

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского»

Институт биологии и биомедицины

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
президиумом ученого совета ННГУ  
протокол от  
«31» мая 2023 г. № 6

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

**Математическое моделирование  
биологических процессов**

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

**Магистратура**

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

**06.04.01 Биология**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

**Биофизика**

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

**Магистр**

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

**Очная**

(очная / очно-заочная / заочная)

г. Нижний Новгород  
2023 год

## 1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Математическое моделирование биологических процессов» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины, модули» ООП по направлению подготовки 06.04.01 Биология.

Студенты к моменту освоения дисциплины «Математическое моделирование биологических процессов», согласно ФГОС ВО, ознакомлены с основными теоретическими понятиями и прикладными знаниями, полученными в рамках изучения математики.

К моменту изучения дисциплины у студентов присутствуют устойчивые представления, касающиеся понятийного аппарата в области физиологии и биохимии. Изучение дисциплины «Математическое моделирование биологических процессов» необходимо студентам для выполнения выпускной квалификационной работы.

**Целями освоения дисциплины являются:**

- ознакомление студентов с математическими моделями живых системы различного уровня и принципами их построения,
- освоение методов исследования математических моделей,
- формирование теоретических навыков построения и анализа математических моделей конкретных исследуемых процессов.

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

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-1. Способен к постановке и разработке актуальной научной проблемы, научному анализу данных и их обобщению в контексте ранее накопленных в мировой науке знаний, аргументированному выбору методов исследования, формулированию выводов и практических рекомендаций на основе проведенного анализа (в соответствии с направленностью программы магистратуры).	<p>ПК-1.1. Знает: - основные достижения и проблемы в современной биологической науке, принципы проведения научного исследования и подходы к организации и осуществлению поиска научной информации в базах данных по тематике исследования;</p> <p>ПК-1.2. Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить поиск и анализ информации в современных базах данных по избранной теме исследования, подбор методов исследования в соответствии с научными задачами.</li> </ul> <p>ПК-1.3. Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками поиска и анализа научной информации, выбора методов исследования, формулировки выводов и рекомендаций.</li> </ul>	<p><b>Знать</b> основные типы математических моделей, используемых для описания живых систем, включая знания теоретических основ и принципов разработки математических моделей различного типа</p> <p><b>Уметь</b> выбирать или формулировать модель, адекватные конкретной биологической задаче, формулировать уравнения, описывающие выбранную модель</p> <p><b>Владеть</b> навыками разработки абстрагированного описания биологического процесса и последующей разработки его математической модели</p>	Устный опрос, тесты, ситуационные задачи, доклады

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	2 ЗЕТ
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	28
- занятия практического типа	28
самостоятельная работа	43
КСР	1
Промежуточная аттестация – зачет	

#### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля)	Всего (часы)	В том числе					
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы					Самостоятельная работа обучающегося, часы
		из них				Всего	
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа			
Глава 1 Основные типы математических моделей биологических процессов	18		7			7	11
Глава 2 Методы исследования математических моделей	18		7			7	11
Глава 3 Примеры математических моделей биологических процессов различного уровня	17		7			7	10
Глава 4 Разработка математического описания конкретного биологического процесса и его анализ	18		7			7	11
<b>Итого</b>	<b>71</b>		<b>28</b>			<b>28</b>	<b>43</b>

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках семинарских занятий. Промежуточная аттестация осуществляется на зачете.

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

*Виды самостоятельной работы студентов в рамках освоения дисциплины:*

- изучение понятийного аппарата и проработка тем дисциплины;
- работа с основной и дополнительной литературой дома и в библиотеке;
- изучение сайтов по темам дисциплины в сети Интернет
- подготовка к устному опросу на семинарских занятиях;
- подготовка к тестам;
- подготовка к зачету.

## Методические указания по подготовке студентов к текущему и промежуточному контролю по дисциплине «Математическое моделирование биологических процессов»

### Подготовка к устному опросу, тестированию

Все перечисленные виды самостоятельной работы представляют собой систему заданий, позволяющих оценить уровень знаний по основным разделам, темам, проблемам дисциплины, а также умений обучающегося синтезировать материал предшествующих дисциплин.

При подготовке к ним студенту необходимо:

- 1) ознакомиться с соответствующей темой программы изучаемой дисциплины;
- 2) изучить рекомендованную учебно-методическую литературу по данной теме;
- 3) тщательно изучить лекционный материал;
- 4) повторить материалы предшествующих дисциплин.

### Подготовка к зачету

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проходит в форме **зачета**. Подготовка к зачету является концентрированной систематизацией всех полученных знаний по дисциплине «Математическое моделирование биологических процессов».

В начале семестра рекомендуется внимательно изучить перечень вопросов к зачету по данной дисциплине, а также использовать в процессе обучения программу, другие методические материалы, разработанные кафедрой по данной дисциплине. Это позволит в процессе изучения тем сформировать более правильное и обобщенное видение студентом существа того или иного вопроса за счет:

- а) уточняющих вопросов преподавателю;
- б) подготовки докладов по отдельным темам;
- в) самостоятельного уточнения вопросов на смежных дисциплинах;
- г) углубленного изучения вопросов темы по учебным пособиям.

## 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

### а. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	<b>превосходно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
<b>зачтено</b>	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»

<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

### 5.2.1. Собеседование (устный опрос) по вопросам, выносимым на зачет

1. Общие представления о математическом моделировании биологических процессов. Понятие моделирования. Физические и математические модели. Преимущества и недостатки математического моделирования.
2. Регрессионные модели биологических процессов. Типы регрессионных моделей. Теоретическое обоснование их применимости. Область применения таких моделей. Определение параметров регрессионных моделей и оценка эффективности описания ими исследуемого процесса. Примеры моделей.
3. Регрессионные модели как инструмент прогнозирования «поведения» биологических систем в различных условиях.
4. Методы аналитического решения систем дифференциальных уравнений.
5. Методы качественного решения «точечных» систем дифференциальных уравнений.
6. Методы качественного решения систем дифференциальных уравнений с распределенными в пространстве параметрами.
7. Современные программные инструменты для моделирования и анализа фотосинтеза на различных уровнях и лежащие в их основе математические модели.
8. Современные программные инструменты для моделирования различных аспектов водного обмена и лежащие в их основе математические модели. Программные инструмент OnGuard.

### 5.2.2. Тестирование

#### 1. Планер самолета в аэродинамической трубе является моделью:

- А. Кинетической.
- Б. Физической.
- В. Математической.
- Г. Химической.

#### 2. Математическое моделирование биологических систем НЕ позволяет:

- А. Делать достоверные краткосрочные прогнозы развития.
- Б. Исследовать механизмы, протекающих в системе процессов.
- В. Делать достоверные долгосрочные прогнозы развития.
- Г. Интерпретировать результаты экспериментов.

#### 3. Основная функция биологических математических моделей на основании регрессионных уравнений:

- А. Осуществлять краткосрочное прогнозирование.
- Б. Выявлять механизмы биологических процессов.
- В. Интерпретировать результаты экспериментов.
- Г. Выявлять потенциальные режимы поведения биосистемы.

#### 4. Результатом аналитического решения точечной системы дифференциальных уравнений является:

- А. Фазовый портрет системы.
- Б. Уравнения, описывающие временные зависимости переменных в явном виде.

- В. Ряды данных, описывающие временные зависимости переменных.  
Г. Любой из отмеченных вариантов.

**5. Результатом качественного решения точечной системы дифференциальных уравнений является:**

- А. Фазовый портрет системы.  
Б. Уравнения, описывающие временные зависимости переменных в явном виде.  
В. Ряды данных, описывающие временные зависимости переменных.  
Г. Любой из отмеченных вариантов.

**6. Результатом численного решения точечной системы дифференциальных уравнений является:**

- А. Фазовый портрет системы.  
Б. Уравнения, описывающие временные зависимости переменных в явном виде.  
В. Ряды данных, описывающие временные зависимости переменных.  
Г. Любой из отмеченных вариантов.

**7. Специализированным программным инструментом для анализа моделей биологических систем является:**

- А. Model Vision Studium  
Б. Mathcad  
В. DBSolveOptimum  
Г. Python

**8. Среди нижеперечисленных программных продуктов языком программирования является:**

- А. Model Vision Studium  
Б. Mathcad  
В. DBSolveOptimum  
Г. Python

**9. Специализированным программным инструментом для моделирования влияния изменений климата на продуктивность растений в глобальном масштабе является:**

- А. Model Vision Studium  
Б. OnGuard  
В. WIMOVAC  
Г. DBSolveOptimum

### **5.2.3. Примеры ситуационных заданий:**

1. При анализе скорости перехода электрона с  $Q_A$  на  $Q_B$  в фотосистеме II высших растений выявлено, что при увеличении концентрации рост скорости переноса происходит линейно. Оценить применимость закона действующих масс в данной ситуации, обосновать полученный вывод. Записать уравнение для скорости переноса.

2. Дана упрощенная реакция  $CO_2 \cdot H_2O \xrightleftharpoons[k_-]{k_+} HCO_3^- + H^+$ . Постройте на основании

химической реакции, дифференциальные уравнения (систему уравнений) и решите ее аналитически для концентрации  $CO_2$ . При этом принять, что суммарная концентрация  $CO_2 \cdot H_2O$  и  $HCO_3^-$  - постоянна и равна  $S$ , и что в начальный момент времени концентрация  $CO_2$  равна  $S$ .

3. Рассчитать поток электронов через фотосистему II (ETR(PSII)), при условии, что световой поток (PPD) составляет  $240 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$ , относительное поглощения света ( $\beta$ ) – 0.88, квантовые выходы фотосистем I и II в условиях слабого освещения ( $\Phi_{\text{PSI}}^0$  и  $\Phi_{\text{PSII}}^0$ ) (менее  $60 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$ ) составляют 0.89 и 0.86, а в условиях указанного освещения ( $\Phi_{\text{PSI}}$  и  $\Phi_{\text{PSII}}$ ) – 0.5 и 0.38.

#### **5.2.4. Доклады на семинарских занятиях**

Студентам предлагается индивидуально подготовить доклад и его презентацию. Оценочное средство в виде подготовки доклада с последующей презентацией используется при проведении практического занятия во время аудиторной работы. Студентам предлагается самостоятельно проанализировать проблему, подготовить доклад, на его основе сделать презентацию доклада и выступить перед студенческой аудиторией с представлением результатов исследования.

- Численные методы решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ).

- Стандартные пакеты программ для решения ОДУ в среде MAT LAB.

- Синтаксис среды MAT LAB.

- Основные операции над множествами, матрицами, векторами, числами.

- Ознакомление со стандартными пакетами программ для решения ОДУ в среде MAT LAB.

- Формирование правой части системы дифференциальных уравнений в М-файле.

- Обращение в командном окне MAT LABa к решателю ОДУ.

- Обращение к графическому пакету для построения фазового портрета.

- Модели фотосинтетических процессов лежащие в основе автоматизированного анализа данных РАМ-флуориметрии с использованием программного обеспечения Dual-PAM-100 (Heinz Walz GmbH, Германия).

- Модели фотосинтетических процессов лежащие в основе автоматизированного анализа данных ЛР-теста с использованием программного обеспечения М-РЕА-2 (Hansatech Instruments Ltd, Великобритания).

- Модели фотосинтетических и транспирационных процессов лежащие в основе автоматизированного анализа данных с использованием программного обеспечения инфракрасного газоанализатора GFS-3000 (Heinz Walz GmbH, Германия).

- Современные подходы для автоматизированного выявления параметров ответа мембранного потенциала в электрофизиологических измерениях на клеточном уровне.

### **6. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания**

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД.

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

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

*а) основная литература:*

Рубин А. Б. - Биофизика: учеб. для студентов биол. специальностей вузов: в 2 кн. Кн. 1. - М.: Высшая школа, 1987. 319 с. (108 экз. в библиотеке ННГУ)

Рубин А. Б. - Биофизика: учеб. для студентов биол. специальностей вузов: в 2 кн. Кн. 2. - М.: Высшая школа, 1987. 302 с. (90 экз. в библиотеке ННГУ)

Волькенштейн М.В. Биофизика. С.-Пб.: М., Краснодар: «Лань», 2012 г. Доступно на ЭБС «Лань. Режим доступа <https://e.lanbook.com/reader/book/3898/#594>.



Ризниченко Г.Ю. Математическое моделирование биологических процессов. Модели в биофизике и экологии. М. Из-во Юрайт, 2017. Доступно на ЭБС «Юрайт». Режим доступа: <https://biblio-online.ru/viewer/F6B58D55-D654-4E69-9ECB-D14394A2CA3E>.

*б) дополнительная литература:*

Photosynthesis in silico. Understanding Complexity from Molecules to Ecosystems. Laisk A., Nedbal L., Govindjee (Eds.) // Advances in Photosynthesis and Respiration. 2009. V. 29. <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-1-4020-9237-4>.

Lambers H., Chapin III F.S., Pons T.L. Plant Physiological Ecology. Second Edition. New York: Springer, 2008. <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-0-387-78341-3>.

Wellens T., Shatokhin V., Buchleitner A. Stochastic resonance // Rep. Prog. Phys. 2004. V. 67. P. 45–105. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0034-4885/67/1/R02/pdf>.

Tessone C.J., Mirasso C.R., Toral R., Gunton J.D. Diversity-Induced Resonance // Phys. Rev. Lett. 2006. V. 97. P. 194101. <https://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.97.194101>.

*в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:*

Среда разработки R

Microsoft Windows Professional 7 Russian

ЭБС «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/>,

ЭБС «ZNANIUM.COM» <http://znanium.com/>,

ЭБС «Юрайт» <https://www.biblio-online.ru/>,

Научная электронная библиотека «E-library.ru» <https://elibrary.ru/defaultx.asp>.

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

Учебные аудитории для проведения занятий семинарского типа, текущего контроля и промежуточной аттестации, укомплектованные специализированной мебелью и техническими средствами обучения (доска, 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 ОС ННГУ.

Автор \_\_\_\_\_ к.б.н., доц. каф. биофизики Сухов В.С.

Рецензент \_\_\_\_\_ д.б.н., доц. каф. экологии Якимов В.Н.

Заведующий кафедрой биофизики \_\_\_\_\_ д.б.н. Воденев В.А.

**Программа одобрена** на заседании Методической комиссии Института биологии и биомедицины от 06.09.2022 года, протокол №1.