

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
решением ученого совета ННГУ
протокол от
«16» июня 2021 г. № 8

Рабочая программа дисциплины

***Кинетика и термодинамика
биологических процессов***

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования
бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность
06.03.01 Биология

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы
Биология (общий профиль)

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2022 год

1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.06 «Кинетика и термодинамика биологических процессов» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины, модули» ООП по направлению подготовки 06.03.01 Биология.

Целями освоения дисциплины являются:

- изучение основ моделирования жизнедеятельности биологических систем, включая методы математического анализа построенных моделей,
- изучение свойств открытых термодинамических систем на разной степени удаления от равновесия (линейная и нелинейная термодинамика),
- закрепление и углубление понимания применения термодинамического подхода к описанию живых систем.
- изучение современных методов качественного анализа, позволяющих в сочетании с численными методами наиболее полно исследовать возможные сценарии поведения исследуемых систем.

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 осуществлять информационный поиск по выбранной научной тематике в области биологии, излагать и критически анализировать получаемую информацию, представлять результаты исследований в виде презентаций, научно-технических отчетов, обзоров, аналитических карт, пояснительных записок, публикаций в научных изданиях; поддерживать дискуссию по актуальным вопросам	<p>ПК-1.1. Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - правила сбора и анализа информации по теме исследования, способы и правила представления результатов в письменной и устной формах; <p>ПК-1.2. Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - планировать и осуществлять поиск научной информации, оформлять результаты исследования для представления в письменной и устной формах; <p>ПК-1.3. Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - опытом поиска, анализа, представления и обсуждения результатов исследования. 	<p><i>Знает</i> правила сбора и анализа информации по теме исследования, способы и правила представления результатов в письменной и устной формах в области кинетики и термодинамики биологических процессов;</p> <p><i>Умеет</i> планировать и осуществлять поиск научной информации, оформлять результаты исследования для представления в письменной и устной формах в области кинетики и термодинамики биологических процессов;</p> <p><i>Владеет</i> опытом поиска, анализа, представления и обсуждения результатов исследования в области кинетики и термодинамики биологических процессов.</p>	Контрольные вопросы, тесты

биологии и экологии			
ПК-2 Способен проводить эксперименты, наблюдения, измерения по выбранной научной тематике, эксплуатировать современную аппаратуру и оборудование для выполнения научно-исследовательских полевых и лабораторных биологических работ.	<p>ПК-2.1. Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - стандартные методики и правила эксплуатации оборудования при проведении полевых и лабораторных работ по выбранной научной тематике; <p>ПК-2.2. Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - подбирать методики, эксплуатировать современное оборудование при выполнении полевых и лабораторных работ по выбранной научной тематике; <p>ПК-2.3. Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методиками обработки материалов, имеет опыт использования современного оборудования при выполнении полевых и лабораторных работ по выбранной научной тематике. 	<p><i>Знает</i> теоретические основы, современные достижения и проблемы биофизики в области кинетики и термодинамики биологических процессов;</p> <p><i>Умеет</i> применять знания теоретических основ биофизики в области кинетики и термодинамики биологических процессов в профессиональной деятельности</p> <p><i>Владеет</i> методами математического моделирования биологических процессов на основе их кинетики и термодинамики</p>	Контрольные вопросы, задачи, индивидуальная работа

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	4 ЗЕТ
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	64
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа	16
- занятия лабораторного типа	16
самостоятельная работа	42
КСР	2
Промежуточная аттестация – экзамен	36

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 из них	Самостоятельная работа

форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа		Всего	
Тема 1 Элементы качественной теории дифференциальных уравнений	9	3	1	1		5	3
Тема 2 Биологические системы, описываемые динамическими системами 1-ого порядка	9	3	1	1		5	3
Тема 3 Биологические системы, описываемые динамическими системами 2-ого порядка.	9	3	1	1		5	4
Тема 4 Анализ устойчивости линейных систем 2-ого порядка.	9	3	2	2		7	4
Тема 5 Анализ устойчивости нелинейных систем 2-ого порядка.	9	3	2	2		7	4
Тема 6 Биологические триггерные системы. Автоколебания в биологии. Метод разделения времен в биологии.	9	3	2	2		7	4
Тема 7 Базовые понятия и законы термодинамики, основные термодинамические параметры и их расчет.	26	7	3	3		13	10
Тема 8 Применение второго закона термодинамики к открытым системам, линейная термодинамика.	26	7	4	4		15	10
Итого	106	32	16	16		64	42

Практические занятия (семинарские занятия, лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает: решение задач, выполнение индивидуальных заданий по профилю профессиональной деятельности и направленности образовательной программы.

На проведение практических занятий (семинарских занятий и лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 32 часа.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП
- выполнение научно-исследовательских задач профессиональной деятельности: участие в планировании, проведении и представлении результатов фундаментальных и практических научных исследований по актуальным проблемам в соответствующей области знания
- компетенций:.

ПК-1 – Способен осуществлять информационный поиск по выбранной научной тематике в области биологии, излагать и критически анализировать получаемую информацию, представлять результаты исследований в виде презентаций, научно-технических отчетов, обзоров, аналитических карт, пояснительных записок, публикаций в научных изданиях; поддерживать дискуссию по актуальным вопросам биологии и экологии.

ПК-2 Способен проводить эксперименты, наблюдения, измерения по выбранной научной тематике, эксплуатировать современную аппаратуру и оборудование для выполнения научно-исследовательских полевых и лабораторных биологических работ

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа и лабораторного типа, индивидуальных консультаций.

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 и лабораторных занятиях;
- подготовка к тестам;
- подготовка к экзамену.

Методические указания по подготовке студентов к текущему и промежуточному контролю по дисциплине «Кинетика и термодинамика биологических процессов»

Подготовка к устному опросу, тестированию, решению задач

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;
- 4) тщательно изучить лекционный материал;
- 5) повторить материалы предшествующих дисциплин.

Подготовка к экзамену

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проходит в форме **экзамена**. Подготовка к экзамену является концентрированной систематизацией всех полученных знаний по дисциплине «Кинетика и термодинамика биологических процессов».

В начале семестра рекомендуется внимательно изучить перечень вопросов к экзамену 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:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень	Шкала оценивания сформированности компетенций
----------------	--

сформированности компетенций (индикатора 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, 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.	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 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	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 оценки при промежуточной аттестации

Оценка	Уровень подготовки
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

зачтено	отлично	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»
	очень хорошо	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»
	хорошо	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»
	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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

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

5.2.1 Контрольные вопросы

№	Вопросы	Код формируемой компетенции
1.	Динамические системы 1-ого порядка.	ПК-1
2.	Нахождение состояний равновесия.	ПК-2
3.	Исследование состояний равновесия на устойчивость.	ПК-1
4.	Динамические системы 2-ого порядка.	ПК-1
5.	Определение типа устойчивости состояний равновесия по линеаризованным уравнениям с помощью характеристического уравнение.	ПК-2
6.	Особые точки типа узел, устойчивый узел и неустойчивый узел.	ПК-1
7.	Особые точки типа фокус, устойчивый фокус и неустойчивый фокус.	ПК-1
8.	Особые точки типа седло.	ПК-1
9.	Особые точки типа центр.	ПК-1
10.	Анализ устойчивости нелинейных систем 2-ого порядка.	ПК-1
11.	Построение фазовых портретов систем с использованием дополнительно метода изоклин.	ПК-2

12.	Построение бифуркационных диаграмм для систем с параметром.	ПК-2
13.	Термодинамика живых системы – как термодинамика необратимых процессов.	ПК-1
14.	Кинетическое описание биосистем. Точечные системы и системы с распределенными в пространстве параметрами. Аналитические методы решения дифференциальных уравнений.	ПК-1
15.	Методы качественного анализа систем дифференциальных уравнений. Методы численного решения дифференциальных уравнений.	ПК-2
16.	Ограничения термодинамического описания открытых систем. Локальноравновесные и частичноравновесные состояния.	ПК-1
17.	Применимость первого принципа термодинамики к живым системам. Энтальпия. Закон Гесса.	ПК-1
18.	Применимость второго принципа термодинамики к живым системам. Стохастиче-ский характер второго принципа. «Бильярд» Больцмана и «бильярд» Синая. Воз-можность отклонения от второго принципа в живых системах.	ПК-1
19.	Энергия Гиббса и энергия Гельмгольца: предпосылки, допущения, методы оценки.	ПК-1
20.	Второй принцип термодинамики в открытых системах. Сродство химической реакции. Диссипативная функция системы. Термодинамическое сопряжение.	ПК-1
21.	Линейное описание термодинамических систем вблизи химического равновесия: линеаризация, примеры линейных функций потока от силы, соотношения Онзагера.	ПК-1
22.	Подходы к описанию цепочек химических реакций в рамках линейной термодинамики. Справедливость соотношений Онзагера для таких систем.	ПК-2
23.	Производство энтропии в стационарных состояниях. Теорема Пригожина.	ПК-1
24.	Термодинамическая устойчивость равновесных состояний.	ПК-1
25.	Термодинамическая устойчивость стационарных состояний вблизи равновесия.	ПК-1
26.	Приложение линейной термодинамики к процессам роста и развития: теория Пригожина и Виам, ее критика.	ПК-2
27.	Особенности производства энтропии вблизи и на удалении от состояний равновесия.	ПК-1
28.	Особенности стационарных состояний и динамики термодинамических систем вдали от равновесия.	ПК-1
29.	Диссипативные структуры и осцилляции: условия возникновения, типы, биологические примеры.	ПК-2
30.	Термодинамическая трактовка информации: описание и критика.	ПК-1

5.2.2. Типовые тестовые задания для оценки компетенции ПК-1

Примеры тестовых заданий

1. В особых (стационарных) точках системы дифференциальных уравнений скорость изменения ее переменных:

А. положительна.

- Б. отрицательна.
- В. равна нулю.
- Г. может иметь любой знак.

2. Если коэффициенты λ_1 и λ_2 при применении критерия устойчивости Ляпунова к особой точке в системе из двух уравнений имеют разный знак, то такая особая точка называется:

- А. седло.
- Б. центр.
- В. устойчивый узел.
- Г. неустойчивый узел.

3. Для построения фазового портрета системы из трех уравнений требуется фазовое пространство с:

- А. одним измерением.
- Б. двумя измерениями.
- В. тремя измерениями.
- Г. четырьмя измерениями

4. Первый принцип термодинамики является частным случаем закона сохранения:

- А. количества вещества.
- Б. спина.
- В. массы.
- Г. энергии.

5. Кажущееся отклонение от второго принципа термодинамики в ходе фотосинтеза объясняется:

- А. стохастическим характером реализации этого принципа.
- Б. получением энергии из среды.
- В. высокой сложностью фотосинтетических реакций.
- Г. неравновесным характером фотосинтетических реакций.

6. Стационарные состояния вблизи от термодинамического равновесия системы являются:

- А. устойчивыми.
- Б. неустойчивыми.
- В. нейтральными.
- Г. различными по устойчивости в зависимости от типа системы.

5.2.3. Типовые задачи для оценки компетенции ПК-2

Примеры задач

1. Качественно решите систему дифференциальных уравнений, описывающих конкуренцию двух видов (X и Y) в среде с неограниченными ресурсами:

$$\frac{dX}{dt} = k_g^1 X - k_c XY$$

$$\frac{dY}{dt} = k_g^2 Y - k_c XY$$

где k_g^1 и k_g^2 – константы скорости прироста видов, k_c – константа скорости, отражающая конкуренцию двух видов.

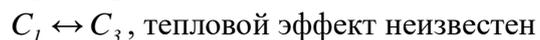
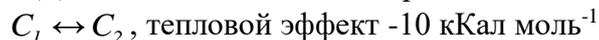
2. Качественно решите систему дифференциальных уравнений ФитцХью-Нагумо, упрощенно описывающую генерацию потенциала действия:

$$\frac{dX}{dt} = X - X^3 - Y$$

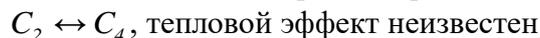
$$\frac{dY}{dt} = e(Y - a)$$

где X и Y – переменные, отражающие мембранный потенциал и регуляторные процессы при потенциале действия, a – константа, отражающая порог генерации потенциала действия, e – малый параметр, обеспечивающий более медленное изменение управляющих параметров по отношению к потенциалу.

3. Дана система химических реакций:



$C_2 \leftrightarrow C_3$, в ходе реакции происходит изменение окислительно-восстановительного потенциала на +100 мВ и перенос заряда -2.



Определите, считая применимым закон Гесса:

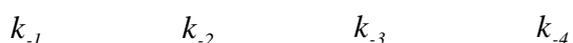
а) общий тепловой эффект реакции $C_1 \leftrightarrow \dots \leftrightarrow C_4$ и направление ее самопроизвольного протекания;

б) тепловые эффекты реакций $C_1 \leftrightarrow C_3$ и $C_2 \leftrightarrow C_4$

4. Дана система химических реакций:



докажите применимость для нее



соотношений Онзагера.

5.2.4. Индивидуальная работа студентов для оценки сформированности компетенции ПК-2

Для оценки сформированности владений будут использованы индивидуальные работы студентов. Такая работа подготавливается самостоятельно, интервал между назначением задания и контролем не менее двух недель. Контроль осуществляется путем индивидуальных консультаций в ходе выполнения проекта и представления полученных результатов в виде доклада с использованием презентации и ответов на вопросы в течение 15-20 минут. На стадии работы над индивидуальным заданием может быть использована любая необходимая литература, на стадии представления результатов могут быть использованы лишь материалы, подготовленные докладчиком.

Типовые темы индивидуальных работ студентов

1. Опираясь на знания кинетики биологических процессов, а также на знания пройденных курсов, необходимо предложить проект разработки модели популяции рыбы в акватории, включая обоснование переменных, параметров и конкретных уравнений модели, формирования предложений по верификации модели и по методам ее анализа, а также формулировку возможных областей ее практического применения и/или применения для целей фундаментальной науки.

2. Опираясь на знания кинетики биологических процессов, а также на знания пройденных курсов, необходимо предложить проект разработки модели распространения эпидемии в человеческой популяции, включая обоснование переменных, параметров и конкретных уравнений модели, формирования предложений по верификации модели и по

методам ее анализа, а также формулировку возможных областей ее практического применения и/или применения для целей фундаментальной науки.

3. Опираясь на знания термодинамики биологических процессов, а также на знания пройденных курсов, предложить проект разработки модели для оценки энергетической эффективности фотосинтеза, включая обоснование используемых элементов и конкретных уравнений модели, формирование предложения по верификации модели и по методам ее анализа, а также формулировку возможных областей ее практического применения и/или применения для целей фундаментальной науки.

4. Опираясь на знания термодинамики и кинетики биологических процессов, а также на знания пройденных курсов, необходимо предложить проект разработки модели возникновения диссипативных структур по типу стоячей волны или бегущей волны в определенной живой системе (на выбор студента), включая обоснование переменных, параметров и конкретных уравнений модели, формирования предложения по верификации модели и по методам ее анализа, а также формулировку возможных областей ее практического применения и/или применения для целей фундаментальной науки.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Рубин А. Б. - Биофизика: учеб. для студентов биол. специальностей вузов: в 2 кн. Кн. 1. - М.: Высшая школа, 1987. 319 с. (113 экз. в библиотеке ННГУ)
2. Рубин А. Б. - Биофизика: учеб. для студентов биол. специальностей вузов: в 2 кн. Кн. 2. - М.: Высшая школа, 1987. 302 с. (98 экз. в библиотеке ННГУ)
3. Артюхов В.Г., Ковалева Т.А., Наквасина М.А., Башарина О.В., Путинцева О.В. Биофизика. М.: Академический проект, 2013. (20 экз. в библиотеке ННГУ)
4. Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С. Математическое моделирование в биофизике. М.: Наука, 1975. (5 экз. в библиотеке ННГУ)

б) дополнительная литература:

1. Рубин А.Б., Пытьева Н.Ф. Ризниченко Г.Ю. Кинетика биологических процессов. М.: Из-во МГУ, 1987. (3 экз. в библиотеке ННГУ)
2. Пригожин И. От существующего к возникающему: время и сложность в физических науках. М.: Наука, 1985. (3 экз. в библиотеке ННГУ)
3. Lindner B., Garcia-Ojalvo J., Neiman A., Schimansky-Geier L. Effects of noise in excitable systems // Physics Reports. 2004. V. 392. P. 321–424.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0370157303004228#>)

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- <http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/2010/79.pdf>.
ЭБС «Консультант студента» <http://www.studmedlib.ru/>,
ЭБС «ZNANIUM.COM» <http://znanium.com/>,
ЭБС «Юрайт» <https://www.biblio-online.ru/>,
Студенческая электронная библиотека «StudentLibrary» <http://www.studentlibrary.ru/>,
Научная электронная библиотека «E-library.ru» <https://elibrary.ru/defaultx.asp>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа, текущего контроля и промежуточной аттестации, укомплектованные специализированной мебелью и демонстрационным оборудованием (доска, переносное мультимедийное 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 _____ к.б.н., доц. каф. биохимии и биотехнологии Сеницына Ю.В.

Заведующий кафедрой _____ д.б.н., доцент Воденев В.А.

Программа одобрена на заседании Методической комиссии Института биологии и биомедицины от 24.02.2021 года, протокол № 4.