

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

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Математическое моделирование биологических процессов

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

06.04.01 - Биология

---

Направленность образовательной программы

Биофизика

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.01 Математическое моделирование биологических процессов относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен к постановке и разработке актуальной научной проблемы, научному анализу данных и их обобщению в контексте ранее накопленных в мировой науке знаний, аргументированном у 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: - проводить поиск и анализ информации в современных базах данных по избранной теме исследования, подбор методов исследования в соответствии с научными задачами</p> <p>ПК-1.3: Владеет: - навыками поиска и анализа научной информации, выбора методов исследования, формулировки выводов и рекомендаций</p>	<p>ПК-1.1: Знать основные типы математических моделей, используемых для описания живых систем, включая знания теоретических основ и принципов разработки математических моделей различного типа</p> <p>ПК-1.2: Уметь выбирать или формулировать модель, адекватные конкретной биологической задаче, формулировать уравнения, описывающие выбранную модель</p> <p>ПК-1.3: Владеть навыками разработки абстрагированного описания биологического процесса и последующей разработки его математической модели</p>	<p>Доклад</p> <p>Исследовательское задание</p> <p>Ситуационные задания</p> <p>Тест</p>	<p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p>

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	2

<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>0</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>28</b>
- КСР	<b>1</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>43</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b> <b>Зачёт</b>

### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	О Ф О	О Ф О	О Ф О	О Ф О	О Ф О
Основные типы математических моделей биологических процессов	18	0	7	7	11
Методы исследования математических моделей	18	0	7	7	11
Примеры математических моделей биологических процессов различного уровня	17	0	7	7	10
Разработка математического описания конкретного биологического процесса и его анализ	18	0	7	7	11
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	0	28	29	43

#### Содержание разделов и тем дисциплины

1. Основные типы математических моделей биологических процессов. Понятие модели процесса; особенности математических моделей и их основные типы. Универсальная роль математического моделирования в исследовательской деятельности. Регрессионные модели и модели на основе машинного обучения, область их применения, примеры. Качественные «механистические» модели, область их применения, примеры.. Количественные «механистические» модели, область их применения, примеры.. Основные этапы разработки математических моделей различных типов.

2. Методы исследования математических моделей. Построение регрессионных моделей методом наименьших квадратов; оценка эффективности описания. Примеры аналитических решений дифференциальных уравнений и их систем (решение систем линейных дифференциальных уравнений, решение уравнений в частных производных). Качественное решение дифференциальных уравнений и их

систем, включая решение уравнение с распределенными в пространстве параметрами. Численное решение дифференциальных уравнений и их систем, включая модели с описанием случайных процессов. Специализированные и универсальные программные инструменты для исследования биологических процессов, методом математического моделирования.

3. Примеры математических моделей биологических процессов различного уровня. Многообразие подходов к математическому моделированию. Модели на основе термодинамического подхода. Модели на основании описания молекулярной динамики. Модели на основании описания броуновской динамики. Многокамерные математические модели. Математическое моделирование фотосинтеза; различные подходы и различные временные шкалы. Математическое моделирование процессов мембранного транспорта. Математическое моделирование электрогенеза. Математическое моделирование водного обмена.

4. Разработка математического описания конкретного биологического процесса и его анализ. Выявление в области научных интересов студента задачи, которая может быть решена с использованием математического моделирования. Разработка схемы модели, подходов к ее описанию и анализу. Формулировка уравнений модели и подходов к ее параметризации, верификации и анализу.

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

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Рабочая программа дисциплины "Математическое моделирование биологических процессов".  
ФОС дисциплины

#### **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

**5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

**5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Доклад) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

*Примеры тем докладов:*

Численные методы решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ).

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 JIP-теста с использованием программного обеспечения M-PEA-2 (Hansatech Instruments Ltd, Великобритания).

**Критерии оценивания (оценочное средство - Доклад)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Доклад соответствует тематике, отражает современное состояние проблемы.

Оценка	Критерии оценивания
не зачтено	Доклад не соответствует тематике и/или не отражает современное состояние проблемы.

### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Исследовательское задание) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

Исследовательское задание студента заключается в разработке математического описания конкретного биологического процесса, связанного с его научной работой. При этом должны быть выполнены **следующие этапы**:

*Обязательные*

1. Выбран биологический процесс, связанные с областью научных исследований студента, обоснована актуальность моделирования и ожидаемые результаты моделирования, сформулированы цель и задачи работы.
2. Выбран тип модели, в наибольшей степени соответствующий целям и задачам моделирования.
3. Разработана схема модели и предложены ее уравнения.
4. Найдены параметры модели.
5. Подготовлен план анализа математической модели, включая предложения по использованию методов решения модели и программных инструментов для такого решения.

*Желательные (при их реализуемости в рамках ограниченного курсом времени)*

6. Проведено решение разработанной модели с использованием современных программных средств и ее верификация с использованием собственных и (или) литературных данных. При необходимости – осуществлена коррекция модели.
7. Проведен анализ разработанной математической модели с использованием современных программных средств.
8. Получены новые знания об исследуемом процессе.

**Критерии оценивания (оценочное средство - Исследовательское задание)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Рассмотрена актуальное направление применения математического моделирования в области научных интересов студента. Сформулированы основные характеристики модели, предложены подходы к ее анализу.
не зачтено	Не сформулировано направление применения математического моделирования в области научных интересов студента и(или) не сформулированы основные характеристики модели и подходы к ее анализу.

### 5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Ситуационные задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

*Задание 1.*

Исследуется влияние температуры, количества осадков и загрязнения тяжелыми металлами на биохимические параметры березы в городских условиях. Получен большой массив данных для различных городских участков за много лет. Цель исследования: построение модели, позволяющей количественно прогнозировать состояние деревьев при различном уровне загрязнения. Физиологические механизмы влияния загрязнителей неизвестны. Предположите, модель какого типа оптимально использовать для решения этой задачи. Опишите возможные подходы к созданию такой модели.

*Ответ: Задача количественного прогнозирования исключает использование качественных моделей. Отсутствие знаний о физиологических механизмах действия загрязнителей – исключает использование имитационных моделей. Таким образом – модель должна быть регрессионной. При этом наиболее простой и надежной является линейная модель, в рамках которой исследуемые показатели представляют собой линейную функцию от действующих факторов. Линейные коэффициенты могут быть найдены методом наименьших квадратов, эффективность модели может быть оценена по коэффициенту детерминации.*

#### Задание 2.

Дана упрощенная реакция . Постройте на основании химической реакции, дифференциальные уравнения (систему уравнений) и решите ее аналитически для концентрации  $\text{CO}_2$ . При этом принять, что суммарная концентрация  $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и  $\text{HCO}_3^-$  - постоянна и равна  $S$ , и что в начальный момент времени концентрация  $\text{CO}_2$  равна  $S$ .

Ответ:

$$[\text{CO}_2] = \frac{[\text{H}^+]}{[\text{H}^+] + k_-/k_+} + (S - \frac{[\text{H}^+]}{[\text{H}^+] + k_-/k_+}) \exp[-(k_+ + k_-)t]$$

#### Задание 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.

Ответ:  $40.8 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$  (, )

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Ситуационные задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ситуационная задача решена на "удовлетворительно" или выше
не зачтено	Ситуационная задача решена на "неудовлетворительно" или "плохо"

#### 5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

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. 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.

4. 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.

5. Специализированным программным инструментом для анализа моделей биологических систем является:

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

6. Среди нижеперечисленных программных продуктов языком программирования является:

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

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ на 60% вопросов и более

Оценка	Критерии оценивания
не зачтено	Ответ менее чем на 60% вопросов

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения 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 несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	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	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. 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	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач



### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	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
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	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»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

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. Качественные модели биологических процессов. Общие особенности. Область применения качественных моделей и их ограничения. Примеры качественных моделей.
5. Имитационные модели биологических процессов. Общие особенности данной группы моделей. Этапы их разработки и подходы к параметризации и верификации. Область применения имитационных моделей. Примеры имитационных моделей.

6. Модели на основе термодинамического подхода как пример обобщенного описания процессов в биосистемах. Область применения и исходные допущения таких моделей. Примеры.
7. Некоторые подходы в рамках моделирования молекулярной динамики. Область применения таких моделей. Подходы к ускорению их численного анализа.
8. Моделирование на основе броуновской динамики. Простейшие модели, описывающие пару "фермент-субстрат". Развитие моделей на основе броуновской динамики. Модели сложных ансамблей ферментов в электронно-транспортных цепях.
9. Математическое моделирование фотосинтеза. Использование различных подходов и временных шкал при таком моделировании. Примеры.
10. Математическое моделирование процессов мембранного транспорта. Описание отдельных систем активного и пассивного транспорта. Подходы к описанию взаимодействия таких систем.
11. Математическое моделирование процессов биоэлектrogenеза. Модели электрогенеза в нервных и мышечных клетках. Модели электрогенеза у высших и низших растений. Пространственные модели распространения электрических сигналов.
12. Математическое моделирование процессов водного обмена у животных и растений. Общие принципы такого моделирования и лежащие в его основе упрощения. Примеры моделирования водного обмена у животных объектов. Примеры моделирования водного обмена у растений.
13. Качественные математические модели, позволяющие анализировать роль флуктуаций в живых системах. Модели генерации и усиления шума в биосистемах. "Конструктивная" роль шума в живых системах и механизмы, лежащие в ее основе. Стохастический резонанс. Стохастическая фокусировка. Индуцированный разнообразием резонанс.
14. Популяционные и экологические модели. Область применения. Ограничения. Примеры.
15. Методы аналитического решения систем дифференциальных уравнений.
16. Методы качественного решения «точечных» систем дифференциальных уравнений.
17. Методы качественного решения систем дифференциальных уравнений с распределенными в пространстве параметрами.
18. Методы численного решения дифференциальных уравнений.
19. Современные программные инструменты для моделирования и анализа фотосинтеза на различных уровнях и лежащие в их основе математические модели.
20. Современные программные инструменты для моделирования различных аспектов водного обмена и лежащие в их основе математические модели. Программные инструмент OnGuard.

#### **Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ на оценку не ниже "удовлетворительно"
не зачтено	Ответ на оценку ниже "удовлетворительно"

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

## Основная литература:

1. Рубин Андрей Борисович. Биофизика : учеб. для студентов биол. специальностей вузов : в 2 кн. Кн. 1. Теоретическая биофизика. - М. : Высшая школа, 1987. - 319 с. : ил. - 1.30., 108 экз.
2. Рубин Андрей Борисович. Биофизика : учеб. для студентов биол. специальностей вузов : в 2 кн. Кн. 2. Биофизика клеточных процессов. - М. : Высшая школа, 1987. - 302, [1] с. : ил. - 1.30., 93 экз.
3. Рубин А. Б. Кинетика биологических процессов : [учеб. пособие для вузов по специальности "Биология"]. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Изд-во МГУ, 1987. - 299, [1] с. : ил. - 0.85., 2 экз.

## Дополнительная литература:

1. Ризниченко Галина Юрьевна. Биофизическая динамика продукционных процессов. - М. ; Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2004. - 464 с. - (Биофизика. Математическая биология / гл. ред. А. Б. Рубин ; редсовет: А. В. Борисов [и др.]). - ISBN 5-93972-360-8 : 51.00., 2 экз.
2. Ризниченко Галина Юрьевна. Математические модели биологических продукционных процессов : [учеб. пособие для вузов по направлениям "Прикл. математика и информатика", "Биология" и специальности "Мат. моделирование"]. - М. : Изд-во МГУ, 1993. - 299 с. - 300.00., 1 экз.
3. Варфоломеев Сергей Дмитриевич. Биокинетика : практ. курс : учеб. пособие. - М. : Гранд : Фаир-Пресс, 1999. - 720 с. : ил. - ISBN 5-8183-0050-1 : 97.50., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

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 учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: 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.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 06.04.01 - Биология.

Автор(ы): Сухов Владимир Сергеевич, кандидат биологических наук, доцент.

Рецензент(ы): Якимов Василий Николаевич, доктор биологических наук.

Заведующий кафедрой: Воденеев Владимир Анатольевич, доктор биологических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 05.12.23 г., протокол № 2.