

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

УТВЕРЖДАЮ

Директор/Декан
института ветеринарии и
биотехнологий
Скрипкин Валентин Сергеевич

«__» _____ 20__ г.

Рабочая программа дисциплины

Б1.О.18.03 Биоинжиниринг живых систем

19.03.01 Биотехнология

Биотехнология продуктов питания

бакалавр

очная

1. Цель дисциплины

Целью дисциплины Биотехнология живых систем является подготовить специалистов, способных интегрировать биологические, инженерные и информационные технологии для проектирования, автоматизации и оптимизации биотехнологических процессов производства пищевых продуктов с учётом нормативных требований, а также оценивать их эффективность и качество продукции.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций ОП ВО и овладение следующими результатами обучения по дисциплине:

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине |
|---|---|---|
| ОПК-4 Способен проектировать отдельные элементы технических и технологических систем, технических объектов, технологических процессов биотехнологического производства на основе применения базовых инженерных и технологических знаний | ОПК-4.2 Проектирует отдельные элементы технических и технологических систем (ферментеры, теплообменники, системы фильтрации) и ключевые стадии биотехнологического производства пищевых продуктов (ферментация, сепарация, сушка) с учётом нормативных требований | знает принципы и методы проектирования ключевых узлов и стадий пищевого биотехнологического производства: конструктивные особенности и расчётные подходы при создании ферментеров, теплообменников, систем фильтрации и сепарации, а также технологии сушки биопродуктов; уметь применять нормативные документы и техрегламенты для обеспечения санитарно-гигиенических и качественных требований при проектировании оборудования и процессов. умеет проводить обоснованный выбор и расчет основных параметров ферментеров, теплообменников и фильтрационных установок с учетом их технологических характеристик и режимов работы, разрабатывать технические задания и конструкторскую документацию на отдельные элементы оборудования и узлы технологических стадий с применением современных САД- и СПО-решений, а также использовать действующие регламенты и нормативные документы для обеспечения безопасности, качества и соответствия проектируемых систем требованиям пищевой биотехнологии. владеет навыками навыками проектирования отдельных элементов биотехнологических систем, а также проектировать ключевые стадии технологического процесса опираясь на требования ГОСТ и СанПиН по контролю качества и безопасности конечного продукта. |
| ОПК-5 Способен эксплуатировать технологическое оборудование, выполнять | ОПК-5.2 Применяет методы и средства контроля для контроля физико-химических, микробиологических и | знает основные физико-химические, микробиологические и органолептические методы контроля, спектрофотометрические и |

| | | |
|--|--|--|
| <p>технологические операции, управлять биотехнологическими процессами, контролировать количественные и качественные показатели получаемой продукции</p> | <p>органолептических показателей сырья, промежуточных и готовых пищевых продуктов</p> | <p>хроматографические методы для анализа белков, жиров, углеводов, пестицидов и тяжёлых металлов в сырье и готовой продукции. умеет отбирать и готовить пробы сырья, промежуточных и готовых продуктов для физико-химического анализа, включая проведение титриметрических, спектрофотометрических и хроматографических методов определения компонентов, выполнять микробиологический контроль с использованием классических методов стандартных посевов, количественного определения колониеобразующих единиц, а также современных молекулярно-биологических подходов для выявления патогенных и портящих микробов а также организовывать и проводить органолептическую оценку качества продуктов по параметрам вкуса, запаха, цвета и текстуры, применяя стандартизированные дескриптивные методы. владеет навыками комплексом современных аналитических и сенсорных методов контроля качества пищевых продуктов: физико-химические приёмы; микробиологические методы; а также органолептическую оценку.</p> |
| <p>ОПК-5 Способен эксплуатировать технологическое оборудование, выполнять технологические операции, управлять биотехнологическими процессами, контролировать количественные и качественные показатели получаемой продукции</p> | <p>ОПК-5.3 Регулирует и оптимизирует параметры биотехнологических процессов производства пищевых продуктов в изменяющихся условиях</p> | <p>знает основы кинетики и термодинамики биотехнологических процессов, принципы и методы мониторинга ключевых параметров (температура, рН, растворённый кислород и др.) и алгоритмы их адаптивной настройки в реальном времени. умеет оперативно корректировать и оптимизировать ключевые параметры ферментации, сепарации и других биотехнологических процессов производства пищевых продуктов в ответ на изменение технологических и внешних условий. владеет навыками навыками мониторинга ключевых параметров (рН, температуры, концентрации субстрата и метаболитов) и оперативного их регулирования с помощью автоматизированных систем для поддержания оптимальных условий биотехнологического процесса.</p> |

| | | | | | | | | | |
|------|---|----|-----|----|----|--|------|--------------|---------------------------|
| 1. | 1 раздел. Основы биоинжиниринга | | | | | | | | |
| 1.1. | Основы биоинжиниринга | 8 | 26 | 8 | 18 | | 10 | Устный опрос | ОПК-4.2, ОПК-5.2, ОПК-5.3 |
| 1.2. | Контрольная точка | 8 | 2 | | 2 | | КТ 1 | Коллоквиум | ОПК-4.2, ОПК-5.2, ОПК-5.3 |
| 2. | 2 раздел. Биопроцессные технологии | | | | | | | | |
| 2.1. | Биопроцессные технологии | 8 | 24 | 8 | 16 | | 10 | Устный опрос | ОПК-4.2, ОПК-5.2, ОПК-5.3 |
| 2.2. | Контрольная точка | 8 | 2 | | 2 | | КТ 2 | Коллоквиум | ОПК-4.2, ОПК-5.2, ОПК-5.3 |
| 3. | 3 раздел. Системная и прикладная биология | | | | | | | | |
| 3.1. | Системная и прикладная биология | 8 | 22 | 8 | 14 | | 10 | Устный опрос | ОПК-4.2, ОПК-5.2, ОПК-5.3 |
| 3.2. | Контрольная точка | 8 | 2 | | 2 | | КТ 3 | Коллоквиум | ОПК-4.2, ОПК-5.2, ОПК-5.3 |
| 4. | 4 раздел. Зачет | | | | | | | | |
| 4.1. | Зачет | 8 | | | | | | | ОПК-4.2, ОПК-5.2, ОПК-5.3 |
| | Промежуточная аттестация | За | | | | | | | |
| | Итого | | 108 | 24 | 54 | | 30 | | |
| | Итого | | 108 | 24 | 54 | | 30 | | |

5.1. Лекционный курс с указанием видов интерактивной формы проведения занятий

| Тема лекции (и/или наименование раздел) (вид интерактивной формы проведения занятий)/ (практическая подготовка) | Содержание темы (и/или раздела) | Всего, часов / часов интерактивных занятий/ практическая подготовка |
|---|--|---|
| Основы биоинжиниринга | Инструменты молекулярной биологии и клонирование | 2/- |
| Основы биоинжиниринга | Синтетическая биология: от частей к устройствам | 2/- |
| Основы биоинжиниринга | Системы редактирования генома (CRISPR и др.) | 2/- |
| Основы биоинжиниринга | Введение в метаболический инжиниринг | 2/- |
| Биопроцессные технологии | Методы культивирования микроорганизмов | 2/- |
| Биопроцессные технологии | Дизайн и управление биореакторами | 2/- |
| Биопроцессные технологии | Аналитические методы: HPLC, спектрофотометрия | 2/- |
| Биопроцессные технологии | Биосенсоры: принципы и применение | 2/- |
| Системная и прикладная биология | Моделирование метаболических путей (COBRA Toolbox) | 2/- |
| Системная и прикладная биология | Конструирование клеточных фабрик | 2/- |
| Системная и прикладная биология | Регулирование ГМО и биоэтика | 2/- |
| Системная и прикладная биология | Тренды в биотехнологии пищевых продуктов | 2/- |
| Итого | | 24 |

