

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского»**

Институт биологии и биомедицины

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«31» августа 2021 г. № 11

**Рабочая программа дисциплины  
ПОДХОДЫ К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ЖИВЫХ СИСТЕМ  
РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ**

Уровень высшего образования  
**Подготовка кадров высшей квалификации**

Направление подготовки  
**06.06.01 Биологические науки**

Направленность подготовки  
**03.01.05 Физиология и биохимия растений**

Квалификация выпускника  
***Исследователь. Преподаватель-исследователь***

Форма обучения  
Очная

Нижегород  
2021

## 1. Место дисциплины (модуля) в структуре основной образовательной программы (ОПОП)

Дисциплина «Подходы к математическому моделированию живых систем различного уровня» относится к числу общепрофессиональных дисциплин, является дисциплиной выбора и изучается на 2 году обучения, в 4 семестре.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования. Перед изучением курса аспирант должен освоить дисциплины: высшую математику, физику, биофизику, биохимию, физиологию животных и человека, физиологию растений.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями выпускников)

### Цель освоения дисциплины.

Изучить общие принципы математического моделирования живых систем, особенности выбора подходов при математическом моделировании систем различного уровня, примеры конкретных моделей, изучаемых в рамках курса.

Формирование способностей планирования экспериментальной деятельности, компьютерными средствами автоматизации физиолого-биохимических исследований

В результате изучения дисциплины аспирант должен:

**знать:** общие принципы математического моделирования живых систем, особенности выбора подходов при математическом моделировании систем различного уровня, примеры конкретных моделей, изучаемых в рамках курса.

**уметь:** уметь адекватно формулировать задачу при математическом моделировании конкретного биологического процесса, разрабатывать модель такого процесса и проводить ее анализ.

**владеть:** проявлять способность к системному видению исследуемой проблемы и к ее формализации, видеть общность в математическом описании систем различного уровня, быть способным формировать модель биологического процесса в условиях неполноты информации.

**Таблица 1**

### Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код и этап формируемой компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<i>ОПК-1</i> Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных	<b>ЗНАТЬ:</b> современные проблемы биологии, современные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии. <b>УМЕТЬ:</b> ставить задачу, планировать и выполнять биологические исследования при решении конкретных задач по биологии с использованием современной аппаратуры, вычислительных средств, компьютерных

методов исследования и информационно-коммуникационных технологий  Базовый	технологий ВЛАДЕТЬ: навыками использования современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий, профессионально оформлять, представлять и докладывать результаты научно-исследовательских и производственно-технологических работ по утвержденным формам
ПК-1: способностью к анализу фундаментальных проблем биохимических основ физиологических процессов живых систем, нарушения состояния гомеостаза для формирования конкурентоспособных идей  Завершающий	<p>ЗНАТЬ: актуальные проблемы биохимии, молекулярной биологии и физиологии живых систем; методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач.</p> <p>УМЕТЬ: выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника.</p> <p>ВЛАДЕТЬ: навыками технологий сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач.</p>

### 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 18 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем, 54 часов составляет самостоятельная работа обучающегося, в том числе подготовка к экзамену.

**Таблица 2**

**Структура дисциплины**

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Контактная работа, часов					
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
1. Общие принципы математического моделирования живых систем.	4		2				2
2. Математическое моделирование опухолевого роста	6		4				2

<b>и доставки лекарственных препаратов в опухоль.</b>							
<b>3. Математическое моделирование процессов электрогенеза у растений</b>	<b>6</b>		<b>4</b>				<b>2</b>
<b>4. Математическое моделирование процессов фотосинтеза.</b>	<b>6</b>		<b>4</b>				<b>2</b>
<b>5. Разработка модели конкретного биологического процесса.</b>	<b>14</b>		<b>4</b>				<b>10</b>
<i>В т.ч. текущий контроль 2</i>							
<b>Промежуточная аттестация в форме экзамена</b>							

**Таблица 3**

**Содержание дисциплины**

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование раздела дисциплины</b>	<b>Содержание раздела</b>	<b>Форма проведения занятия</b>	<b>Форма текущего контроля*</b>
1.	<b>Общие принципы математического моделирования живых систем.</b>	Освоение общих принципов моделирования живых систем и особенностей такого моделирования при теоретическом исследовании систем различного уровня. Освоение методов построения математической модели конкретного биологического процесса и ее анализа.	Семинар	Доклады по теме раздела. Обсуждение.
2.	<b>Математическое моделирование опухолевого роста и доставки лекарственных препаратов в опухоль.</b>	Моделирование процессов опухолевого роста, включая обзор современных подходов к проблеме опухолевого роста. Математические модели давления межклеточной жидкости в опухоли и их использование для анализа доставки	Семинар	Доклады по теме раздела. Обсуждение.

		лекарственных препаратов в опухоли.		
3.	Математическое моделирование процессов электрогенеза у растений	Различные подходы к моделированию электрогенеза у растений. Модели генерации потенциалов возбуждения и периодических осцилляций: использование модели Ходжкина-Хаксли для описания потенциала действия харовых водорослей, модель потенциала действия у ацетабулярии, модели осцилляций у высшего растения, модели генерации потенциала действия и переменного потенциала у высшего растения. Модели распространения электрических сигналов: использование метода "клеточных автоматов" для распространения потенциалов действия у высших растений, модели потенциала действия и переменного потенциала базирующиеся на детализированном описании растительных клеток и взаимодействий между ними.	Семинар	Доклады по теме раздела. Обсуждение.
4.	Математическое моделирование процессов фотосинтеза.	Многоуровневый характер	Семинар	Доклады по теме раздела.

		<p>моделирования фотосинтеза у растений, связь выбора уровня моделирования с решаемой задачей. Модели транспорта возбуждения в антенном комплексе. Модели переноса электронов в фотосистемах I и II и их использование для анализа экспериментальных данных, полученных с использованием метода РАМ флуориметрии фотосистем I и II и путем регистрации индукционных кривых флуоресценции. Кинетические и броуновские модели световой стадии фотосинтеза. Модели, учитывающие темновую стадию фотосинтеза и их использование для анализа данных по изменению газообмена растения. Модели фотосинтеза учитывающие процессы на уровне целого растения и (или) на уровне растительных сообществ.</p>		Обсуждение.
5.	Разработка модели конкретного биологического процесса.	Предварительный анализ разработанных аспирантами математических моделей конкретных	Практическое занятие	Промежуточный отчет по результатам моделирования конкретного

		биологических процессов, которые были предварительно выбраны исходя из темы исследований аспиранта.		биологического процесса. Обсуждение.
--	--	---	--	--------------------------------------

#### **4. Образовательные технологии**

Семинарские занятия с докладами аспирантов по теме занятий и разбором конкретных проблемных ситуаций с использованием мультимедиа. В ходе второго-пятого разделов дисциплины аспиранты индивидуально выполняют творческую работу: по согласованию с преподавателем выбирают конкретный биологический процесс, из числа изучаемых ими в рамках научной работы, формулируют научную задачу, которую можно решить путем математического моделирования такого процесса, осуществляют обзор литературы по проблеме, формулируют схему и уравнения модели, проводят параметризацию модели, решают ее с использованием имеющихся вычислительных средств, проводят верификацию модели. При успешном выполнении всех стадий и построении адекватной реальному процессу модели, используют ее для решения поставленной научной задачи. Результаты творческой работы представляют в бумажном виде и в форме доклада с презентацией, которую защищают. Окончательная защита работы осуществляется на экзамене.

#### **5. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся**

Формой самостоятельной работы обучающегося выбрана внеаудиторная самостоятельная работа с первоисточником и научной литературой, подготовка презентаций и докладов по темам курса.

##### Требования к индивидуальной творческой работе аспиранта:

Работа должна представлять собой научную работу, включающую в себя согласованный с преподавателем выбор моделируемого биологического процесса и обоснование значимости данного выбора, обзор литературы по выбранной проблеме, опирающийся на современные источники, схему и уравнения математической модели, которые также должны быть обоснованы, параметризацию и верификацию модели на основании своих и (или) литературных экспериментальных данных, а также теоретический анализ выбранной научной проблемы на основании разработанной аспирантом модели. Крайне желательно, чтобы моделируемый аспирантом процесс был непосредственно связан с темой его диссертационной работы. Использование для параметризации и верификации собственных данных аспиранта является дополнительным фактором, повышающим оценку работы. Работа должна быть оформлена согласно ГОСТ 7.32-2001, объем – достаточный для полного описания модели и результатов, ориентировочно - не менее 15-20 страниц.

##### Требования к защите индивидуальной творческой работы:

Время доклада – не более 20 минут. Презентация должна быть выполнена в программе PowerPoint, фон слайдов - светлый, шрифт - темный контрастный. Презентация должна быть хорошо иллюстрирована (рисунками, схемами, таблицами), логически согласована с докладом. Желательно свободное изложение доклада без зачитывания печатного текста.

Владение материалом по теме работы, умение сформулировать ответы на вопросы, умение поддержать дискуссию.

Промежуточную аттестацию проводят преподаватель курса и (при возможности) научный руководитель аспиранта.

## **6. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине**

### **6.1. *Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования***

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования приведен в приложении 1.

### **6.2. *Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине. Описание шкал оценивания***

Отлично	Отсутствие замечаний к оформлению индивидуальной творческой работы, презентации и доклада. Умение логически точно сформулировать ответ на вопрос, умение анализировать и делать выводы. Цитирование научной литературы. Отличные оценки за доклады на всех семинарских занятиях.
Хорошо	Незначительные недочеты (3-4) либо один грубый недочет в оформлении индивидуальной творческой работы, презентации и доклада. Ответ в целом верный, с рядом замечаний. Ошибки в формулировках и выводах. Участие во всех семинарских занятиях с оценками не ниже «хорошо».
Удовлетворительно	Несколько грубых недочетов в оформлении индивидуальной творческой работы, презентации и доклада. Ответ с ошибками, анализ и формулировка выводов отсутствуют, либо требуется помощь преподавателя. Пропуски семинарских занятий. Доклады к семинарам выполнены удовлетворительно.
Неудовлетворительно	Индивидуальная творческая работа отсутствует либо презентация, доклад и печатный вариант не согласованы друг с другом, работа выполнена с грубыми ошибками. Ответ неполный, с ошибками, нелогично изложен. Аспирант не способен с помощью преподавателя сделать выводы. Пропуски семинарских занятий. Как минимум один доклад на семинарских занятиях выполнен удовлетворительно.
Плохо	Индивидуальная творческая работа отсутствует. Доклады к семинарам выполнены неудовлетворительно. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытаний.



**6.3. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, необходимых для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.**

Примерные темы докладов на семинарских занятиях:

1. Типы математических моделей живых систем (регрессионные, качественные, количественные). Связь типа модели и решаемой задачи.
2. Кинетические модели живых систем: особенности, область применения.
3. "Физические" модели живых систем: особенности, область применения.
4. Основные этапы построения детальной модели биологического процесса.
5. Моделирование процессов опухолевого роста: основные модели, проблема экспериментальной верификации.
6. Моделирование изменения давления в опухоли и транспорта лекарственных соединений в нее.
7. Наиболее перспективные направления в моделировании различных аспектов существования опухолей.
8. Модели генерации потенциала действия у растений: разнообразие моделей, сильные и слабые стороны моделей, связь типа модели с исследуемым объектом.
9. Модели генерации переменного потенциала у высших растений: исходные допущения, сильные и слабые стороны модели, ее теоретическая значимость для понимания механизмов переменного потенциала.
10. Моделирование процесса распространения электрических сигналов: модели, на основе метода "клеточных автоматов", детализированные модели распространения сигнала. Основные допущения моделей, сильные и слабые стороны, их сравнение между собой.
11. Моделирование связи электрогенеза с другими сигнальными системами в растениях.
12. Многоуровневый характер моделирования фотосинтеза: его причины, последствия, примеры моделей.
13. Модели транспорта электронов в фотосистемах I и II - как теоретическая основа для анализа экспериментальных данных, полученных методом РАМ флуориметрии.
14. Модели транспорта электронов на уровне процессов световой стадии фотосинтеза, их использование для анализа индукционных кривых флуоресценции.
15. Многочастичные модели на основе метода броуновской динамики - новый подход к моделированию световой стадии фотосинтеза.
16. Модели, объединяющие темновую и световую стадии фотосинтеза, как основа для анализа экспериментальных данных по измерению газообмена листа.
17. Модели фотосинтеза на уровне целого растения и сообществ растений. .

По решению преподавателя для оценки знаний по компетенциям курса могут использоваться тесты (полный перечень заданий приводится в приложении 2 ФОС).

**Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.**

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 12.02.2014 №55-ОД.

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

### **а) основная литература:**

Динамические системы и модели в биологии [Электронный ресурс] / Братусь А.С., Новожилов А.С., Платонов А.П. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009.  
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922111928.html>

Физика и биофизика. Руководство к практическим занятиям [Электронный ресурс]: учебное пособие / Антонов В.Ф., Черныш А.М., Козлова Е.К., Коржуев А.В. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2013 <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970426777.html>

Физика и биофизика [Электронный ресурс]: учебник / В. Ф.Антонов, Е. К. Козлова, А. М. Черныш. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2015.  
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970435267.html>

### **б) дополнительная литература:**

Photosynthesis in silico. Understanding Complexity from Molecules to Ecosystems. Laisk A., Nedbal L., Govindjee (eds). Springer, 2009.  
<http://www.springer.com/us/book/9781402092367>

Оптимальное управление биологическими сообществами [Электронный ресурс] / Андреева Е.А. - Архангельск : ИД САФУ, 2014. -  
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785261008804.html>

### **в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы**

<http://www.phomem.biophys.msu.ru/>

<http://www.dmb.biophys.msu.ru/>

<http://www.e-photosynthesis.org/>

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения занятий семинарского типа, текущего контроля и промежуточной аттестации, укомплектованные специализированной мебелью и техническими средствами обучения (демонстрационное оборудование – проектор, ноутбук, экран). Помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 06.06.01. Биологические науки.

Автор (ы) \_\_\_\_\_ Сухов В.С.

Рецензент (ы) \_\_\_\_\_ Ведунова М.В.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Воденеев В.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии института ИББМ от 30 августа 2021 года, протокол №1.

### Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

**ОПК-1:** Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий

Планируемые результаты обучения* (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
<b>ВЛАДЕТЬ:</b> навыками использования современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков использования современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	В целом успешное, но не систематическое применение навыков использования современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	В целом успешное, но сопровождающееся отдельными ошибками применение современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	Успешное и систематическое применение современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий
<b>ВЛАДЕТЬ:</b> навыками профессионально оформлять, представлять и докладывать результаты научно-исследовательских и производственно-технологических работ по утвержденным формам	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков профессионально оформлять, представлять и докладывать результаты научно-исследовательских и производственно-технологических работ по утвержденным формам	В целом успешное, но не систематическое применение навыков профессионально оформлять, представлять и докладывать результаты научно-исследовательских и производственно-технологических работ по утвержденным формам	В целом успешное, но сопровождающееся отдельными ошибками применение навыков профессионально оформлять, представлять и докладывать результаты научно-исследовательских и производственно-технологических работ по утвержденным формам	Успешное и систематическое применение навыков профессионально оформлять, представлять и докладывать результаты научно-исследовательских и производственно-технологических работ по утвержденным формам
<b>УМЕТЬ:</b> ставить задачу, планировать и выполнять биологические исследования при решении конкретных задач по биологии с использованием современной аппаратуры, вычислительных средств, компьютерных технологий	Отсутствие умений	Частично освоенное умение ставить задачу, планировать и выполнять биологические исследования при решении конкретных задач по биологии с использованием современной аппаратуры, вычислительных средств, компьютерных технологий	В целом успешное, но не систематическое умение ставить задачу, планировать и выполнять биологические исследования при решении конкретных задач по биологии с использованием современной аппаратуры, вычислительных средств, компьютерных технологий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение ставить задачу, планировать и выполнять биологические исследования при решении конкретных задач по биологии с использованием современной аппаратуры, вычислительных средств, компьютерных технологий	Успешное и систематическое умение ставить задачу, планировать и выполнять биологические исследования при решении конкретных задач по биологии с использованием современной аппаратуры, вычислительных средств, компьютерных технологий
<b>ЗНАТЬ:</b> современные проблемы биологии	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания современных проблем биологии	Неполные знания современных проблем биологии	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания современных проблем биологии	Сформированные и систематические знания современных проблем биологии

ЗНАТЬ: современные методы исследования и информационно- коммуникационные технологии	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания современных методов исследования и информационно- коммуникационных технологий	Неполные знания современных методов исследования и информационно- коммуникационных технологий	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания современных методов исследования и информационно- коммуникационных технологий	Сформированные систематические знания современных методов исследования и информационно- коммуникационных технологий
---	----------------------	---	---	---	---

**ПК-1:** способностью к анализу фундаментальных проблем биохимических основ физиологических процессов живых систем, нарушения состояния гомеостаза для формирования конкурентоспособных идей.

Планируемые результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ВЛАДЕТЬ: навыками технологий сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования	Отсутствие навыка в	Фрагментарное применение навыков сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования	В целом успешное, но не систематическое применение навыков сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования	Успешное и систематическое применение навыков сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования
ВЛАДЕТЬ: навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач	Отсутствие навыка в	Фрагментарное применение навыков критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач	В целом успешное, но не систематическое применение навыков критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач	Успешное и систематическое применение навыков критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач
УМЕТЬ: выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах	Отсутствие умений	Частично освоенное умение выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах	В целом успешно, но не систематически осуществляемые анализ выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах	В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы анализ выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах	Сформированное умение выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах

УМЕТЬ: критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника	Отсутствие умений	Частично освоенное умение критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника	Сформированное умение критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника
ЗНАТЬ: актуальные проблемы биохимии, молекулярной биологии и физиологии живых систем	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания основных направлений и , проблем биохимии, молекулярной биологии и физиологии живых систем	Общие, но не структурированные знания актуальных проблем биохимии, молекулярной биологии и физиологии живых систем	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания актуальных направлений, проблем биохимии, молекулярной биологии и физиологии живых систем	Сформированные систематические знания актуальных направлений, проблем биохимии, молекулярной биологии и физиологии живых систем
ЗНАТЬ: методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач	Общие, но не структурированные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач	Сформированные систематические знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач