

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)  
Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства  
(БИОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)



УТВЕРЖДАЮ:  
Директор Биологического института

  
Д.С. Воробьев

«29» июня 2023 г.

Рабочая программа дисциплины

**Математическое моделирование**

по направлению подготовки

**06.04.02 Почвоведение**

Направленность (профиль) подготовки:

**«Экология почв и управление земельными ресурсами»**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Магистр**

Год приема

**2023**

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.06

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

  
С.П. Кулижский

Председатель УМК

  
А.Л. Борисенко

Томск – 2023

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ОПК-3 – способность применять и модифицировать современные компьютерные технологии, работать с профессиональными базами данных, оформлять и представлять результаты новых разработок.

– ОПК-4 – способность самостоятельно определять стратегию и проблематику исследований, принимать решения, в том числе инновационные, выбирать и модифицировать методы с использованием современного оборудования, отвечать за качество работ, обеспечивать меры производственной безопасности при решении конкретной задачи.

– ПК-3 – способность использовать углубленные специализированные знания для проведения почвенно-экологических исследований.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-3.3. Оформляет и представляет результаты НИР.

ИОПК-4.2. Обосновывает выбор и модификацию методов исследования с использованием современного оборудования.

ИПК-3.3. Составляет и оформляет разделы научных отчетов, обзоры, доклады, статьи; представляет результаты собственных исследований профессиональному сообществу.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить универсальные методологические подходы, позволяющие строить адекватные математические модели в почвенных и экологических исследованиях.

– Научиться применять методы построения и анализа математических моделей применительно к задачам экологии почв с учетом их иерархических уровней организации.

## **3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, является обязательной для изучения.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Семестр 2, зачет.

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Информатика, Математика.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины (модуля)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 часа, из которых:

– лекции: 8 ч.;

– семинарские занятия: 0 ч.

– практические занятия: 26 ч.;

– лабораторные работы: 0 ч.

в том числе практическая подготовка: 26 ч.  
Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам**

### **Тема 1. Основные понятия в теории моделирования**

Математическое моделирование и его роль в почвенных и экологических исследованиях (математизация науки, математизация почвоведения, уравнение Докучаева-Йенни, моделирование как научная методология, роль математического моделирования в почвенных и экологических исследованиях). Общее определение модели, необходимость использования. Классификация моделей с учетом иерархических уровней организации почв. Понятие робастности и адекватности модели. Идентификация, настройка и верификация модели. План построения модели. Deskриптивные и оптимизационные модели. Значение моделирования.

### **Тема 2. Качественные и количественные модели**

Понятие качественной и количественной модели. Понятие популяционных волн и их классификация. Особенности почвы как объекта моделирования (сложность, эмерджентность, неаддитивность действия факторов среды, иерархическая организация, динамичность, нелинейность, пространственная неоднородность). Невозможность построения универсальной модели почвы. Множественность моделей. Прогрессия размножения. Модель баланса вещества и энергии. Основные допущения и предположения. Модель естественного хода эпидемии. Понятие дискретной «шаговой» модели динамики возрастной группы популяции от времени. Упражнения.

### **Тема 3. Имитационное и вероятностное моделирование.**

Принципы создания имитационной модели. Отличие имитационного моделирования от классического математического моделирования. Имитационная модель сложной системы. Примеры. Модели агробиоценоза. Суть метода Монте-Карло и его роль в имитационной модели агробиоценоза. Математические модели в микробиологии. Модель Моно. Понятие вероятностной модели. Сумма и произведение событий. Формула полной вероятности. Теория мишени. Ряд Пуассона. Приложения ряда Пуассона в экологии – выявление редких болезней, редких признаков. Примеры.

### **Тема 4. Объектно-ориентированное программирование.**

Основные понятия. Библиотеки классов. Численное решение. Использование технологии объектно-ориентированного моделирования.

### **Тема 5. Получение моделей из фундаментальных законов природы.**

Закон сохранения массы вещества. Закон сохранения энергии. Закон сохранения числа частиц. Совместное применение нескольких фундаментальных законов.

### **Тема 6. Математическое моделирование сложных объектов в задачах экологии.**

Гидрологический «барьер» против загрязнения грунтовых вод. Экологически приемлемые технологии сжигания углеводородных топлив. Модель взаимодействия загрязнения с окружающей средой. Многокомпонентные модели динамики органического вещества почв. Примеры моделей этого типа. Функции отклика на изменения условий среды. Примеры.

## **9. Текущий контроль по дисциплине.**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

## **10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

**Зачет** проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит 2 теоретических вопроса. Продолжительность зачета зависит от количества аттестующихся.

### Примерный перечень теоретических вопросов

1. Что такое моделирование, общее определение модели, для чего их используют?
2. Приведите классификацию моделей и определение математической модели.
3. В чем разница понятий робастности и адекватности модели?
4. Что такое идентификация, настройка и верификация модели? Как они проводятся?
5. Чем отличаются дескриптивные и оптимизационные модели?
6. Математическое моделирование и его роль в почвенных и экологических исследованиях (математизация науки, математизация почвоведения, уравнение Докучаева-Йенни, моделирование как научная методология, роль математического моделирования в почвенных и экологических исследованиях).
7. Поясните понятие популяционных волн и их классификацию, от чего зависит форма волн численности?
8. Система уравнений, описывающая конкуренцию двух видов. Фазовые портреты системы при различных соотношениях межвидовой и внутривидовой конкуренции. Динамика поведения системы при произвольных начальных условиях.
9. В чем состоит общая гипотеза, объясняющая причину остановки роста дерева, и какие упрощающие предположения используются для построения модели роста?
10. Какова генетическая основа биологического метода борьбы с нежелательным видом? Составьте модель для описания изменений численностей нормальных и стерильных самцов.
11. Приведите модель естественного хода эпидемии при  $x(0)=1$ , как изменится эта модель, если в момент времени  $t$  болен не один человек, а несколько и через небольшой промежуток времени больные выздоравливают и приобретают иммунитет?
12. Классификация моделей с учетом иерархических уровней организации почв.
13. Сформулируйте демографическую задачу, которая может быть решена с использованием дискретной «шаговой» модели динамики возрастной структуры популяции от времени.
14. Каковы основные количественные показатели, используемые при моделировании кинетики биотехнологических процессов?
15. Привести графики простейших зависимостей удельной скорости роста биомассы (плотности) популяции от концентрации основного компонента субстрата, а также от концентрации продукта метаболизма. Сформулировать модельные предположения для каждого графика.
16. Распределённые динамические модели. Модели вертикальной миграции нитратного азота в почве.
17. По аналогии с моделями Моно, Мозеса и Андруса составить формулы зависимости удельной скорости биосинтеза основного продукта биотехнологического процесса от  $s$ . Пояснить смысл каждой зависимости.
18. Пояснить способ оценки среднего возраста культуры в биореакторе. Какие модельные зависимости предложены для описания влияния среднего возраста на удельную скорость биосинтеза продукта?
19. Каковы модельные предположения о характере деградации продукта метаболизма в процессе его биосинтеза?
20. В чем состоит суть метода имитационного моделирования?
21. Математические модели в микробиологии. Модель Моно.
22. Привести этапы построения любой математической модели сложной системы.
23. В чем недостатки метода имитационного моделирования?
24. Как происходит проверка адекватности построенной модели?
25. Многокомпонентные модели динамики органического вещества почв. Примеры моделей этого типа. Функции отклика на изменения условий среды.

Результаты зачета определяются оценками «зачтено», «не зачтено».

Оценка	Критерии соответствия
зачет	Дан правильный и развернутый ответ на вопрос. Студент четко и логично изложил свой ответ на поставленный в билете вопрос (допускается, что не все в ответе изложено развернуто и логически структурировано)
незачет	Ответ представлен очень поверхностно и с нарушением логики изложения. Студент очень плохо владеет основными моделями и концепциями механики. Допущены существенные терминологические и фактические ошибки.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=19389>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

– Александров, А.Ю. Математическое моделирование и исследование устойчивости биологических сообществ. [Электронный ресурс] / А.Ю. Александров, А.В. Платонов, В.Н. Старков, Н.А. Степенко. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2016. — 272 с. <http://chamo.lib.tsu.ru/lib/item?id=chamo:537629&theme=system>

– Ризниченко, Г. Ю. Математические методы в биологии и экологии. Биофизическая динамика продукционных процессов в 2 ч. Часть 1 : учебник для бакалавриата и магистратуры / Г. Ю. Ризниченко, А. Б. Рубин. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 253 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-534-03989-4. <http://chamo.lib.tsu.ru/lib/item?id=chamo:573002&theme=system>

– Ризниченко, Г. Ю. Математические методы в биологии и экологии. Биофизическая динамика продукционных процессов в 2 ч. Часть 2 : учебник для бакалавриата и магистратуры / Г. Ю. Ризниченко, А. Б. Рубин. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 211 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-534-04054-8. <http://chamo.lib.tsu.ru/lib/item?id=chamo:573423&theme=system>

б) дополнительная литература:

– Росновский, И.Н. Устойчивость почв в экосистемах как основа экологического нормирования / И. Н. Росновский; Отв. ред. В. Н. Воробьев; Рос. акад. наук. Сиб. отд-ние. Фил. Ин-та леса им. В. Н. Сукачева. - Томск : Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2001. - 251 с. : ил., табл.; 20 см.; ISBN 5-94458-003-8

– Самарский А. А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – М.: Физматлит, 2001. – 319 с.

– Коросов, А. В., Горбач, В. В. Компьютерная обработка биологических данных : метод. пособие / А. В. Коросов, В. В. Горбач. — Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2016. — 96 с.

в) ресурсы сети Интернет:

– Александров, А.Ю. Математическое моделирование и исследование устойчивости биологических сообществ. [Электронный ресурс] / А.Ю. Александров, А.В. Платонов, В.Н. Старков, Н.А. Степенко. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2016. — 272 с. [http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_id=71703](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=71703) Электронное издание Доступ к полному тексту документа после регистрации пользователя на сайте <http://e.lanbook.com/> в

локальной сети ТГУ

– Решетникова Г. Н. Основы моделирования систем : определения, классификации, виды моделирования / Галина Решетникова. - Saarbrücken : LAP Lambert Academic Publishing, 2013. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000518742>

– Основы моделирования систем Электронный ресурс : учебное пособие /А. Г. Куприяшкин ; Норильский индустриальный ин-т. Электронный ресурс <http://sun.tsu.ru/limit/2016/000550226/000550226.pdf>

### **13. Перечень информационных технологий**

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

### **14. Материально-техническое обеспечение**

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

### **15. Информация о разработчиках**

Касымов Денис Петрович, кандидат физико-математических наук, кафедра лесного хозяйства и ландшафтного строительства, доцент.