5.2.1. Семинарские (практические) занятия с указанием видов проведения занятий в интерактивной форме

| Наименование раздела дисциплины | Формы проведения и темы занятий (вид интерактивной формы проведения занятий)/(практическая подготовка) | Всего, часов / часов интерактивных занятий/ практическая подготовка | |
|---------------------------------|--|---|-------|
| | | вид | часы |
| Основы биоинжиниринга | Клонирование гена и гель-электрофорез | Пр | 4/-/- |
| Основы биоинжиниринга | Трансформация бактерий и скрининг колоний | Пр | 4/-/- |
| Основы биоинжиниринга | In vitro-редактирование CRISPR | Пр | 4/-/- |
| Основы биоинжиниринга | Кинетика ферментов и её оптимизация | Пр | 4/-/- |
| Основы биоинжиниринга | Peer-review отчётов по практикам | Пр | 2/-/- |
| Контрольная точка | Контрольная точка | Пр | 2/-/- |
| Биопроцессные | Настройка и запуск лабораторного | Пр | 4/-/- |

| | | | |
|---------------------------------|---|----|-------|
| технологии | биореактора | | |
| Биопроцессные технологии | Оптимизация pH и температуры в процессе культивирования | Пр | 4/-/- |
| Биопроцессные технологии | Анализ метаболитов с помощью HPLC | Пр | 4/-/- |
| Биопроцессные технологии | Сборка и калибровка клеточного биосенсора | Пр | 2/-/- |
| Биопроцессные технологии | Обсуждение практических отчётов и корректировка протоколов | Пр | 2/-/- |
| Контрольная точка | Контрольная точка | Пр | 2/-/- |
| Системная и прикладная биология | Моделирование метаболизма на примере E. coli | Пр | 4/-/- |
| Системная и прикладная биология | Проектирование и оптимизация клеточной фабрики | Пр | 4/-/- |
| Системная и прикладная биология | Симуляция био-процесса в программной среде | Пр | 4/-/- |
| Системная и прикладная биология | Разработка мини-проекта по продуктовому биотехнологическому кейсу | Пр | 2/-/- |
| Контрольная точка | Контрольная точка | Пр | 2/-/- |
| Итого | | | |

5.3. Курсовой проект (работа) учебным планом не предусмотрен

5.4. Самостоятельная работа обучающегося

| Темы и/или виды самостоятельной работы | Часы |
|---|------|
| Анализ литературы по молекулярной биологии и синтетической биологии. Подготовка к контрольной точке. Подготовка к зачету. | 10 |
| Разработка прототипа биосенсора в электронном формате. Подготовка к контрольной точке. Подготовка к зачету. | 10 |
| Изучение регуляторики ГМО и биоэтики. Подготовка к контрольной точке. Подготовка к зачету. | 10 |

6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающегося по дисциплине «Биоинжиниринг живых систем» размещено в электронной информационно-образовательной среде Университета и доступно для обучающегося через его личный кабинет на сайте Университета. Учебно-методическое обеспечение включает:

1. Рабочую программу дисциплины «Биоинжиниринг живых систем».
2. Методические рекомендации для организации самостоятельной работы обучающегося по дисциплине «Биоинжиниринг живых систем».
3. Методические рекомендации по выполнению письменных работ () (при наличии).
4. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы студентами заочной формы обучения (при наличии)
5. Методические указания по выполнению курсовой работы (проекта) (при наличии).

Для успешного освоения дисциплины, необходимо самостоятельно детально изучить представленные темы по рекомендуемым источникам информации:

| № п/п | Темы для самостоятельного изучения | Рекомендуемые источники информации (№ источника) | | |
|-------|--|--|-----------------------------|--------------------------|
| | | основная (из п.8 РПД) | дополнительная (из п.8 РПД) | метод. лит. (из п.8 РПД) |
| 1 | Основы биоинжиниринга. Анализ литературы по молекулярной биологии и синтетической биологии. Подготовка к контрольной точке. Подготовка к зачету. | Л1.1, