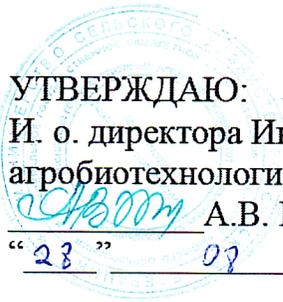


Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Шитикова Александра Васильевна  
Должность: И.о. директора Института агrobiотехнологии  
Дата подписания: 16.02.2025 10:46:05  
Уникальный идентификатор документа: fcd01ecb1fdf76891c5172fad12c3f716ce658



**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –**  
**МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА»**  
(ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева)

Институт агrobiотехнологии  
Кафедра биотехнологии



УТВЕРЖДАЮ:  
И. о. директора Института  
агrobiотехнологии  
*А.В. Шитикова* А.В. Шитикова  
“ 23 ” 02 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.01.03 «МЕТОДЫ РЕДАКТИРОВАНИЯ ГЕНОМА»**

для подготовки бакалавров

ФГОС ВО 3++

Направление: 19.03.01 Биотехнология  
Направленность: Биотехнология и молекулярная биология

Курс 3  
Семестр 5, 6

Форма обучения: заочная

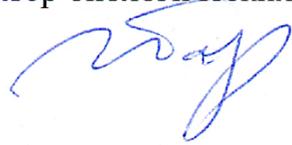
Год начала подготовки: 2025

Москва, 2025

Разработчик: Поливанова О.Б., кандидат биологических наук, доцент

 «28» 08 2025г.

Рецензент: Тараканов И.Г., доктор биологических наук, профессор

 «28» 08 2025г.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО, профессионального стандарта и учебного плана по направлению подготовки 19.03.01 Биотехнология.

Программа обсуждена на заседании кафедры \_\_\_\_\_  
протокол № 1 от «28» 08 2025г.

*биотехнологии*

И. о. зав. кафедрой Вертикова Е.А., доктор с.-х. наук, профессор

  
«28» 08 2025г.

Согласовано:

Председатель учебно-методической комиссии института агробиотехнологии  
Шитикова А.В., доктор с.-х. наук, профессор

  
«28» 08 2025г.

И. о. заведующего выпускающей кафедрой биотехнологии  
Вертикова Е.А., доктор с.-х. наук, профессор

  
«28» 08 2025г.

Заведующий отделом комплектования ЦНБ

   
(подпись)

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>АННОТАЦИЯ .....</b>	<b>4</b>
<b>1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>4</b>
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ .....</b>	<b>5</b>
<b>3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>5</b>
<b>4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>5</b>
4.1 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЁМКОСТИ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВИДАМ РАБОТ ПО СЕМЕСТРАМ .....	6
4.2 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	8
4.3 ЛЕКЦИИ/ЛАБОРАТОРНЫЕ/ПРАКТИЧЕСКИЕ/ ЗАНЯТИЯ .....	13
<b>5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ .....</b>	<b>16</b>
<b>6. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>16</b>
6.1. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ИЛИ ИНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ И НАВЫКОВ И (ИЛИ) ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	16
6.2. ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ОПИСАНИЕ ШКАЛ ОЦЕНИВАНИЯ .....	31
<b>7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>31</b>
7.1 ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	31
7.2 ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	32
<b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) .....</b>	<b>32</b>
<b>9. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ) .....</b>	<b>32</b>
<b>11. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>34</b>
Виды и формы отработки пропущенных занятий .....	34
<b>12. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯМ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>34</b>

## Аннотация

### **рабочей программы учебной дисциплины Б1.В.01.03 Методы редактирования генома для подготовки бакалавров по направлению 19.03.01 Биотехнология и молекулярная биология**

**Цель освоения дисциплины:** формирование у обучающихся системы знаний о современных методах редактирования геномов бактерий, грибов, растений и животных и особенностях их применения, а также потенциальном их использовании в различных областях, таких как медицина, сельское хозяйство, защита окружающей среды и научные исследования и разработки.

**Место дисциплины в учебном плане:** дисциплина «Методы редактирования генома» включена в часть, формируемую участниками образовательных отношений учебного плана 19.03.01 Биотехнология. На курсе «Методы редактирования генома» базируется изучение таких дисциплин, как «Основы микробной биотехнологии», «Основы бионанотехнологий», «Современные проблемы биотехнологии» и эффективная научно-исследовательская работа, в том числе над дипломной работой.

**Требования к результатам освоения дисциплины:** в результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции: ПКос-1.3; ПКос-1.5.

**Краткое содержание дисциплины:** в рамках изучения дисциплины дается представления о известных методах редактирования геномов и обсуждаются особенности применения данных методов в зависимости от принадлежности живого организма к той или иной таксономической группе (бактерии, эукариоты; растения, животные, грибы). Также рассматриваются перспективы применения методов редактирования генома в областях, связанных с биологическими науками, такими как медицина, сельское хозяйство, защита окружающей среды, производство продуктов питания и др., достижения в области технологий редактирования генома и их текущие и будущие применения. В ходе курса студенты знакомятся с применением методов редактирования геномов в контексте научных исследований для изучения функций генов и мутаций.

**Общая трудоемкость дисциплины/в т.ч. практическая подготовка:**  
108/4 часа (3 зачетных единицы)

**Промежуточный контроль:** экзамен.

### **1. Цель освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины «Методы редактирования генома» является формирование у обучающихся компетенций, обеспечивающих способность к решению различных прикладных задач в рамках исследований в области биологических дисциплин с применением современных методов редактирования генома. Обучающиеся должны иметь представление о применяемых в настоящее время методах редактирования генома и особенностями их реализации для различных живых организмах. Особое внимание уделяется применению данных методов в контексте научных исследований для дальнейшего понимания функций генов и механизмов

заболеваний, для исправления мутаций, вызывающих заболевания, модификации сельскохозяйственных растений и животных, а также, возможно, для изменения окружающей среды. Обсуждаются достижения в области технологий редактирования генома и их текущие и будущие применения, в частности технология CRISPR-Cas9.

## **2. Место дисциплины в учебном процессе**

Дисциплина «Методы редактирования генома» относится к формируемой участниками образовательных отношений части учебного плана. Дисциплина «Методы редактирования генома» реализуется в соответствии с требованиями ФГОС ВО, профессионального стандарта, ОПОП ВО и Учебного плана по направлению 19.03.01 Биотехнология.

Предшествующими курсами, на которых непосредственно базируется дисциплина «Методы редактирования генома» являются «Молекулярная биология», «Основы биоинформатики», «Общая генетика», «Цитология с основами цитогенетики». «Методы редактирования генома» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Основы биотехнологии животных», «Основы системной биологии», «Современные проблемы биотехнологии».

Особенностью дисциплины является подробное ознакомление обучающихся с методами редактирования генома, применимыми в настоящее время и особенностями их реализации в зависимости от организмов, подвергаемых редактированию. Всё это помогает в последующем эффективно планировать эксперименты по редактированию геномов растений, животных и микроорганизмов с учетом различных специфических факторов. Дисциплина является наукоемкой и комплексной, требующей базовых знаний прежде всего в области молекулярной биологии. Рабочая программа дисциплины «Методы редактирования генома» для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья разрабатывается индивидуально с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся.

## **3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся компетенций, представленных в таблице 1.

## **4. Структура и содержание дисциплины**

#### **4.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам**

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зач. ед. (108 часов), их распределение по видам работ семестрам представлено в таблице 2.

Таблица 1

## Требования к результатам освоения учебной дисциплины

№ п/п	Код компетенции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы компетенций	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:	
				знать	уметь
1.	ПКос-1	способен участвовать в проведении научных исследований в области биотехнологии с применением цифровых средств и технологий	ПКос-1.3	современные методы контроля качества биологических препаратов, производственных штаммов, вакцинных препаратов, диагностикумов	под руководством специалиста более высокой квалификации участвовать в проведении экспериментальных исследований в области разработки новых биотехнологических продуктов и биоматериалов, пищевых, кормовых и лекарственных средств, природоохранных (экологических) технологий сохранения природной среды и здоровья человека
				основные направления развития современных агротехнологий	формулировать гипотезу и планировать эксперимент
			ПКос-1.5	современными лабораторными методами исследований в области агротехнологий	современными лабораторными методами исследований в области агротехнологий

**ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ**

Таблица 2

**Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам**

Вид учебной работы	час. всего/*	Трудоёмкость	
		В т.ч. по семестрам	
		№ 5	№ 6
<b>Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану</b>	<b>108/2</b>		
<b>1. Контактная работа:</b>	<b>14,4/2</b>		
<b>Аудиторная работа</b>			
<i>в том числе:</i>			
<i>лекции (Л)</i>	6	2	4
<i>практические занятия (ПЗ)</i>	8/2		8/2
<i>лабораторные работы (ЛР)</i>			
<i>курсовая работа (проект) (КР/КП) (консультация, защита)</i>			
<i>консультации перед экзаменом</i>			
<i>контактная работа на промежуточном контроле (КРА)</i>	0,4		0,4
<b>2. Самостоятельная работа (СРС)</b>	<b>93,6</b>	<b>34</b>	<b>59,6</b>
<i>реферат/эссе (подготовка)</i>			
<i>курсовая работа/проект (КР/КП) (подготовка)</i>			
<i>расчётно-графическая работа (РГР) (подготовка)</i>			
<i>контрольная работа</i>			
<i>самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам и т.д.)</i>	85	34	51
<i>Подготовка к экзамену (контроль)</i>	8,6		8,6
<i>Подготовка к зачёту/ зачёту с оценкой (контроль)</i>			
Вид промежуточного контроля:		экзамен	

\* в том числе практическая подготовка (см учебный план)

**4.2 Содержание дисциплины**

**ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ**

Таблица 3

**Тематический план учебной дисциплины**

Наименование разделов и тем дисциплин (укрупнённо)	Всего	Аудиторная работа				Внеаудиторная работа СР
		Л	ПЗ/С всего/*	ЛР всего/*	ПКР	
<b>Раздел 1. «Теоретические и практические основы редактирования»</b>	<b>16</b>					<b>16</b>

Наименование разделов и тем дисциплин (укрупнённо)	Всего	Аудиторная работа				Внеаудиторная работа СР
		Л	ПЗ/С всего/*	ЛР всего/*	ПКР	
<b>геномов»</b>						
Тема 1. «Основы молекулярной биологии в контексте современных методов редактирования генома»	4					4
Тема 2. «Механизмы рекомбинации ДНК»	6					6
Тема 3. «Методы молекулярной биологии и их применение в редактировании генома»	6					6
<b>Раздел 2. «Обзор методов редактирования генома»</b>	<b>20</b>	<b>2</b>				<b>18</b>
Тема 4. «Нуклеазы цинковых пальцев и нуклеаза на основе эффектора, подобного активатору транскрипции»	6					6
Тема 5. «Принцип метода редактирования генома на основе CRISPR-Cas9»	7	1				6
Тема 6. «Вариации методов редактирования геномов на основе CRISPR-Cas9»	7	1				6
<b>Всего за 5 семестр</b>	<b>36</b>	<b>2</b>				<b>34</b>
<b>Раздел 3. «Особенности применения метода CRISPR-Cas9 для редактирования геномов различных организмов»</b>	<b>52/2</b>	<b>4</b>	<b>8/2</b>			<b>40</b>
Тема 7. «Получение генетических конструкций и методы их доставки в клетки различных организмов»	13/1	1	2/1			10
Тема 8. «Применение CRISPR-Cas9 для редактирования геномов бактерий»	13	1	2			10
Тема 9. «Применение CRISPR-Cas9 для редактирования геномов животных»	13	1	2			10
Тема 10. «Применение CRISPR-Cas9 для редактирования геномов растений»	13/1	1	2/1			10
<b>Раздел 4. «Этические вопросы и перспективы развития методов редактирования геномов»</b>	<b>11</b>					<b>11</b>
Тема 11. «Этические вопросы и перспективы развития методов редактирования геномов»	11					11
<i>консультации перед экзаменом</i>						
<i>контактная работа на промежуточном контроле (КРА)</i>	0,4				0,4	
<i>Подготовка к экзамену (контроль)</i>	8,6				8,6	
<b>Всего за 6 семестр</b>	<b>108/4</b>	<b>4</b>	<b>8/2</b>		<b>9</b>	<b>51</b>
<b>Итого по дисциплине</b>	<b>108/4</b>	<b>6</b>	<b>8/2</b>		<b>9</b>	<b>85</b>

\* в том числе практическая подготовка

## Раздел 1. Теоретические и практические основы редактирования геномов

## **Тема 1. Основы молекулярной биологии в контексте современных методов редактирования генома**

1. Строение, структура, функции и свойства нуклеиновых кислот
2. Структура генов и геномов эукариотов и прокариотов
3. Репликация ДНК, мутации и механизмы репарации
4. Транскрипция и процессинг
5. Трансляция
6. Регуляция экспрессии генов

## **Тема 2. Механизмы рекомбинации ДНК**

7. Рекомбинационная репарация одно и двухцепочечных разрывов ДНК
8. Гомологичная рекомбинация
9. Ферменты гомологичной рекомбинации
10. Мейотическая и митотическая рекомбинация
11. Интроны I группы
12. Негомологичное соединение концов
13. Сайт-специфическая рекомбинация
14. Транспозиция
15. Бактериальные транспозоны
16. Эукариотические транспозоны
17. Ретровирусы
18. Эволюционная взаимосвязь ретровирусов и ретротранспозонов

## **Тема 3. Методы молекулярной биологии и их применение в редактировании генома**

19. Эндонуклеазы рестрикции и их применение в генной инженерии
20. Нуклеазы, полимеразы и ферменты, модифицирующие концы ДНК
21. Лигаза и лигирование
22. Методы экстракции нуклеиновых кислот из различных биологических образцов, их качественная и количественная оценка
23. Флюоресцентная и радиоактивная метка нуклеиновых кислот
24. Методы анализа ДНК на основе гибридизации
25. Гель электрофорез нуклеиновых кислот
26. Секвенирование и поколения секвенаторов
27. Основы клонирования ДНК *in vivo* – выбор векторов и клеток-хозяев
28. Способы доставки ДНК в клетки. Трансформация и трансфекция
29. Выбор стратегии клонирования
30. Линкеры и адаптеры
31. Методы сборки генетических конструкций
32. Клонирование Golden gate
33. ПЦР – принцип метода и основные параметры
34. Подбор праймеров и оптимизация ПЦР
35. Количественная ПЦР в реальном времени
36. Digital PCR
37. ПЦР с обратной транскрипцией
38. Анализ ПЦР-продуктов
39. Селекция, скрининг и анализ рекомбинантной ДНК

- 40. Обзор различных биоинформатических ресурсов
- 41. Базы данных нуклеотидных последовательностей

## **Раздел 2. Обзор методов редактирования генома**

### **Тема 4. Нуклеазы цинковых пальцев и нуклеаза на основе эффектора, подобного активатору транскрипции**

- 42. Развитие методов редактирования геномов с использованием сконструированных нуклеаз
- 43. Нуклеазы цинковых пальцев – обзор метода, основные преимущества и недостатки.
- 44. Примеры использования нуклеаз цинковых пальцев для разработки генной терапии
- 45. Нуклеаза на основе эффектора, подобного активатору транскрипции – обзор метода, основные преимущества и недостатки.
- 46. Примеры использования TALEN

### **Тема 5. Принцип метода редактирования генома на основе CRISPR-Cas9**

- 47. Система редактирования генома CRISPR-Cas9 – принцип метода и основные компоненты системы
- 48. Анти-CRISPR белки и их использование в эксперименте по редактированию геномов

### **Тема 6. Вариации методов редактирования геномов на основе CRISPR-Cas9**

- 49. Нокаут генов с помощью CRISPR-Cas9
- 50. Гомологически направленная репарация и генная инженерия
- 51. Повышение точности гомологически направленной репарации с помощью мутаций, блокирующих CRISPR/Cas
- 52. Оптимизация «расстояния от разреза до мутации»
- 53. Микрогомологически-опосредованное соединение концов и его использование в нокаутировании генов с помощью системы CRISPR-Cas9. Вектор PITCH
- 54. Валидация результатов редактирования
- 55. Варианты секвенирования для генотипирования CRISPR
- 56. Требование к PAM и расширение CRISPR за пределы SpCas9
- 57. Выбор нуклеазы CRISPR: доступность сайта, специфичность и чувствительность
- 58. Разработка варианта CRISPR с гибкостью PAM
- 59. Функция Cas, как никазы
- 60. Дизайн эксперимента с никазой Cas9 и гомологически направленной репарацией
- 61. Cpf1 (Cas12a) rfr инструмент для редактирования генома CRISPR
- 62. Направленный мутагенез с EvolvR
- 63. Редактирование оснований
- 64. Редакторы оснований цитозина и аденина
- 65. Функция Cas в редактировании РНК
- 66. Редактирование РНК с помощью Cas13

67. Cas13d: ферменты CRISPR, нацеленные на малые РНК, для транскриптомной инженерии
68. Функция Cas как активатора и репрессора
69. Сравнение множества активаторов CRISPR
70. Усеченные гРНК для регуляции экспрессии генов
71. Эпигенетика и редактирование эпигенома
72. Гидовые РНК и дизайн гидовых РНК
73. Полногеномный скрининг с использованием CRISPR
74. Оптимизированные библиотеки CRISPRko, CRISPRi и CRISPRa
75. Выделение интересных геномных регионов с помощью системы CRISPR
76. Оптогенетика + CRISPR, использование света для управления редактированием генома
77. Поиск нуклеиновых кислот с помощью SHERLOCK и DETECTR
78. Визуализация геномных локусов с помощью CRISPR-Sirius
79. Мультиплексный захват промоторно-энхансерных трехмерных структур хроматина с помощью CRISPR

### **Раздел 3. Особенности применения метода CRISPR-Cas9 для редактирования геномов различных организмов**

#### **Тема 7. Получение генетических конструкций и методы их доставки в клетки различных организмов**

80. Векторы для компонентов системы CRISPR-Cas9
81. Доставка рибонуклеопротеиновых комплексов в клетку
82. Аденовирусная доставка CRISPR/Cas9
83. Другие способы доставки компонентов системы CRISPR

#### **Тема 8. Применение CRISPR-Cas9 для редактирования геномов бактерий**

84. Редактирование бактериальных геномов с помощью CRISPR – планирование эксперимента и основные этапы
85. Плазмиды для редактирования бактериальных геномов
86. Репрессия транскрипции (CRISPRi) у бактерий
87. Активация CRISPR (CRISPRa)
88. Микробиомная инженерия
89. Редактирование оснований у бактерий
90. Примеры редактирования бактериальных геномов и основные направления исследований

#### **Тема 9. Применение CRISPR-Cas9 для редактирования геномов животных**

91. Особенности применения системы CRISPR-Cas9 для редактирования животных клеток
92. Способы доставки генетических конструкций в клетки животных
93. Создание животных моделей заболеваний человека с использованием методов редактирования генома
94. Терапия животных моделей заболеваний человека с использованием методов редактирования генома
95. Редактирование геномов сельскохозяйственных животных

#### **Тема 10. Применение CRISPR-Cas9 для редактирования геномов растений**

- 96. Особенности применение системы GRISP-Cas9 для редактирования геномов растений
- 97. Трансформация протопластов
- 98. Доставка компонентов системы CRISPR в растительные клетки
- 99. Применение редактирования геномов для улучшения сельскохозяйственных растений

#### **Раздел 4. Этические вопросы и перспективы развития методов редактирования геномов**

##### **Тема 11. Этические вопросы и перспективы развития методов редактирования геномов**

- 100. Ограничения модификации геномов
- 101. Биохаккинг
- 102. Редактирование клеток зародышевой линии человека
- 103. Законодательство и регулирование
- 104. Перспективы развития CRISPR-Cas9

#### **4.3 Лекции/лабораторные/практические/ занятия**

##### **ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ**

Таблица 4

#### **Содержание лекций/лабораторного практикума/практических занятий и контрольные мероприятия**

<b>№ п/п</b>	<b>Название раздела, темы</b>	<b>№ и название лекций/ лабораторных/ практических/ семинарских занятий</b>	<b>Формируемые компетенции</b>	<b>Вид контрольного мероприятия</b>	<b>Кол-во Часов/ из них практическая подготовка</b>
2.	<b>Раздел 2. Обзор методов редактирования генома</b>				<b>2</b>
	Тема 5. Принцип метода редактирования генома на основе CRISPR-Cas9	Лекция № 1. Принцип метода редактирования генома на основе CRISPR-Cas9	ПКос-1.3; ПКос-1.5.		1
	Тема 6. Вариации методов редактирования геномов на основе CRISPR-Cas9	Лекция № 2. Вариации методов редактирования геномов на основе CRISPR-Cas9	ПКос-1.3; ПКос-1.5.		1
3.	<b>Раздел 3. Особенности применения метода CRISPR-Cas9 для редактирования геномов различных организмов</b>				

№ п/п	Название раздела, темы	№ и название лекций/ лабораторных/ практических/ семинарских занятий	Формируемые компетенции	Вид контрольного мероприятия	Кол-во Часов/ из них практическая подготовка
	Тема 7. Получение генетических конструкций и методы их доставки в клетки различных организмов	Лекция № 3. Получение генетических конструкций и методы их доставки в клетки различных организмов	ПКос-1.3; ПКос-1.5.		1
		Практическая работа № 1. Сборка генетической конструкции для применения в системе редактирования CRISPR-Cas9	ПКос-1.3; ПКос-1.5.	Ответы на вопросы	2/1
	Тема 8. Применение CRISPR-Cas9 для редактирования геномов бактерий	Лекция № 4. Применение CRISPR-Cas9 для редактирования геномов бактерий	ПКос-1.3; ПКос-1.5.		1
		Практическая работа № 2. Применение CRISPR-Cas9 для редактирования геномов бактерий	ПКос-1.3; ПКос-1.5.	Ответы на вопросы	2
	Тема 9. Применение CRISPR-Cas9 для редактирования геномов животных	Лекция № 5. Применение CRISPR-Cas9 для редактирования геномов животных	ПКос-1.3; ПКос-1.5.		1
		Практическая работа № 3. Применение CRISPR-Cas9 для редактирования геномов животных	ПКос-1.3; ПКос-1.5.	Ответы на вопросы	2
	Тема 10. Применение CRISPR-Cas9 для редактирования геномов растений	Лекция № 6. Применение CRISPR-Cas9 для редактирования геномов растений	ПКос-1.3; ПКос-1.5.		1
		Практическая работа № 4. Применение CRISPR-Cas9 для редактирования геномов растений	ПКос-1.3; ПКос-1.5.	Ответы на вопросы	2/1

### ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Таблица 5

#### Перечень вопросов для самостоятельного изучения дисциплины

№ п/п	Название раздела, темы	Перечень рассматриваемых вопросов для самостоятельного изучения
<b>Раздел 1. Теоретические и практические основы редактирования геномов</b>		
1.	Тема 1. Основы молекулярной биологии в контексте современных	Репликация ДНК, мутации и механизмы репарации (ПКос-1.3; ПКос-1.5)

№ п/п	Название раздела, темы	Перечень рассматриваемых вопросов для самостоятельного изучения
	методов редактирования генома	
2.	Тема 2. Механизмы рекомбинации ДНК	Транспозиция; бактериальные транспозоны; эукариотические транспозоны (ПКос-1.3; ПКос-1.5)
3.	Тема 3. Методы молекулярной биологии и их применение в редактировании генома	Методы экстракции нуклеиновых кислот из различных биологических образцов, их качественная и количественная оценка (ПКос-1.3; ПКос-1.5)
<b>Раздел 2. Обзор методов редактирования генома</b>		
4.	Тема 4. Нуклеазы цинковых пальцев и нуклеаза на основе эффектора, подобного активатору транскрипции	Развитие методов редактирования геномов с использованием сконструированных нуклеаз (ПКос-1.3; ПКос-1.5)
5.	Тема 5. Принцип метода редактирования генома на основе CRISPR-Cas9	Анти-CRISPR белки и их использование в эксперименте по редактированию геномов (ПКос-1.3; ПКос-1.5)
6.	Тема 6. Вариации методов редактирования геномов на основе CRISPR-Cas9	Cas13d: ферменты CRISPR, нацеленные на малые РНК, для транскриптомной инженерии; функция Cas как активатора и репрессора; сравнение множества активаторов CRISPR; усеченные гРНК для регуляции экспрессии генов (ПКос-1.3; ПКос-1.5)
<b>Раздел 3. Особенности применения метода CRISPR-Cas9 для редактирования геномов различных организмов</b>		
7.	Тема 7. Получение генетических конструкций и методы их доставки в клетки различных организмов	Аденовирусная доставка CRISPR/Cas9 (ПКос-1.3; ПКос-1.5)
8.	Тема 8. Применение CRISPR-Cas9 для редактирования геномов бактерий	Микробиомная инженерия (ПКос-1.3; ПКос-1.5)
9.	Тема 9. Применение CRISPR-Cas9 для редактирования геномов животных	Особенности применения системы CRISPR-Cas9 для редактирования животных клеток; способы доставки генетических конструкций в клетки животных; создание животных моделей заболеваний человека с использованием методов редактирования генома; терапия животных моделей заболеваний человека с использованием методов редактирования генома; редактирование геномов сельскохозяйственных животных (ПКос-1.3; ПКос-1.5)

№ п/п	Название раздела, темы	Перечень рассматриваемых вопросов для самостоятельного изучения
10.	Тема 10. Применение CRISPR-Cas9 для редактирования геномов растений	Особенности применение системы GRISP-Cas9 для редактирования геномов растений; трансформация протопластов; доставка компонентов системы CRISPR в растительные клетки; применение редактирования геномов для улучшения сельскохозяйственных растений (ПКос-1.3; ПКос-1.5)
11.	Тема 11. Этические вопросы и перспективы развития методов редактирования геномов	Ограничения модификации геномов; биохаккинг; редактирование клеток зародышевой линии человека; законодательство и регулирование; перспективы развития CRISPR-Cas9 (ПКос-1.3; ПКос-1.5)

## 5. Образовательные технологии

Таблица 6

### Применение активных и интерактивных образовательных технологий

№ п/п	Тема и форма занятия		Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий
1.	Тема 5. Принцип метода редактирования генома на основе CRISPR-Cas9	Л	Разбор конкретных ситуаций, учебная дискуссия в ходе просмотра обучающих видеоматериалов
2.	Тема 6. Вариации методов редактирования геномов на основе CRISPR-Cas9	Л	Разбор конкретных ситуаций, учебная дискуссия в ходе просмотра обучающих видеоматериалов
3.	Тема 7. Получение генетических конструкций и методы их доставки в клетки различных организмов	ПЗ	Разбор конкретных ситуаций, учебная дискуссия в ходе просмотра обучающих видеоматериалов
4.	Тема 8. Применение CRISPR-Cas9 для редактирования геномов бактерий	ПЗ	Разбор конкретных ситуаций, учебная дискуссия в ходе просмотра обучающих видеоматериалов
5.	Тема 9. Применение CRISPR-Cas9 для редактирования геномов животных	ПЗ	Разбор конкретных ситуаций, учебная дискуссия в ходе просмотра обучающих видеоматериалов

## 6. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины

### 6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности

#### Вопросы и задания к разделу 1. «Теоретические и практические основы редактирования геномов»

### Задание 1

(а) Сделайте вывод о строении следующих нуклеиновых кислот: двухцепочечная или одноцепочечная. Укажите тип нуклеиновых кислот

Молекула	A,%	G,%	C,%	T,%	U,%
A	33	17	33	17	0
B	33	33	17	17	0
C	21	40	21	80	0
D	41	9	0	9	41

(b) Каков будет состав второй цепочки ДНК, если первая содержит 18% гуанина, 30% аденина, 20% тимина? ИЛИ Пять молекул ДНК имеют следующие температуры плавления: 73°C, 69°C, 84°C, 78°C, 82°C. Расставьте эти молекулы по мере увеличения содержания пар G-C

(c) Дана двойная молекула ДНК с относительной молекулярной массой 75 тыс., из них 10350 приходится на долю адениловых нуклеотидов. Относительная молекулярная масса одного нуклеотида в среднем 345. Сколько содержится нуклеотидов по отдельности в данной ДНК? Какова длина ее молекулы?

### Задание 2

В ходе экспериментов было выделено небольшое количество редкого белка. Белок был расщеплен на фрагменты при помощи протеаз., некоторые фрагменты были разделены хроматографическими методами и была определена аминокислотная последовательность данных фрагментов. К сожалению, удалось определить только 3 коротких фрагмента аминокислотной последовательности:

ТРИПТОФАН-МЕТИОНИН-ГИСТИДИН-ГИСТИДИН-ЛИЗИН

ЛЕЙЦИН-СЕРИН-АРГИНИН-ЛЕЙЦИН-АРГИНИН

ТИРОЗИН-ФЕНИЛАЛАНИН-ГЛУТАМИН-МЕТИОНИН-ГЛИЦИН

С помощью таблицы генетического кода составьте наборы ДНК зондов для каждого из пептидов, которые можно использовать для выявления этого гена в библиотеке кДНК путем гибридизации. Какой из наборов зондов имеет смысл использовать в первую очередь? Ответ пояснить.

Было установлено, что глицин на конце белка 3 с-концевой, т. е. находится на конце белка. Как, учитывая это, можно составить олигонуклеотидный праймер для амплификации участка гена из библиотеки кДНК при помощи ПЦР?

Предположим, что с помощью ПЦР был получен фрагмент ДНК длиной 300 нуклеотидов. При определении последовательности нуклеотидов внутри был обнаружен фрагмент СТАТСАСГСТТТАСС. Какой из этого можно сделать вывод?

### Задание 3

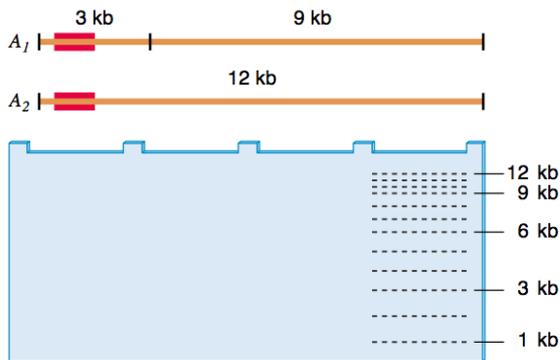
При обработке плазмиды размером 20 кб рестриктазами в смеси и по отдельности образовались следующие фрагменты:

EcoRI – 6 кб и 14 кб  
HindIII – 7 кб и 13 кб  
обе – 2 кб, 4 кб, 5 кб, 9 кб

Как много рестриктационных карт можно построить в соответствии с этими данными? Построить рестриктационные карты для каждого из возможных вариантов.

#### Задание 4

На представленной схеме отмечены позиции рестриктационных сайтов для соответствующего фермента рестрикции, которые могут присутствовать в соответствующем локусе человеческой хромосомы. ДНК, присутствующая в конкретной хромосоме, соответствует вариантам, изображенным на рисунке внизу и вверху. ДНК-зонд связывается в положении, обозначенном прямоугольником. В соответствии с RFLP анализ по этим фрагментам, возможно 3 генотипа. Что это за генотипы? Используйте символ A1 для обозначения фрагмента вверху и A2 для обозначения фрагмента внизу. Каким будет взаимное расположение полос на электрофорограмме для каждого из 3-х генотипов?



#### Задание 5

(a) Нарисуйте схематично процесс инициации репликации у *E. coli* в формате комикса

(a) Составьте таблицу, где перечислены основные участники инициации репликации у прокариот и их роль

Участник инициации репликации	Роль

#### Задание 6

(a) Какая последовательность будет синтезироваться при использовании ДНК-полимеразы? Укажите стрелкой, в каком направлении будет идти синтез:

5' AGGTCTTCGATCGA 3'

(b) Пусть синтез ДНК остановился на 4-м нуклеотиде. Изобразите фрагмент двойной цепи ДНК данной последовательности длиной 4 пн, покажите водородные связи

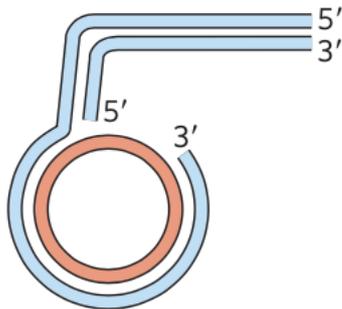
(d) Какую активность ДНК полимеразы I надо использовать, чтобы удалить одноцепочечный фрагмент и оставить только фрагмент двойной ДНК длиной 4 пн?

#### Задание 7

Каковы четыре возможных судьбы репликационной вилки, которая сталкивается с цепью матрицы с разрывом или каким-либо другим типом нерепарированного повреждения ДНК?

#### Задание 8

Конструируется разветвленный кольцевой субстрат ДНК, имитирующий одну возможную структуру застопорившейся репликационной вилки, как показано ниже.



Добавляется фермент, который способствует регрессу структуры вилки.

(а) Изобразите структуру полученного продукта, если регрессия продолжается до середины круга.

(б) Изобразите структуру продукта, если регрессия продолжается по всему кругу. Предположим, рука такой же длины, что и окружность, и имеет ту же последовательность

#### Задание 9

Нарисуйте промежуточное соединение Холлидея и пометьте концы каждой цепи ДНК так, чтобы полярность цепи была очевидна.

#### Задание 10

Фермент RecBCD действует как нуклеаза и геликаза при подготовке концов ДНК для связывания RecA и инвазии цепи. RecBCD имеет несколько функций, встроенных в три его субъединицы. Укажите субъединицы (RecB, RecC или RecD), отвечающие за каждую из следующих функций.

(а) Геликазный двигатель  $3' \rightarrow 5'$

(б) Нуклеаза

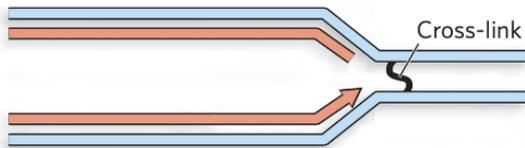
(с)  $5' \rightarrow 3'$  геликаза

(d) Наличие «булавочной» структуры, которая помогает разделять нити ДНК.

(е) Привязка к сайтам  $\chi$ i

#### Задание 11

Было обнаружено, что вилки репликации бактериального вида останавливаются в двухцепочечных поперечных связях, в результате чего возникает остановившаяся вилка со структурой, показанной ниже. Путь к восстановлению этих застрявших вилок включает образование промежуточной структуры Холлидея. Нарисуйте один шаг, который превратит вилку в структуру с промежуточным звеном Холлидея. Поместите стрелку на все 3' концы (ниже обозначен только один конец). Обратите внимание, что промежуточное соединение Холлидея образуется без разрыва ковалентных связей в ДНК.



### Задание 12

В клетках *E. coli* с мутациями, устраняющими фермент RecBCD, около 20% клеток имеют линейаризованные хромосомы при выращивании в нормальных аэробных условиях. В аналогичных условиях роста менее 3% хромосом линейаризованы в клетках дикого типа. Объясните в двух или трех предложениях, почему наблюдается эта разница.

### Задание 13

Во время мейоза у дрожжей, если диплоидная клетка имеет аллели *a* и *A* определенного гена, она обычно образует две споры с *A* и две споры с *a*. В редких случаях мейоз дает одну спору с *A* и три с *a*, или три с *A* и одну с *a*. Как это могло случиться?

### Задание 14

В отличие от рекомбинации, восстановление двухцепочечных разрывов негомологичным соединением концов создает мутации. Объяснить, почему.

### Задание 15

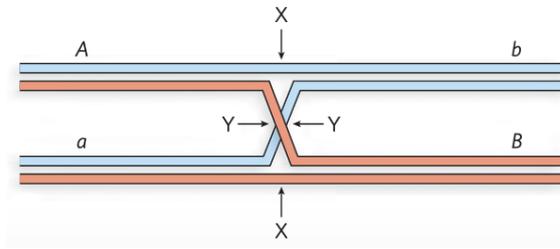
В локусе типа спаривания дрожжей переключение типа спаривания инициируется введением двухцепочечного разрыва в локусе MAT. Что бы произошло, если бы вместо этого DSB был введен в локусе HML $\alpha$ ?

### Задание 16

В исследовании Кини, Жиру и Клекнера Spo11 был идентифицирован как белок, который вызывает двухцепочечные разрывы, чтобы инициировать мейотическую рекомбинацию. Чтобы идентифицировать белки-кандидаты, ДНК сначала экстрагировали для удаления большинства нековалентно связанных белков, а затем фильтровали для выделения оставшихся комплексов белок-ДНК. Затем образцы были тщательно обработаны нуклеазами перед нанесением образцов на полиакриламидный гель. Почему была необходима обработка нуклеазой?

### Задание 17

Промежуточное звено Холлидея образуется между двумя хромосомами в точке между двумя генами, А и В, как показано ниже. Две хромосомы имеют разные аллели двух генов (А и а; В и в). Где должно быть расщеплено промежуточное звено Холлидея (точки X и / или Y), чтобы получить хромосому с (а) генотипом Ав или (b) генотипом ав?



### Задание 18

Бактерия *Deinococcus radiodurans* очень устойчива к генерирующим DSB эффектам ионизирующего излучения. DSBs также возникают (медленно) во время длительного высыхания клеток, и считается, что высыхание является селективным давлением в эволюции необычайной способности *D. radiodurans* к репарации ДНК. После сильного облучения бактерия вырабатывает несколько новых белков на высоком уровне. Один из них, называемый DdrA (белок А для восстановления повреждений ДНК), прочно связывается с 3'-концами разорванных цепей ДНК и предотвращает их разрушение под действием нуклеаз. Мутация, которая устраняет функцию DdrA, мало влияет на выживаемость после облучения, но сильно влияет на выживаемость после обезвоживания. Предложите объяснение роли DdrA во время высыхания. В своем ответе рассмотрите требования репарации ДНК по сравнению с деградацией ДНК.

### Задание 19

Ku70 и Ku80, два ключевых белка, используемых в негомологичном соединении концов (NHEJ), образуют гетеродимеры, которые связываются с разорванными концами ДНК, помогая выровнять их для соединения. Насколько сложно для димера Ku найти двухцепочечный разрыв? Один из способов подойти к этому вопросу - оценить среднее расстояние между димерами Ku в ядре: разрыв в ДНК будет в пределах половины этого расстояния от димера Ku. Если в типичном ядре имеется  $4 \times 10^5$  димеров Ku, в среднем на каком расстоянии друг от друга они находятся? Предположим, что димеры Ku распределены случайным образом, и что димер Ku можно аппроксимировать как куб со стороной 8 нм и что ядро имеет диаметр 6 мкм. [Объем шара  $(4\pi/3)r^3$ ; объем куба равен  $l^3$ ].

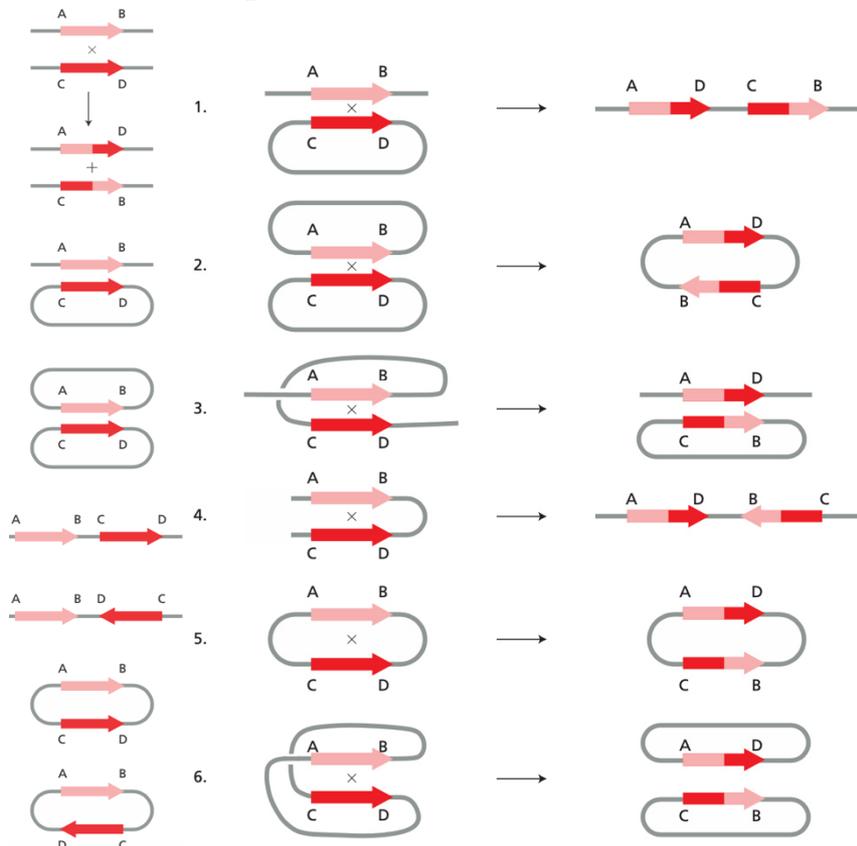
### Задание 20

Считается, что с возрастом соматические клетки накапливают геномные «шрамы» в результате неточного ремонта двухцепочечных разрывов путем негомологичного соединения концов (NHEJ). Оценки, основанные на частоте разрывов в первичных фибробластах человека, показывают, что к 70 годам каждая соматическая клетка человека может нести около 2000 мутаций, вызванных NHEJ, из-за неточной репарации. Если бы эти мутации были

случайным образом распределены по геному, сколько генов, кодирующих белок, будут затронуты? Ожидаете ли вы, что функция клеток будет нарушена? Почему или почему нет? (Предположим, что 2% генома - 1,5% кодирует белок и 0,5% регулирует - это важная информация.)

### Задание 21

Нарисуйте продукты перекрестной рекомбинации между гомологичными участками молекул, представленных на рисунке. На рисунке одиночные линии представляют дуплекс ДНК, а стрелки представляют собой мишени для гомологичной рекомбинации.



### Задание 22

Гаплоидные дрожжевые клетки, которые предпочтительно восстанавливают двухцепочечные разрывы путем гомологичной рекомбинации, особенно чувствительны к агентам, вызывающим двухцепочечные разрывы в ДНК. Если разрывы происходят в фазе G1 клеточного цикла (V), большинство дрожжевых клеток погибает; однако, если разрывы происходят в фазе G2, выживает гораздо большая часть клеток. Объясните эти результаты.

### Задание 23

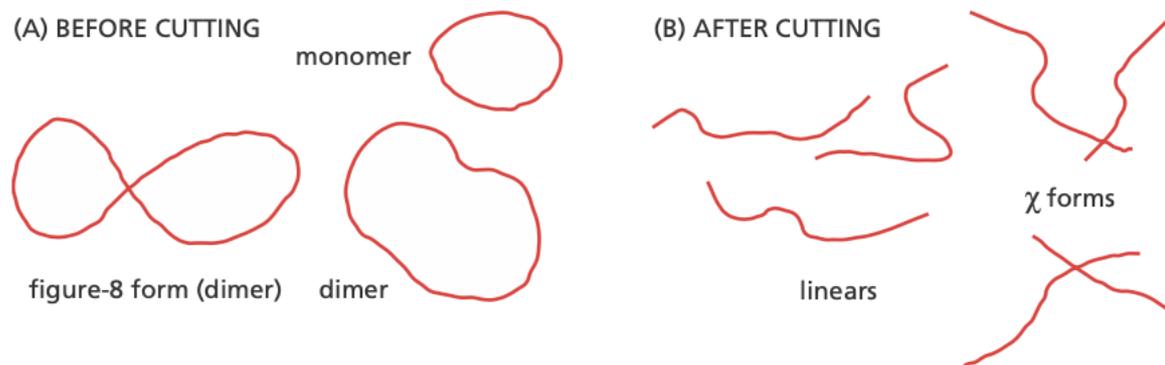
Когда плазмидная ДНК извлекается из *E. coli* и исследуется с помощью электронной микроскопии, большинство молекул представляют собой мономерные круги, но существует множество других форм, включая димерные и тримерные круги. Кроме того, около 1% молекул имеют форму восьмерки, в которой две петли равны. Вы подозреваете, что формы в виде восьмерки являются промежуточным звеном рекомбинации и участвуют в образовании

димера из двух мономеров (или двух мономеров из димера). Чтобы исключить возможность того, что они могут представлять собой скрученные димеры или соприкасающиеся мономеры, вы расщипляете образец ДНК рестрикционной нуклеазой, которая разрезает один сайт в мономере, а затем исследуете молекулы. После разрезания видны только две формы: 99% молекул ДНК являются линейными мономерами, а 1% - формами ( $\chi$ ). Вы заметили, что формы  $\chi$  обладают интересным свойством: две более длинные руки имеют одинаковую длину, как и две более короткие. Кроме того, сумма длин длинного плеча и короткого плеча равна длине мономерной плазмиды. Однако положение точки пересечения совершенно случайно. Чувствуя, что вам, вероятно, не хватает какого-то спрятанного артефакта, вы показываете свои фотографии другу. Она указывает, что ваши наблюдения доказывают, что вы смотрите на промежуточные продукты рекомбинации, которые возникли в результате случайного спаривания в гомологичных сайтах. Ваш друг прав? На чем основываются ее рассуждения?

Как, по вашему мнению, ваши наблюдения будут отличаться, если вы повторите эксперименты на штамме *E. coli*, несущем нефункциональный ген *RecA*?

Чем бы  $\chi$ -формы отличались от тех, которые вы наблюдали, если бы  $\chi$ -формы в форме восьмерки возникли как промежуточные продукты в сайт-специфической рекомбинации между мономерами?

Как бы выглядели  $\chi$ -формы, если бы формы в виде восьмерки возникли как промежуточные звенья в полностью случайной негомологической рекомбинации между мономерами?



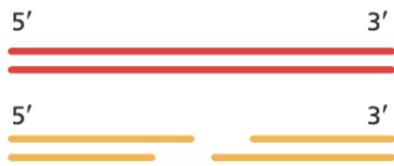
#### Задание 24

Обсудите следующее утверждение: «Соединение Холлидея содержит две отдельные пары нитей (пересекающиеся нити и непересекающиеся нити), которые не могут быть преобразованы друг в друга без разрушения фосфодиэфирного остова по крайней мере одной нити».

#### Задание 25

Изобразите структуру двойного соединения Холлидея, которое могло бы возникнуть в результате инвазии цепи обоими концами разорванного дуплекса в интактный гомологичный дуплекс, показанный на рисунке. Обозначьте левый конец каждой цепи в соединении Холлидея 5' или 3', чтобы было ясно видно

родство с родительским и рекомбинантным дуплексами. Укажите, как синтез ДНК будет использоваться для заполнения любых одноцепочечных пробелов в вашем двойном соединении Холлидея.



### Задание 26

исправлению несоответствий ДНК, система репарации несоответствия функционирует, чтобы предотвратить гомологичную рекомбинацию между сходными, но не идентичными последовательностями. Почему рекомбинация между похожими, но неидентичными последовательностями может представлять проблему для человеческих клеток?

### Тестовые задания

1. Гомологичная рекомбинация ДНК у прокариот имеет место для \_\_\_\_\_
  - а) Увеличения изменчивости
  - б) Репарации
  - в) Включение гена
  - г) Получение плазмиды из среды
2. Если в организме 8 хромосом находятся в диплоидном состоянии, какое будет количество хромосом после телофазы мейоза 1?
  - а) 2
  - б) 4
  - в) 8
  - г) 16
3. Если есть 2 нити хромосом, которые могут соединяться с одной нитью, и они обе соединены с этой же нитью, их соединение называется \_\_\_\_\_
  - а) Химера
  - б) Чи
  - в) Двойной переплет
  - г) Точка разветвления
4. Под микроскопом промежуточную структуру Холлидея можно ошибочно принять за \_\_\_\_\_
  - а) Гетерохроматин
  - б) Кольцевую плазмиду
  - в) Линейную внеклеточную хромосому
  - г) Сломанную хромосому.
6. Какие из перечисленных функций не выполняет Rec A  
\_\_\_\_\_

- а) Совмещение гомологичной хромосомы с той, которую она окружает.
- б) Осуществление намотки на нить ДНК
- в) Расщепление в сайте рекомбинации
- г) Помощь в переносе ветки

7. Ruv А резольвазного комплекса связывается \_\_\_\_\_

- а) На каждой хромосоме по обе стороны от точки ветвления
- б) В точке ветвления
- в) После обмена
- г) На концах цепей

8. В одноцепочечном нике \_\_\_\_\_

- а) 3'-ОН конец ника вторгается в другие целые нити.
- б) Обе нити претерпевают регрессию вилки
- с) Ник обрабатывается как точка фрагмента окадзаки
- г) Ник обходится без репарации

10. Рекомбинация происходит на стадии \_\_\_\_\_

- а) Лептотен
- б) Зиготены
- в) Пахитены
- г) Диплотены

11. Путь RecBCD включает использование лигаз.

- а) правда
- б) Ложь

12. Что такое миграция ветвей?

- а) Разрыв и образование идентичных пар оснований
- б) Формирование поражения
- в) Образование гетеродуплексной ДНК
- г) разрушение ДНК в месте соединения 4-х цепей

13. Что понимают под разрешением структуры Холлидея?

- а) Расщепление структуры Холлидея
- б) Регенерация дуплексной молекулы ДНК
- в) Обмен фрагментами ДНК
- г) Формирование структуры гетерохроматина

14. Что из перечисленного способствует обмену цепями ДНК?

- а) формирование DBS
- б) Образование гетеродуплекса
- в) Белок инвазии цепи
- г) Миграция ветвей

15. Какой из типов ДНК связан с образованием структур Холлидея?

- а) Гомологичные ДНК дуплексы
- б) Гетеродуплексная ДНК
- в) Мутировавшая ДНК
- г) Асимметричная ДНК

16. Путь репарации одноцепочечного разрыва (SSBR) включает генетический обмен.

- а) Правда
- б) Ложь

17. В пути DSB деградирует 5'-конец разорванной цепи.

- а) Правда
- б) Ложь

### **Вопросы и задания к разделу 2. «Обзор методов редактирования генома»**

1. В чем преимущества системы CRISPR по сравнению с другими известными методами редактирования генома?
2. Существует модифицированная версия белка Cas9, в которой один домен нуклеазы инактивирован. В чем может заключаться преимущество использования такой формы Cas9?
3. Какова вероятность того, что любое основание в последовательности является аденином, А? Сколько раз вы ожидаете встретить аденин в геноме человека?
4. Какова вероятность обнаружения определенной двухосновной последовательности? Сколько раз вы ожидаете найти эту последовательность в геноме человека?
5. Сколько раз вы ожидаете обнаружить сайт разреза EcoRI во фрагменте ДНК длиной 1 000 000 пар оснований?
6. Сколько раз вы ожидаете обнаружить определенную последовательность из 20 пар оснований в геноме человека?
7. Запишите полное уравнение для расчета прогнозируемого появления последовательности длиной  $n$  во фрагменте ДНК длиной  $X$ .
8. Используя математические доказательства, объясните, почему технология разрезания генов CRISPR-Cas9, которая использует целевую последовательность из 20 пар оснований, более специфична, чем классические рестрикционные ферменты.
9. Напишите три различные идеи о том, почему технология CRISPR-Cas9 может быть более полезной для генной терапии и/или исследований, чем другие инструменты для разрезания генов.

### **Вопросы и задания к разделу 3. «Особенности применения метода CRISPR-Cas9 для редактирования геномов различных организмов»**

1. Как требование последовательности PAM влияет на гибкость редактирования гена CRISPR-Cas9.

2. Как бы вы определили целевой участок расщепления ДНК для CRISPR-Cas9 и спроектировали sgRNA?
3. Существует другая модифицированная версия белка Cas9, где оба домена нуклеазы инактивированы, так называемый мертвый Cas9 (dCas9). Предложите, как этот модифицированный белок dCas9 может быть использован?
4. На самом деле последовательность ДНК человеческого генома НЕ случайна. Некоторые последовательности, включая очень большие последовательности, многократно повторяются по всему человеческому геному. Напишите две идеи о том, как этот факт усложняет использование технологии редактирования генов CRISPR у людей.
5. Опишите два возможных преимущества использования HDR по сравнению с использованием NHEJ в эксперименте по редактированию генов.
6. Опишите два возможных преимущества использования NHEJ по сравнению с использованием HDR в эксперименте по редактированию генов.
7. Объясните, как CRISPR-Cas9 вместе с HDR можно использовать для изменения одного нуклеотида, например, для замены Т на А.
8. В дополнение к вставке или обмену последовательностями, возможно удаление коротких последовательностей вблизи места разреза с помощью HDR. Подумайте и опишите идею того, как можно спроектировать последовательность ДНК-матрицы донора, чтобы вызвать такое удаление.
9. Что наиболее эффективно для HDR и какая длина рекомендуется для гомологичной экзогенной ДНК: одноцепочечные олигонуклеотиды, двухцепочечные олигонуклеотиды или большие гомологичные плечи (>1 кб) из плазмиды?
10. Нужно ли нам разрабатывать более одного олигонуклеотида для одного гена, чтобы решить проблему нецелевого воздействия?
11. В нескольких статьях обсуждалась неспецифическая активность Cas 9. Можете ли вы это прокомментировать?
12. Вызывает ли Cas9 двойное расщепление, если в геноме имеются очень похожие последовательности ДНК с небольшими различиями в нуклеотидах?
13. Почему доставка компонентов CRISPR в клетку является проблемой и какие есть варианты?

#### **Вопросы и задания к разделу 4. «Этические вопросы и перспективы развития методов редактирования геномов»**

1. Назовите две конкретные проблемы или опасения относительно использования CRISPR/Cas9 в качестве потенциального терапевтического инструмента для редактирования генома.
2. Если бы вы лечили пациентов с помощью CRISPR/Cas9, вы бы выбрали лечение заболевания крови или мышечной болезни? Обоснуйте свое решение.
3. Первая попытка использовать редактирование генома CRISPR/Cas9 для лечения пациентов была предпринята китайскими учеными осенью 2016 года. Эти ученые выделили Т-клетки у пациента с раком и использовали редактирование генома CRISPR/Cas9 для нацеливания на ген PD-1 и удаления белка PD-1 в этих клетках. Эти клетки, которые являются собственными

клетками пациента, были повторно введены пациентам. Белок PD-1 подавляет иммунный ответ Т-клеток, поэтому эти модифицированные Т-клетки должны обладать способностью вызывать сильный иммунный ответ против рака у этих пациентов. Предложите терапевтический подход, в котором вы могли бы реализовать мощь CRISPR/Cas9. Вам необходимо предоставить подробную информацию о том, какой ген вы бы выбрали в качестве мишени, как вы бы редактировали геном и как вы бы фактически вводили модификацию вашим пациентам. На какие клетки вы нацелились и почему? Предоставьте обоснование того, почему вы решили нацелиться на это конкретное заболевание/состояние.

4. Некоторые ученые обеспокоены тем, что бактерии, полученные с помощью генной инженерии, могут попасть из лаборатории в окружающую среду. Какие проблемы могут возникнуть, если это произойдет?

5. Предположим, что можно использовать генную инженерию, чтобы сделать людей более умными. Как вы думаете, следует ли это разрешить?

### Вопросы к экзамену

1. Строение, структура, функции и свойства нуклеиновых кислот
2. Структура генов и геномов эукариотов и прокариотов
3. Репликация ДНК, мутации и механизмы репарации
4. Транскрипция и процессинг
5. Трансляция
6. Регуляция экспрессии генов
7. Рекомбинационная репарация одно и двухцепочечных разрывов ДНК
8. Гомологичная рекомбинация
9. Ферменты гомологичной рекомбинации
10. Мейотическая и митотическая рекомбинация
11. Интроны I группы
12. Негомологичное соединение концов
13. Сайт-специфическая рекомбинация
14. Транспозиция
15. Бактериальные транспозоны
16. Эукариотические транспозоны
17. Ретровирусы
18. Эволюционная взаимосвязь ретровирусов и ретротранспозонов
19. Эндонуклеазы рестрикции и их применение в генной инженерии
20. Нуклеазы, полимеразы и ферменты, модифицирующие концы ДНК
21. Лигаза и лигирование
22. Методы экстракции нуклеиновых кислот из различных биологических образцов, их качественная и количественная оценка
23. Флюоресцентная и радиоактивная метка нуклеиновых кислот
24. Методы анализа ДНК на основе гибридизации
25. Гель электрофорез нуклеиновых кислот
26. Секвенирование и поколения секвенаторов
27. Основы клонирования ДНК *in vivo* – выбор векторов и клеток-хозяев

28. Способы доставки ДНК в клетки. Трансформация и трансфекция
29. Выбор стратегии клонирования
30. Линкеры и адаптеры
31. Методы сборки генетических конструкций
32. Клонирование Golden gate
33. ПЦР – принцип метода и основные параметры
34. Подбор праймеров и оптимизация ПЦР
35. Количественная ПЦР в реальном времени
36. Digital PCR
37. ПЦР с обратной транскрипцией
38. Анализ ПЦР-продуктов
39. Селекция, скрининг и анализ рекомбинантной ДНК
40. Обзор различных биоинформатических ресурсов
41. Базы данных нуклеотидных последовательностей
42. Развитие методов редактирования геномов с использованием сконструированных нуклеаз
43. Нуклеазы цинковых пальцев – обзор метода, основные преимущества и недостатки.
44. Примеры использования нуклеаз цинковых пальцев для разработки генной терапии
45. Нуклеаза на основе эффектора, подобного активатору транскрипции – обзор метода, основные преимущества и недостатки.
46. Примеры использования TALEN
47. Система редактирования генома CRISPR-Cas9 – принцип метода и основные компоненты системы
48. Анти-CRISPR белки и их использование в эксперименте по редактированию геномов
49. Нокаут генов с помощью CRISPR-Cas9
50. Гомологически направленная репарация и генная инженерия
51. Повышение точности гомологически направленной репарации с помощью мутаций, блокирующих CRISPR/Cas
52. Оптимизация «расстояния от разреза до мутации»
53. Микрогомологически-опосредованное соединение концов и его использование в нокаутировании генов с помощью системы CRISPR-Cas9. Вектор PITCH
54. Валидация результатов редактирования
55. Варианты секвенирования для генотипирования CRISPR
56. Требование к PAM и расширение CRISPR за пределы SpCas9
57. Выбор нуклеазы CRISPR: доступность сайта, специфичность и чувствительность
58. Разработка варианта CRISPR с гибкостью PAM
59. Функция Cas, как никазы
60. Дизайн эксперимента с никазой Cas9 и гомологически направленной репарацией
61. Cpf1 (Cas12a) rfr инструмент для редактирования генома CRISPR

62. Направленный мутагенез с EvolvR
63. Редактирование оснований
64. Редакторы оснований цитозина и аденина
65. Функция Cas в редактировании РНК
66. Редактирование РНК с помощью Cas13
67. Cas13d: ферменты CRISPR, нацеленные на малые РНК, для транскриптомной инженерии
68. Функция Cas как активатора и репрессора
69. Сравнение множества активаторов CRISPR
70. Усеченные гРНК для регуляции экспрессии генов
71. Эпигенетика и редактирование эпигенома
72. Гидовые РНК и дизайн гидовых РНК
73. Полногеномный скрининг с использованием CRISPR
74. Оптимизированные библиотеки CRISPRko, CRISPRi и CRISPRa
75. Выделение интересующих геномных регионов с помощью системы CRISPR
76. Оптогенетика + CRISPR, использование света для управления редактированием генома
77. Поиск нуклеиновых кислот с помощью SHERLOCK и DETECTR
78. Визуализация геномных локусов с помощью CRISPR-Sirius
79. Мультиплексный захват промоторно-энхансерных трехмерных структур хроматина с помощью CRISPR
80. Векторы для компонентов системы CRISPR-Cas9
81. Доставка рибонуклеопротеиновых комплексов в клетку
82. Аденовирусная доставка CRISPR/Cas9
83. Другие способы доставки компонентов системы CRISPR
84. Редактирование бактериальных геномов с помощью CRISPR – планирование эксперимента и основные этапы
85. Плазмиды для редактирования бактериальных геномов
86. Репрессия транскрипции (CRISPRi) у бактерий
87. Активация CRISPR (CRISPRa)
88. Микробиомная инженерия
89. Редактирование оснований у бактерий
90. Примеры редактирования бактериальных геномов и основные направления исследований
91. Особенности применения системы CRISPR-Cas9 для редактирования животных клеток
92. Способы доставки генетических конструкций в клетки животных
93. Создание животных моделей заболеваний человека с использованием методов редактирования генома
94. Терапия животных моделей заболеваний человека с использованием методов редактирования генома
95. Редактирование геномов сельскохозяйственных животных
96. Особенности применения системы CRISPR-Cas9 для редактирования геномов растений
97. Трансформация протопластов

- 98. Доставка компонентов системы CRISPR в растительные клетки
- 99. Применение редактирования геномов для улучшения сельскохозяйственных растений
- 100. Ограничения модификации геномов
- 101. Биохаккинг
- 102. Редактирование клеток зародышевой линии человека
- 103. Законодательство и регулирование
- 104. Перспективы развития CRISPR-Cas9

## 6.2. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания

Для оценки знаний, умений, навыков и формирования компетенции по дисциплине может применяться **традиционная** система контроля и оценки успеваемости студентов.

### Критерии оценивания результатов обучения

Таблица 7

Оценка	Критерии оценивания
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку <b>«отлично»</b> заслуживает студент, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы. <b>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – высокий.</b>
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку <b>«хорошо»</b> заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки. <b>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – хороший (средний).</b>
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку <b>«удовлетворительно»</b> заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы. <b>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – достаточный.</b>
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	оценку <b>«неудовлетворительно»</b> заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы. <b>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, не сформированы.</b>

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 7.1 Основная литература

1. Якупов, Т. Р. Молекулярная биотехнология : учебник для вузов / Т. Р. Якупов, Т. Х. Фаизов. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 160 с. — ISBN 978-5-8114-8733-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-

библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/179623> (дата обращения: 28.11.2024)

2. Медицинские биотехнологии с основами молекулярной биологии (избранные лекции) : учебное пособие / Н. В. Юнусова, Е. В. Кайгородова, О. В. Кокорев, Р. Р. Салахов. — Томск : СибГМУ, 2023. — 143 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/369098> (дата обращения: 13.12.2024).

## 7.2 Дополнительная литература

1. Век генетики и век биотехнологии на пути к редактированию генома человека : монография / В. И. Глазко [и др.] ; Science Наука Курс. - Москва : КУРС, 2017. - 560 с. - (Наука). - Библиогр.: с. 534
2. Субботина, Т. Н. Молекулярная биология и генная инженерия : учебное пособие / Т. Н. Субботина, П. А. Николаева, А. Е. Харсекина. — Красноярск : СФУ, 2018. — 60 с. — ISBN 978-5-7638-3857-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/157528> (дата обращения: 13.12.2024)

### Перечень журналов по профилю дисциплины.

1. Журнал Gene Therapy (<https://www.nature.com/gt/>) (открытый доступ).
2. Журнал Genome Biology (<https://genomebiology.biomedcentral.com/>) (открытый доступ).
3. Журнал Transgenic Research (<https://link.springer.com/journal/11248>) (открытый доступ).
4. Журнал Frontiers in Genome Editing (<https://www.frontiersin.org/journals/genome-editing>) (открытый доступ).
5. Gene and Genome Editing (<https://www.sciencedirect.com/journal/gene-and-genome-editing>) (открытый доступ).

### 8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <https://www.addgene.org/> (открытый доступ)

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

Таблица 8

#### Сведения об обеспеченности специализированными аудиториями, кабинетами, лабораториями

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы (№ учебного корпуса, № аудитории)	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	2

<p>Учебная лаборатория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (Учебный корпус № 37, аудитории № 212, 303-308, 314)</p>	<p>Система очистки воды Hydrurus Ultra Flow, № 410124000603648          Комплект оборудования для очистки и обеззараживания воздуха, № 410124000603649          Стерилизатор паровой форвакуумный СПГА-100-1-НН В, №210124558132517          Бокс микробиологический безопасности БМБ-II «Ламинар-С» по ТУ 32.50.50-010-51495026-2020 в исполнении: БМБ-II-«Ламинар-С»-1,5, № 210124558132419, № 210124558132418, № 210124558132420, № 210124558132421, № 210124558132422          Шейкер инкубатор DW-SI-D2403, Drawell, № 410124000603704          Шейкер - инкубатор с охлаждением CRYSTE, модель PURICELL_SHAKING X10, № 410124000603688          Спектрофотометр K5500Plus, Drawell № 410124000603673          Лиофильная сушилка, LFD-10A, Laboao, № 410124000603685          Комплект лабораторного оборудования пробоподготовки для биотехнологических исследований, № 410124000603692          Центрифуга лабораторная с охлаждением TGL18C, Nanbei, № 410124000603681          Льдогенератор XB-50, Scientz, № 410124000603690          Гомогенизатор лабораторный RCP 24, № 410124000603640          Электропоратор для клеток эукариот, прокариот и растений CRY-3B, Scientz, № 410124000603691          Термостат Binder, №210134000004208          Интерактивная панель, № 410124000603731          Рабочая станция с предустановленным программным обеспечением, № 210134000018973          Рабочая станция, № 210134000019227-210134000019242</p>
<p>Центральная научная библиотека имени Н.И. Железнова. Читальные залы библиотеки.</p>	

Для проведения лекций по дисциплине «Методы редактирования генома» необходима специализированная лекционная аудитория, оснащенная мультимедийным оборудованием и соответствующим демонстрационным сопровождением.

Для проведения практических и семинарских занятий по дисциплине «Методы редактирования генома» необходима аудитория, оснащенная мультимедийным оборудованием и меловой доской и компьютерами с доступом к сети «Интернет».

## **11. Методические рекомендации обучающимся по освоению дисциплины**

Образовательный процесс по дисциплине организован в форме учебных занятий (контактная работа (аудиторной и внеаудиторной) обучающихся с преподавателем и самостоятельная работа обучающихся). Учебные занятия (в том числе по реализации практической подготовки) представлены следующими видами, включая учебные занятия, направленные на практическую подготовку обучающихся и проведение текущего контроля успеваемости:

- лекции (занятия лекционного типа);
- семинары, практические занятия, лабораторные работы (занятия семинарского типа);
- групповые консультации;
- индивидуальные консультации и иные учебные занятия, предусматривающие индивидуальную работу преподавателя с обучающимся;
- самостоятельная работа обучающихся;
- занятия иных видов.

На учебных занятиях обучающиеся выполняют запланированные настоящей программой отдельные виды учебных работ, в том числе отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

### **Виды и формы отработки пропущенных занятий**

Студент, пропустивший занятия обязан в отведенное для консультаций время на кафедре показать знания соответствующего раздела в виде написания реферата и решения тестовых заданий. Сложные вопросы необходимо разобрать с преподавателем.

## **12. Методические рекомендации преподавателям по организации обучения по дисциплине**

Образовательный процесс по дисциплине организован в форме учебных занятий (контактная работа (аудиторной и внеаудиторной) обучающихся с преподавателем и самостоятельная работа обучающихся). Учебные занятия (в том числе по реализации практической подготовки) представлены следующими видами, включая учебные занятия, направленные на практическую подготовку обучающихся и проведение текущего контроля успеваемости:

- лекции (занятия лекционного типа);
- семинары, практические занятия (занятия семинарского типа);
- индивидуальные консультации и иные учебные занятия, предусматривающие индивидуальную работу преподавателя с обучающимся;
- самостоятельная работа обучающихся.

На учебных занятиях обучающиеся выполняют запланированные настоящей программой отдельные виды учебных работ, в том числе отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

В процессе слушания лекций необходимо создавать резерв времени. Студенту необходимо ежедневно читать учебную или научную литературу по изучаемой дисциплине, что достигается четкой постановкой вопросов для самостоятельного изучения. Необходимо регулярно проводить консультации, обсуждать вопросы, вынесенные на самостоятельное обучение, проверять степень усвоения материала студентами путем опросов или тестовых заданий по материалам лекций. Тестовые задания могут выполняться в электронном виде.

**Программу разработала:**



Поливанова Оксана Борисовна, кандидат биологических наук, доцент

## РЕЦЕНЗИЯ

на рабочую программу дисциплины «Методы редактирования генома»  
ОПОП ВО по направлению 19.03.01 Биотехнология, направленность «Биотехнология и  
молекулярная биология»  
(квалификация выпускника – бакалавр)

Таракановым Иваном Германовичем, доктором биологических наук, профессором кафедры физиологии растений ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (далее по тексту рецензент), проведена рецензия рабочей программы дисциплины «Методы редактирования генома» ОПОП ВО по направлению 19.03.01 – «Биотехнология», направленность «Биотехнология и молекулярная биология» (бакалавриат) разработанной в ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», на кафедре Биотехнологии Поливановой О.Б., кандидатом биологических наук, доцентом.

Рассмотрев представленные на рецензирование материалы, рецензент пришел к следующим выводам:

1. Предъявленная рабочая программа дисциплины «Методы редактирования генома» (далее по тексту Программа) соответствует требованиям ФГОС ВО по направлению 19.03.01 – «Биотехнология». Программа содержит все основные разделы, соответствует требованиям к нормативно-методическим документам.

2. Представленная в Программе актуальность учебной дисциплины в рамках реализации ОПОП ВО не подлежит сомнению – дисциплина относится к формируемой участниками образовательных отношений части учебного цикла – Б1.

3. Представленные в Программе цели дисциплины соответствуют требованиям ФГОС ВО направления 19.03.01 – «Биотехнология».

4. В соответствии с Программой за дисциплиной «Методы редактирования генома» закреплено 2 компетенции. Дисциплина «Методы редактирования генома» и представленная Программа способна реализовать их в объявленных требованиях. Результаты обучения, представленные в Программе в категориях знать, уметь, владеть соответствуют специфике и содержанию дисциплины и демонстрируют возможность получения заявленных результатов.

5. Общая трудоёмкость дисциплины «Методы редактирования генома» составляет 3 зачётных единицы (108 часов).

6. Информация о взаимосвязи изучаемых дисциплин и вопросам исключения дублирования в содержании дисциплин соответствует действительности. Дисциплина «Методы редактирования генома» взаимосвязана с другими дисциплинами ОПОП ВО и Учебного плана по направлению 19.03.01 – «Биотехнология» и возможность дублирования в содержании отсутствует.

7. Представленная Программа предполагает использование современных образовательных технологий, используемые при реализации различных видов учебной работы. Формы образовательных технологий соответствуют специфике дисциплины.

8. Программа дисциплины «Методы редактирования генома» предполагает 8 занятий в интерактивной форме.

9. Виды, содержание и трудоёмкость самостоятельной работы студентов, представленные в Программе, соответствуют требованиям к подготовке выпускников, содержащимся во ФГОС ВО направления 19.03.01 – «Биотехнология».

10. Представленные и описанные в Программе формы текущей оценки знаний (опрос, как в форме обсуждения отдельных вопросов, так и выступления и участие в дискуссиях, участие в тестировании, коллоквиумах, работа над домашним заданием и аудиторных заданиях - работа с текстами научной публикации), соответствуют специфике дисциплины и требованиям к выпускникам.

Форма промежуточного контроля знаний студентов, предусмотренная Программой, осуществляется в форме экзамена, что соответствует статусу дисциплины, как

дисциплины вариативной части учебного цикла – Б1 ФГОС ВО направления 19.03.01 – «Биотехнология».

11. Формы оценки знаний, представленные в Программе, соответствуют специфике дисциплины и требованиям к выпускникам.

12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины представлено: основной литературой – 2 источника (базовый учебник), дополнительной литературой – 2 наименования, периодическими изданиями – 5 источников со ссылкой на электронные ресурсы, Интернет-ресурсы – 1 источник и соответствует требованиям ФГОС ВО направления 19.03. – «Биотехнология».

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины соответствует специфике дисциплины «Методы редактирования генома» и обеспечивает использование современных образовательных, в том числе интерактивных методов обучения.

14. Методические рекомендации студентам и методические рекомендации преподавателям по организации обучения по дисциплине дают представление о специфике обучения по дисциплине «Методы редактирования генома».

### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

На основании проведенного рецензирования можно сделать заключение, что характер, структура и содержание рабочей программы дисциплины «Методы редактирования генома» ОПОП ВО по направлению 19.03.01 – «Биотехнология», направленность «Биотехнология и молекулярная биология» (квалификация выпускника – бакалавр), разработанная Поливановой О.Б., кандидатом биологических наук, доцентом соответствует требованиям ФГОС ВО, современным требованиям экономики, рынка труда и позволит при её реализации успешно обеспечить формирование заявленных компетенций.

Рецензент: Тараканов И.Г., доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры физиологии растений ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

«08» 08 2025 г.