

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
биологической и медицинской  
физики**

**Д.В. Кузьмин**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Молекулярная цитогенетика
<b>по направлению:</b>	Биология
<b>профиль подготовки:</b>	Биология и биоинформатика Физтех-школа Биологической и Медицинской Физики кафедра геномики и биотехнологии растений
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: А.А. Соловьев, д-р биол. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры геномики и биотехнологии растений 20.02.2025

## Аннотация

Является важнейшей дисциплиной, исследующей молекулярные основы классической биологии: зоологии, ботаники, микробиологии и т.д. Служит базой для проведения исследований в области молекулярной генетики и структурной биологии. Необходима для усвоения курсов по биоинформатике, структурному анализу биологических молекул, генетической, белковой и метаболической инженерии. Для освоения требуется знать неорганическую и органическую химию, биохимию, строение клетки и желательно классическую биологию.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- овладение теоретической базой данных о закономерностях, определяющих структуру и функции ДНК, механизмы хранения, передачи и реализации генетической информации, структуру белков, их агрегатное состояние и многообразные функции в клетках. Помимо этого, предполагается освоение материала, необходимого для понимания фундаментальных основ конструирования функциональных единиц ДНК методами генетической инженерии и направленного мутагенеза, апробирования экспрессии новых генов в реальных условиях жизнедеятельности клеток.

#### Задачи дисциплины

- изучение структуры и функции ДНК, механизмов хранения, передачи и реализации генетической информации;  
- освоение методов выделения, очистки и характеристики ферментативной активности белков, методов их модификации, процессинга и деградации.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен изучать, анализировать, использовать биологические объекты и процессы, основываясь на математических, физических, химических, биологических законах, закономерностях и взаимосвязях	ОПК-1.1 Умеет анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-1.2 Владеет исследовательскими методами и способен использовать их при решении новых задач, применяя знания из различных областей науки (техники)
	ОПК-1.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, задач, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

Центральная догма молекулярной биологии; структура и функции ДНК; репликация ДНК у прокариот и эукариот; мутагенез; молекулярные механизмы репарации ДНК; общая рекомбинация; структуры Холлидея; особенности сайт-специфической ее роль в экспрессии генов у фагов; особенности структуры генома; мобильные элементы; кластеры и повторы в геноме.

Аминокислоты. Химическая модификация функциональных групп белков. Биохимические методы определения аминокислот и белков. Принципы выделения и очистки белков. Масс-спектрометрия белков. Методы и задачи протеомики. Структурные особенности пептидной связи. Вторичная структура белка. Основные мотивы, структурные модули и домены белковой молекулы. Формирование третичной структуры белка в процессе синтеза. Гидрофобное ядро. Роль дисульфидных связей. Понятие структурной классификации белков. Четвертичная структура. Основные классы белков. Методы изучения белок-белковых взаимодействий. Белки, включающие небелковые компоненты.

уметь:

- анализировать первичные последовательности нуклеиновых кислот и белков, использовать биоинформатические подходы для сравнительного анализа нуклеиновых кислот и белков, применять методы работы с нуклеиновыми кислотами;
- выделять и при необходимости очищать выделенные белки, определять их аминокислотный состав и физико-химические характеристики, пользоваться банком данных аминокислотных последовательностей для отнесения изучаемого белка к определенному семейству, уметь определять активность фермента и кинетические параметры гидролиза субстратов, анализировать и при необходимости разработать методы химической модификации белка.

владеть:

- использования основных баз данных нуклеотидных и аминокислотных последовательностей, проведения электрофореза, ПЦР, гибридизации, рестрикции, молекулярного клонирования;
- пользование методов и соответствующего оборудования для выделения и очистки белков (ВЭЖХ, электрофорез, спектрофотометрия), статистической обработки полученных результатов измерений, первичные навыки по синтезу аффинных сорбентов.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Предмет молекулярной биологии и генетической инженерии.	2			2
2	Общая схема функционирования клетки.	2			2
3	Основная догма молекулярной биологии.	2			2
4	Репликация ДНК Escherichia coli.	2			2
5	Репликоны.	2			2
6	Мутагенез.	2			2
7	Репарация ДНК.	2			2
8	Гомологичная рекомбинация.	2			2
9	Промоторы прокариот.	2			2
10	Промоторы эукариот.	2			2
11	Структура рибосомы.	2			2
12	Функционирование рибосомы.	2			2
13	Аминокислоты, свойства и основные реакции.	2			2
14	Ферменты.	2			2
15	Посттрансляционная модификация белка.	2			2
Итого часов		30			30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

##### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

## 1. Предмет молекулярной биологии и генетической инженерии.

Химическая и биологическая эволюция.

Зарождение жизни.

Естественный отбор и вероятность единственного решения. Тупиковые решения эволюции.

Основные таксономические группы живых систем.

Строение клетки про- и эукариот (сходства и различия).

Единство молекулярных механизмов живых систем. Основные классы биологических молекул: липиды, углеводы, белки, нуклеиновые кислоты.

Организация генома живых существ: хромосомы, плазмиды. Понятие гена. Генетический код.

## 2. Общая схема функционирования клетки.

Репликация ДНК, транскрипция, трансляция, структура и функции белка.

Понятие репликации: ДНК-полимеразы, репликация линейных и кольцевых молекул ДНК

Понятие транскрипции: РНК-полимеразы, информационная РНК и генетический код, транспортные РНК и аминоацил-тРНК-синтетазы

Понятие трансляции: рибосомы и трансляция, RBS и Cap сайты, химические реакции и общий энергетический баланс биосинтеза белка

Белки: ферменты, структурные, регуляторные.

## 3. Основная догма молекулярной биологии.

Репликация ДНК. В-форма ДНК. Затравка для ДНК-полимеразы, праймирование, фрагменты Оказаки. Ферменты, необходимые для репликации ДНК. Теломеры и центромеры эукариот, ориджины репликации бактерий. Репликация кольцевых молекул ДНК по Тета –типу и по типу катящегося колеса.

Транскрипция.

РНК-полимеразы. Регуляция активности промоторов прокариот. Терминаторы транскрипции прокариот. Особенности транскрипции эукариот.

Трансляция.

Общая схема биосинтеза белка. Информационные и транспортные РНК. Аминоацил-тРНК-синтетазы. Рибосома и трансляция. Энергетика биосинтеза белка.

## 4. Репликация ДНК Escherichia coli.

Реплисома.

Инициация раунда репликации.

Топологические проблемы репликации.

## 5. Репликоны.

Сегрегация репликонов по бактериальным клеткам.

Репликация плазмид, мобильных элементов, фагов и вирусов.

Особенности репликации в эукариотах. Теломеры и центромеры. Сегрегация хромосом. Понятие митоза и мейоза.

## 6. Мутагенез.

Спонтанный мутагенез. Скорость мутагенеза.

Индукцированный мутагенез.

Транспозонный мутагенез.

Понятие сайт-специфического мутагенеза.

## 7. Репарация ДНК.

Эксцизионная репарация.  
Репарация неспаренных нуклеотидов.  
SOS-ответ бактерий.

#### 8. Гомологичная рекомбинация.

Модель Холлидея.  
Белки рекомбинации. RecA и SOS-ответ.  
Специализированные системы рекомбинации.  
Сайт-специфическая рекомбинация. Незаконная рекомбинация.  
Рекомбинация в эукариотах. Кроссинговер.

#### 9. Промоторы прокариот.

Промоторы прокариот и регуляторные элементы. Системы регуляции прокариотических промоторов. Лактозный оперон. Арабинозный оперон. Система "Quorum sensing". Рибопереключатели.

#### 10. Промоторы эукариот.

Энхансеры и сайленсеры.  
Процессинг рРНК, тРНК и мРНК.  
Альтернативный сплайсинг.

#### 11. Структура рибосомы.

Рибосомная РНК и белки и их взаиморасположение.

#### 12. Функционирование рибосомы.

Функциональные активности и функциональные участки рибосомы.  
Элонгация.  
Инициация трансляции у прокариот, регуляция.  
Инициация трансляции у эукариот, особенности регуляции.  
Терминация трансляции.

#### 13. Аминокислоты, свойства и основные реакции.

Пептидная связь, пептиды.  
Выделение белков. Хроматография.  
Первичная структура белка. Методы определения первичной структуры белка. Определение N- и C- концевых аминокислот.  
Вторичная, третичная и четвертичная структура белка.  
Классификация белков.  
Глобины. Миоглобин, гемоглобин.

#### 14. Ферменты.

Классификация ферментов.  
Кинетика ферментативного катализа.  
Сериновые протеазы. Связывание субстрата. Каталитический механизм.  
Лизоцим.  
Алкогольдегидрогеназа.  
Лактатдегидрогеназа.  
Люциферазы.

## 15. Посттрансляционная модификация белка.

Шапероны. Протеазы. Гликозилазы. Киназы.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Молекулярная биология. Рибосомы и биосинтез белка, учебное пособие /А. С. Спирин. Москва, Лаборатория знаний, 2019

Литература предоставляется базовой организацией

1. Молекулярная биология : Структура рибосомы и биосинтез белка [Текст] : учеб. пособие для биол. спец. вузов / А. С. Спирин. — М. : Высшая школа, 1986.
2. Молекулярная биология. Структура и биосинтез нуклеиновых кислот., В. И. Агол, А. А. Богданов, В. А. Гвоздев, А. И. Грагеров, А. М. Колчинский, А. Д. Мирзабеков, В. Г. Никифоров, Москва «Высшая школа» 1990 г.

### Дополнительная литература

Литература предоставляется базовой организацией

1. Сингер, М. Гены и геномы: в 2 т. / М. Сингер, П. Берг. – М.: Мир, 1998.
2. Жимулев И.Ф. «Общая и молекулярная генетика». 2003
3. Патрушев Л.И. «Экспрессия генов». - М.: Наука. 2000
4. Хесин Р.Б. «Непостоянство генома». Наука 1984
5. Кларк, Д. Молекулярная биология / Д. Кларк, Л. Рассел. – М.: ЗАО «Компания КОНД», 2004. – 472 с.
6. Н. Lodish et al. "Molecular and Cell Biology", Freeman and Company, 4-nd edition, 2000; 5-nd edition, 2003.

## 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

[www.molbiol.ru](http://www.molbiol.ru)

<http://www.biosyn.com/Gizmo/Tools/Oligo/Oligonucleotide%20Properties%20Calculator.htm>

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

## 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;

– напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

– чтение рекомендованной литературы;

– проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;

– решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;

– подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**по направлению:** Биология  
**профиль подготовки:** Биология и биоинформатика  
Физтех-школа Биологической и Медицинской Физики  
кафедра геномики и биотехнологии растений  
**курс:** 1  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

**Разработчик:** А.А. Соловьев, д-р биол. наук



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен изучать, анализировать, использовать биологические объекты и процессы, основываясь на математических, физических, химических, биологических законах, закономерностях и взаимосвязях	ОПК-1.1 Умеет анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-1.2 Владеет исследовательскими методами и способен использовать их при решении новых задач, применяя знания из различных областей науки (техники)
	ОПК-1.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, задач, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Молекулярная цитогенетика» обучающийся должен:

### знать:

Центральная догма молекулярной биологии; структура и функции ДНК; репликация ДНК у прокариот и эукариот; мутагенез; молекулярные механизмы репарации ДНК; общая рекомбинация; структуры Холлидея; особенности сайт-специфической ее роль в экспрессии генов у фагов; особенности структуры генома; мобильные элементы; кластеры и повторы в геноме.

Аминокислоты. Химическая модификация функциональных групп белков. Биохимические методы определения аминокислот и белков. Принципы выделения и очистки белков. Масс-спектрометрия белков. Методы и задачи протеомики. Структурные особенности пептидной связи. Вторичная структура белка. Основные мотивы, структурные модули и домены белковой молекулы. Формирование третичной структуры белка в процессе синтеза. Гидрофобное ядро. Роль дисульфидных связей. Понятие структурной классификации белков. Четвертичная структура. Основные классы белков. Методы изучения белок-белковых взаимодействий. Белки, включающие небелковые компоненты.

### уметь:

- анализировать первичные последовательности нуклеиновых кислот и белков, использовать биоинформатические подходы для сравнительного анализа нуклеиновых кислот и белков, применять методы работы с нуклеиновыми кислотами;
- выделять и при необходимости очищать выделенные белки, определять их аминокислотный состав и физико-химические характеристики, пользоваться банком данных аминокислотных последовательностей для отнесения изучаемого белка к определенному семейству, уметь определять активность фермента и кинетические параметры гидролиза субстратов, анализировать и при необходимости разработать методы химической модификации белка.

### владеть:

- использования основных баз данных нуклеотидных и аминокислотных последовательностей, проведения электрофореза, ПЦР, гибридизации, рестрикции, молекулярного клонирования;
- пользование методов и соответствующего оборудования для выделения и очистки белков (ВЭЖХ, электрофорез, спектрофотометрия), статистической обработки полученных результатов измерений, первичные навыки по синтезу аффинных сорбентов.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Примеры тем курсовых работ:

1. Мутагенез. Спонтанный мутагенез. Скорость мутагенеза. Индуцированный мутагенез. Понятие сайт-специфического мутагенеза.
2. Репарация ДНК. Эксцизионная репарация. Репарация неспаренных нуклеотидов.
3. Специализированные системы рекомбинации. Сайт-специфическая рекомбинация. Незаконная рекомбинация.
4. Выделение белков. Хроматография.
5. Репарация ДНК.

6. Гомологичная рекомбинация.
7. Промоторы эукариот.
8. Промоторы прокариот.
9. Структура рибосомы.
10. Функционирование рибосомы.
11. Аминокислоты, свойства и основные реакции.

Для промежуточной аттестации в ходе семестра всеми обучающимися подготавливаются доклады по предложенным преподавателем научным статьям. Сделанный успешный доклад необходим для получения допуска до экзамена.

#### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

1.  
Химическая и биологическая эволюция.  
Наследственность, изменчивость и естественный отбор.  
Основные таксономические группы живых систем.  
Строение клетки про- и эукариот (сходства и различия).  
Единство молекулярных механизмов живых систем (примеры).  
Организация генома живых существ: хромосомы, ДНК плазмид и митохондрий, плазмиды.
  2.  
Основные классы биологических молекул: липиды, углеводы, аминокислоты, нуклеотиды (примеры).  
А-форма, В-форма и Z-форма ДНК.  
Особенности геномной организации про- и эукариот.  
Генетический код. Понятие гена. Цистрон. Оперон. Регулон.  
Понятие митоза и мейоза. Редукционное деление, кроссинговер.
  3.  
Репликация ДНК: репликация линейных и кольцевых молекул ДНК,  
Затравка для ДНК-полимеразы, праймирование, фрагменты Оказаки.  
Ферменты, необходимые для репликации ДНК.  
Теломеры и центромеры эукариот, ориджины репликации бактерий.  
Репликация кольцевых молекул ДНК по Тета –типу и по типу катящегося колеса.
  4.  
Транскрипция. РНК-полимеразы, информационная РНК и генетический код,  
транспортные РНК, рибосомальные РНК  
Промоторы и терминаторы транскрипции прокариот, RBS сайт.  
Транскрипция эукариот (процессинг тРНК, рРНК и мРНК, сплайсинг, Cap сайт, polyA).
  5.  
Трансляция.  
Структура рибосомы. Рибосомная РНК и белки.  
Функциональные активности и функциональные участки рибосомы.  
Общая схема биосинтеза белка. Информационные и транспортные РНК.  
Аминоацил-тРНК-синтетазы.  
Энергетика биосинтеза белка.  
Инициация трансляции у прокариот, регуляция.  
Инициация трансляции у эукариот, особенности регуляции.  
Элонгация. Терминация трансляции.
- Примеры экзаменационных билетов:
- Билет 1.
- Химическая и биологическая эволюция.  
Наследственность, изменчивость и естественный отбор.  
Основные таксономические группы живых систем.

Строение клетки про- и эукариот (сходства и различия).

Единство молекулярных механизмов живых систем (примеры).

Организация генома живых существ: хромосомы, ДНК плазмид и митохондрий, плазмиды.

Билет 2

Основные классы биологических молекул: липиды, углеводы, аминокислоты, нуклеотиды (примеры).

A-форма, B-форма и Z-форма ДНК.

Особенности геномной организации про- и эукариот.

Генетический код. Понятие гена. Цистрон. Оперон. Регулон.

Понятие митоза и мейоза. Редукционное деление, кроссинговер.

#### Критерии оценивания

Оценка "отлично" (10 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (9 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (8 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочётами.

Оценка "хорошо" (7 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка "хорошо" (6 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка "хорошо" (5 баллов) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка "удовлетворительно" (4 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка "удовлетворительно" (3 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка "неудовлетворительно" (2 балла) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка "неудовлетворительно" (1 балл) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

#### **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

До экзамена допускаются обучающиеся успешно сдавшие зачёт по практикуму и подготовившие доклад и рассказавшие на занятии научную статью из числа предложенных преподавателем.

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 30-60 минут на подготовку ответа по билету с возможностью использования любых печатных материалов и интернет ресурсов.

Оценивание знаний производится в соответствии с вышеописанными критериями в соответствии с содержанием дисциплины. За отличный ответ по билету обучающийся может набрать 4 балла, ответ на 3 дополнительных вопроса даёт ещё три балла. По случайно открытой научной статье, взятой из числа доложенных в процессе обучения задаётся ещё три вопроса по которым можно набрать ещё 3 балла.