемый для выполнения задания слой берется из файла Test.gpkg. Для выполнения потребуется приложение QGIS. При расчетах используйте систему координат "Pulkovo 1945 / Gauss-Kruger CM 21E" (для слоя и для карты).

Задание (вариант №15): определить общую площадь лесов, приходящихся на городскую территорию. В качестве ответа указать значение рассчитанной площади (в гектарах с округлением до 1 знака после запятой).

Примечание. Требуемый для выполнения задания слой берется из файла Test.gpkg. Для выполнения потребуется приложение QGIS. При расчетах используйте систему координат "Pulkovo 1945 / Gauss-Kruger CM 21E" (для слоя и для карты).

7 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

В рамках промежуточной аттестации по дисциплине «Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду» предусмотрено проведение экзамена. Для подготовки к его теоретической части можно воспользоваться следующими вопросами для самоконтроля.

1. Дайте определение модели и моделирования. Какие цели преследует моделирование в экологии?

2. Перечислите специфические особенности моделирования (прогнозирование рисков, количественный анализ и др.).

3. Назовите три основных признака модели. Объясните, почему валидация выбранных свойств важна при построении модели.

4. Опишите вклад А. Лотки и В. Вольтерры в развитие математического моделирования экосистем.

5. Какие этапы можно выделить в истории развития экологического моделирования (от ранних работ до современных технологий)?

6. В чем заключается специфика моделирования живых систем? Приведите примеры нелинейных взаимодействий в экосистемах.

7. Объясните, как принципы открытости и многоуровневой регуляции учитываются при моделировании экосистем.

8. Назовите преимущества математических моделей. Чем отличаются феноменологические и асимптотические модели?

9. Дайте классификацию экологических моделей по характеру изучаемых процессов (детерминированные, стохастические и др.).

10. В чем различие между статическими и динамическими моделями? Приведите примеры их применения.

11. Опишите компоненты экологической модели: переменные, уравнения, параметры.

12. Какие этапы включает разработка модели (от содержательного описания до оптимизации)?

13. Объясните, как проводится валидация и верификация экологических моделей.

14. Назовите методы моделирования в экологии (аналитическое, имитационное, агентное). В чем преимущество имитационного моделирования?

15. Чем отличаются полные и неполные модели? В каких случаях применяются приближенные модели?

16. Перечислите основные принципы системного анализа. Как они применяются в экологии?

17. Опишите виды связей в экологических системах (механические, трофические, сигнальные). Приведите примеры.

18. Как обратные связи влияют на устойчивость экосистем? Рассмотрите на примере модели «хищник–жертва».
19. Что такое эмерджентность? Приведите пример эмерджентного свойства в экосистеме.
20. Назовите критерии оценки эффективности экологических систем (устойчивость, биоразнообразие и др.).
21. Какие типы загрязнений окружающей среды выделяют? Назовите их источники.
22. Какие факторы учитываются при моделировании загрязнения воздуха (метеорологические условия, тип загрязнителей)?
23. Опишите этапы моделирования загрязнения водных ресурсов. Как оценивается влияние на водные экосистемы?
24. Какие данные необходимы для построения модели загрязнения почвы?
25. Объясните, как интеграция данных повышает точность моделей загрязнений.
26. Перечислите основные функции ГИС. Как они применяются в экологических исследованиях?
27. Назовите методы пространственного анализа в ГИС (распределение видов, моделирование загрязнений).
28. Какие преимущества дает визуализация данных в ГИС? Приведите пример тематической карты.
29. Опишите, как ГИС используются для моделирования гидрологических процессов.
30. Какие ограничения существуют при применении ГИС в экологическом моделировании?
31. Какие типы моделей применяются для прогнозирования изменений климата (глобальные, региональные)?
32. Как модели распределения видов помогают прогнозировать изменения в биоразнообразии?
33. Объясните, как данные дистанционного зондирования интегрируются в прогнозные модели.
34. Какие методы используются для оценки неопределенности в прогнозных моделях?

8 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Необходимым этапом освоения дисциплины у студентов заочной формы обучения является выполнение заданий контрольной работы. Задание по контрольной работе выдается студентам заочной формы обучения с целью контроля качества их самостоятельной работы.

Выполненную контрольную работу студенты сдают на проверку преподавателю, который делает замечания и пишет рецензию. В случае отсутствия серьёзных замечаний студент допускается к защите контрольной работы. При наличии серьёзных замечаний работа направляется на доработку. Защита проводится в часы индивидуальных консультаций преподавателя. Студент, самостоятельно выполнивший задание и обладающий полнотой знаний в отношении изучаемых объектов, получает оценку «зачтено». Система оценивания и критерии оценки контрольной работы представлены в таблице 1.

ЗАДАНИЕ ПО КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

1. На основании методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей, выдержки из которой представлены ниже, необходимо рассчитать НДС для каждого из веществ по исходным данным, приведенным в таблице 2. Расчет Сндс проводится в зависимости от выполнения (невыполнения) ряда условий согласно схемам, приведенным ниже. Результаты необходимо свести в таблицу (Название вещества, Сндс, НДС).

2. Сравнить полученные значения НДС с текущим содержанием веществ в озере. Для этого справа от таблицы, созданной в п.1 задания, создать еще 3 столбца (оператор сравнения, сточные воды, результат). В столбец «сточные воды» заносятся фактические содержания веществ в озере (умноженное на часовой расход). В столбец «оператор сравнения» в зависимости от того, превышают ли текущие сбросы расчетное НДС или нет, ставится знак “ $\geq$ ” (больше или равно) или “ $<$ ” (меньше). В столбец «результат» в зависимости от выполнения того же условия выводятся два значения: «норма» в случае, когда НДС больше (или равно) фактических сбросов (с учетом расхода), и «требуется предв. очистка» в случае, когда фактич. сбросы (с учетом расхода) превышают расчетное значение НДС.

3. Построить сводную таблицу, отражающую информацию о содержании каждого из веществ в озере, рассчитанном НДС для каждого вещества и разнице между рассчитанным НДС и фактическими сбросами (в виде вычисляемого поля сводной таблицы), отражающей имеющийся запас для возможного увеличения сбросов.

4. По данным сводной таблицы, полученной в п.2, (для следующих веществ: аммоний солевой, нитрат-ион, сульфаты, хлориды, взвешенные вещества) построить гистограмму с накоплением, отражающую фактическое содержание каждого вещества в озере и имеющийся запас для возможного увеличения сбросов. Для имеющегося запаса вывести его значения в виде подписей данных.

Примечания к работе:

- при определении $C_{ндс}$ использовать формулу для неконсервативных веществ;
- расчет должен сопровождаться пояснениями. Т.е. для расчетов, где используются формулы, должны приводиться формулы, сделанные в редакторе формул, а также краткое описание того, что они получают (см. пример на рисунке 1).

Определим коэффициент извилистости	
$\varphi = \underline{1}$	$\varphi = \frac{L_{\phi}}{L_{п}}$

Рисунок 1 – Пример описания расчета для определения коэф. извилистости

- при расчете $C_{ндс}$ для каждого полученного значения $C_{ндс}$ выводить информацию о том, каким образом получено это значение. Список возможных вариантов формулировок приведен на рисунке 2.

Осн. формула*:	$C_{ндс} = C_{\phi} + N \cdot (C_{пдк} - C_{\phi})$						
Общие требования							
Взвешенные вещества		$C_{ндс} = $	<u>48.539</u>	по формуле (*)			
БПК полн.		$C_{ндс} = $	<u>5.170</u>	исходя из условия сохранения фона			
Сухой остаток		$C_{ндс} = $	<u>425.000</u>	т.к. $C_{ндс} > C_{ст}$, то $C_{ндс} = C_{ст}$			

Рисунок 2 – Пример расчета $C_{ндс}$ с объяснением того, как получено это значение

- расчет должен быть сделан универсальным, т.е. при смене значений в исходных данных должен получаться правильный результат с учетом приведенной методики;
- для всех расчетных значений точность должна составлять 3 знака после запятой;
- для графика: шрифт TimesNewRoman 12, основные деления осей направить внутрь, убрать контур и заливку для области диаграммы и области построения, легенду расположить снизу, подписи расположить у вершины внутри.

Исходные данные, необходимые для расчета нормативов НДС загрязняющих веществ в водохранилища и озера.

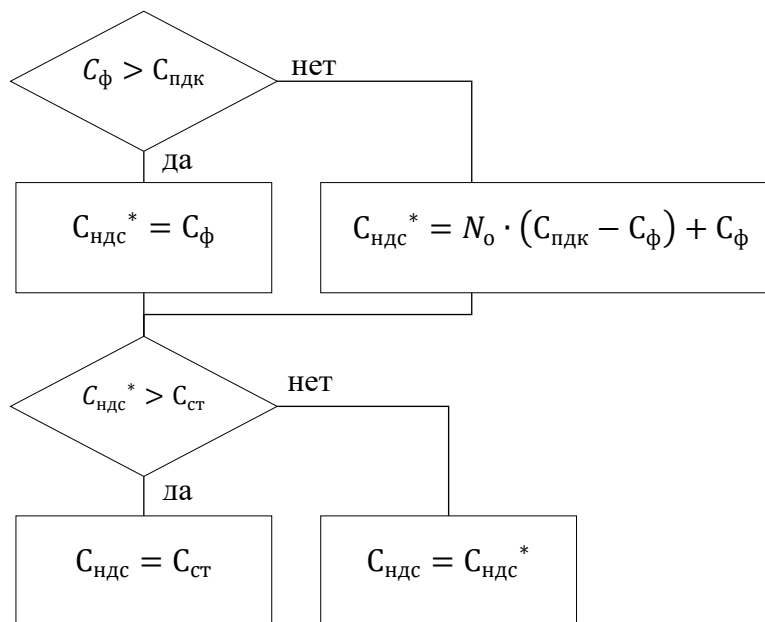
Выпуск хозяйственно-бытовых сточных вод после очистки осуществляется в озеро, которое в период весеннего половодья и многоводные годы может соединяться с рекой. Озеро – рыбохозяйственный водоем 1 категории. Выпуск производится в верхнюю треть озера. Зона, в которую осуществляется выпуск застойная средняя глубина в этой зоне $0,35 \div 0,45$ м. Расстояние до контрольного створа от места выпуска – 300 м. Тип течения в озере – ветровое. Скорость устойчивого ветра $V=1,3$ м/с. Расход сточных вод $q=0,0015$ м³/с.

Таблица 2 – Гидрохимические данные водоема выше сброса (фон, озеро, берег) и сточных вод (г/м³).

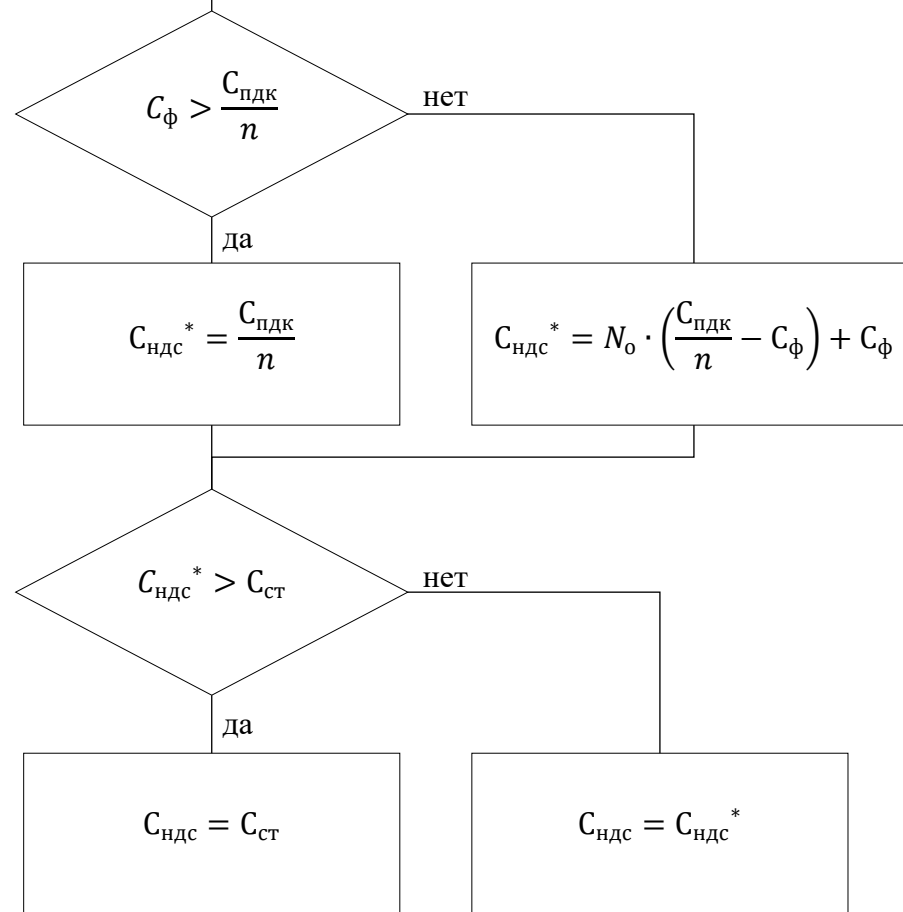
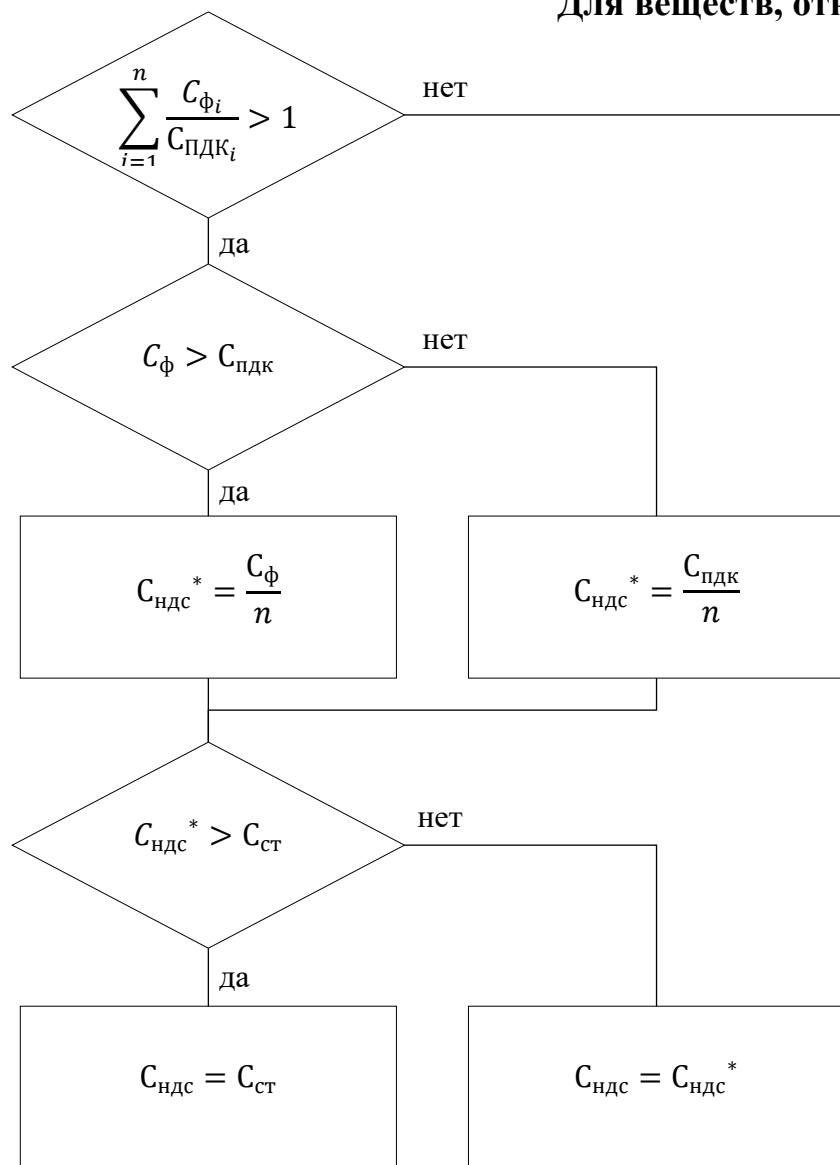
№ пп	Показатели свойства вод	Фон	Сточные воды	ПДК
Общие требования				
1.	Взвешенные вещества	29,2	146,6	29,95
2.	БПК _{полн.}	6,23	6,77	3
3.	Сухой остаток	192,0	493,5	1000
Токсикологический показатель				
1.	Аммоний солевой (NH ₄)	7,8	29,3	0,5
2.	Нитрит-ион (NO ₂)	0,057	1,5	0,08
3.	Железо общее (Fe _{общ.})	5,5	6,75	0,1
Санитарно-токсикологический показатель				
1.	Нитрат-ион (NO ₃)	10,8	74,99	40
2.	Алкилсульфонат (СПАВ)	0,12	0,26	0,5
3.	Хлориды (Cl)	11,4	198	300
4.	Сульфаты (SO ₄)	25	408,0	100
Рыбохозяйственный показатель				
1.	Нефтепродукты	0,02	0,21	0,05

Ниже представлены схемы расчета $C_{ндс}$ для простых веществ и веществ, относящихся к группам ЛПВ.

Для простых веществ (не относящихся к группам ЛПВ)



Для веществ, относящихся к группам ЛПВ



Ниже представлены выдержки из методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей.

РАСЧЕТ НОРМАТИВА ДОПУСТИМЫХ СБРОСОВ (НДС) ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ ДЛЯ ВОДОПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

(выдержки из методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей¹)

1.....Величины НДС определяются исходя из нормативов качества воды водного объекта. Если нормативы качества воды в водных объектах не могут быть достигнуты из-за воздействия природных факторов, не поддающихся регулированию, то величины НДС определяются исходя из условий соблюдения в контрольном пункте сформировавшегося природного фонового качества воды (т.е. **сбросы проводят с очисткой до фоновых величин**).

7. Для веществ, относящихся к 1-му и 2-му классам опасности при всех видах водопользования, НДС определяются так, чтобы для **веществ с одинаковым лимитирующим признаком вредности (ЛПВ)**, содержащихся в воде водного объекта, **сумма отношений концентраций каждого вещества к соответствующим ПДК не превышала 1**.

Для веществ, относящихся к одной группе ЛПВ, необходимо при расчете НДС использовать **приведенный ПДК**, т.е.

$$\text{ПДК}_{\text{п}} = \frac{\text{ПДК}}{m},$$

где m – количество веществ, относящихся к данной группе ЛПВ

12. Величины НДС разрабатываются и утверждаются для действующих и проектируемых организаций-водопользователей (приложения 1, 2). Разработка величин НДС осуществляется как организацией-водопользователем, так и по его поручению проектной или научно-исследовательской организацией. **Если фактический сброс действующей организации-водопользователя меньше расчетного НДС, то в качестве НДС принимается фактический.**

V. Расчет НДС для отдельных выпусков в водохранилища и озера

¹ Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 17.12.2007 «Об утверждении методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей

39. Величины НДС для выпусков сточных вод в водохранилища и озера определяются по приведенным ниже расчетным формулам, аналогичным формулам п. 26.

Основная расчетная формула для определения $C_{ндс}$ без учета неконсервативности вещества имеет вид:

$$C_{ндс} = n \cdot (C_{пдк} - C_{\phi}) + C_{\phi} \quad (44)$$

где: $C_{пдк}$ - предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в воде водоема, г/м³;

C_{ϕ} - фоновая концентрация загрязняющего вещества в воде водоема в месте выпуска сточных вод, г/м³;

n - кратность общего разбавления сточных вод в водоеме, определяемая по формуле $n = n_n + n_o$

С учетом неконсервативности загрязняющего вещества расчетная формула имеет вид:

$$C_{ндс} = n \cdot (C_{пдк} \cdot e^{kt} - C_{\phi}) + C_{\phi} \quad (45)$$

где k – коэффициент неконсервативности, 1/сут.;

t - время перемещения сточных вод под влиянием течения от места их выпуска до расчетного створа, сут.

Значения коэффициента неконсервативности k принимаются по данным натурных наблюдений или по справочным данным и пересчитываются в зависимости от температуры и скорости течения в водоеме.

При установлении НДС по БПК расчетная формула имеет вид:

$$C_{ндс} = n \cdot (C_{пдк} - C_{см}) \cdot e^{k_0 t} - C_{\phi} + C_{\phi} \quad (46)$$

где k_0 - осредненное значение коэффициента неконсервативности органических веществ, обуславливающих БПК_{полн} фона и сточных вод, 1/сут.;

$C_{см}$ - БПК_{полн}, обусловленная метаболитами и органическими веществами, смываемыми в водоем атмосферными осадками с площади водосбора на последнем участке пути перед контрольным створом длиной 0,5 суточного пробега.

Значение $C_{см}$ принимается равным: для горных водоемов - 0,6 - 0,8 г/м³; для равнинных водоемов, расположенных на территории, почва которой не слишком богата органическими веществами - 1,7 - 2 г/м³; для водоемов, расположенных на болотистой территории или территории, с которой смывается повышенное количество органических веществ - 2,3 - 2,5 г/м³. Если расстояние от выпуска сточных вод до контрольного створа меньше 0,5 суточного пробега, то $C_{см}$ принимается равной нулю.

40. При наличии в водоеме устойчивых ветровых течений для расчета кратности общего разбавления n может быть использован метод М.А. Руффеля. В расчетах по этому методу рассматриваются два случая:

а) выпуск в мелководную часть или в верхнюю треть глубины водоема, загрязненная струя распространяется вдоль берега под воздействием прямого поверхностного течения, имеющего одинаковое с ветром направление;

б) выпуск в нижнюю треть глубины водоема, загрязненная струя распространяется к береговой полосе против выпуска под воздействием донного компенсационного течения, имеющего направление, обратное направлению ветра.

Метод М.А. Руффеля имеет следующие ограничения: глубина зоны смешения не превышает 10 м, расстояние от выпуска до контрольного створа вдоль берега в первом случае не превышает 20 км, расстояние от выхода сточных вод до берега против выпускного оголовка во втором случае не превышает 0,5 км.

Кратность общего разбавления определяется по формуле $n = n_n + n_o$. Кратность начального разбавления вычисляется следующим образом:

- при выпуске в мелководье или в верхнюю треть глубины:

$$n_n = \frac{q + 0.00215 \cdot T x_{\text{этта}} \cdot H_{\text{ср}}^2}{q + 0.000215 \cdot T x_{\text{этта}} \cdot H_{\text{ср}}^2} \quad (47)$$

где q – расход сточных вод выпуска, м³/с;

$T x_{\text{этта}}$ – скорость ветра над водой в месте выпуска сточных вод, м/с;

$H_{\text{ср}}$ – средняя глубина водоема вблизи выпуска, м. Значение $H_{\text{ср}}$ определяется в зависимости от средней глубины водоема H_0 следующим образом: при $H_0 = (3 - 4)$ м на участке протяженностью 100 м; при $H_0 = (5 - 6)$ м на участке протяженностью 150 м; при $H_0 = (7 - 8)$ м на участке протяженностью 200 м; при $H_0 = (9 - 10)$ м на участке протяженностью 250 м;

- при выпуске в нижнюю треть глубины:

$$n_n = \frac{q + 0.00158 \cdot T x_{\text{этта}} \cdot H_{\text{ср}}^2}{q + 0.000079 \cdot T x_{\text{этта}} \cdot H_{\text{ср}}^2} \quad (48)$$

Кратность основного разбавления вычисляется следующим образом:

- при выпуске в мелководье или в верхнюю треть глубины:

$$n_o = 1 + 0.412 \cdot \left(\frac{l}{\Delta_x}\right)^{0.627 + \frac{0.0002 \cdot l}{\Delta_x}} \quad (49)$$

где: l – расстояние от места выпуска до контрольного створа, м;

$$\Delta_x = 6.53 \cdot H_{\text{ср}}^{1,17} \quad (50)$$

- при выпуске в нижнюю треть глубины:

$$n_o = 1,85 + 2,32 \cdot \left(\frac{l}{\Delta_x}\right)^{0.41 + \frac{0.0064 \cdot l}{\Delta_x}} \quad (51)$$

$$\Delta_x = 4,41 \cdot H_{\text{cp}}^{1,17} \quad (52)$$

9 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа студентов является важной частью учебного процесса и направлена на углубление теоретических знаний и развитие практических навыков. Она включает в себя выполнение заданий, связанных с моделированием антропогенного воздействия на окружающую среду, анализом данных и интерпретацией результатов.

Самостоятельная работа по дисциплине «Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду» направлена на:

- углубление знаний по теоретическим основам моделирования антропогенных воздействий;
- развитие навыков самостоятельного анализа данных, построения моделей и интерпретации результатов;
- формирование умения работать с профессиональным ПО, базами данных и научной литературой;
- подготовку к практическим занятиям, экзамену.

В рамках дисциплины «Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду» предусмотрены следующие виды самостоятельной работы:

- работа с литературой, включая изучение учебников и учебных пособий, научных статей, нормативных документов.
- конспектирование ключевых концепций, методов и примеров моделей.
- анализ кейсов из практики (например, отчеты ООН, Росприроднадзора).

В качестве подготовки к практическим занятиям рекомендуются следующие этапы самостоятельной работы:

- повторение лекционного материала;
- решение типовых задач (например, расчет углеродного следа, калибровка модели);
- ознакомление с инструкциями к практическим работам.

Рекомендации по планированию работы по дисциплине «Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду»:

- составление плана выполнения задания, определение этапов и сроков его реализации;
- распределение времени на изучение теории и выполнение практических задач.

Рекомендации по использованию литературы и других источников:

- необходимо использовать рекомендованную литературу и дополнительные источники, указанные в настоящем учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Моделирование антропогенного

воздействия на окружающую среду»;

- также рекомендуется обращаться к научным статьям, отчетам и данным, доступным в библиотеках и онлайн-ресурсах по тематике дисциплины;

При выполнении практических заданий рекомендуется следовать инструкциям по выполнению заданий, предоставленным преподавателем, и использовать современные программные инструменты для моделирования и анализа данных. При анализе и интерпретации результатов рекомендуется критически оценивать результаты моделирования и проводить сравнение полученных данных с теоретическими ожиданиями и реальными данными.

При подготовке отчета необходимо логично и последовательно структурировать отчет, использовать графики, таблицы и диаграммы для наглядного представления данных.

Рекомендуется регулярно посещать консультации преподавателя для обсуждения хода выполнения работы. Не пренебрегайте возможностью обсуждать возникающие вопросы и проблемы с преподавателем и одногруппниками, а также использовать возможности для обмена опытом и знаниями в группе.

Оценка выполнения самостоятельной работы включает проверку теоретической подготовки, качества выполнения практических заданий и умения интерпретировать результаты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате освоения дисциплины у студента формируются знания, умения и навыки по применению математических методов моделирования с целью прогнозирования динамики экосистем при изменении внешних условий под влиянием антропогенной активности.

В результате изучения дисциплины студент должен знать базовые положения фундаментальных разделов математики в объеме, необходимом для владения математическим аппаратом экологических наук для обработки информации и анализа данных по экологии и природопользованию; основы системного подхода применительно к экологическим системам; основные методы и этапы математического моделирования. Уметь применять методы математического моделирования в решении экологических вопросов; применять современные информационные технологии для математического моделирования и прогнозирования экологических задач. Владеть базовыми знаниями в области информатики и современных геоинформационных технологий; основными типами информационных систем, используемых при математическом моделировании и прогнозировании экологических задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература:

1. Прохорова, Н. В. Математическое моделирование в биологии и экологии: учебное пособие / Н. В. Прохорова. – Самара: Самарский университет, 2021. – 64 с. – ISBN 978-5-7883- 1690-1. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/256877> (дата обращения: 08.04.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

Дополнительная литература:

1. Хоменко, Т. А. Компьютерное моделирование средствами языка программирования PYTHON: учебно-методическое пособие / Т. А. Хоменко. – Москва: ФЛИНТА, 2024. – 162 с. – ISBN 978-5-9765-5491-7. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/402164> (дата обращения: 08.04.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Матушкин, А. С. Картографирование и анализ пространственных данных с использованием геоинформационной системы QGIS: учебное пособие / А. С. Матушкин. – Киров: ВятГУ, 2018. – 100 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/164420> (дата обращения: 11.04.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Приказ Минприроды России от 11.08.2020 N 581 "Об утверждении методики разработки (расчета) и установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух" (Зарегистрировано в Минюсте России 30.12.2020 N 61944)

4. Приказ Минприроды России от 29.12.2020 N 1118 (ред. от 08.05.2024) "Об утверждении Методики разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей" (Зарегистрировано в Минюсте России 30.12.2020 N 61973)

Локальный электронный методический материал

Андрей Викторович Алдушин

МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Редактор И. В. Голубева

Уч.-изд. л. 4,0. Печ. л. 3,4.

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1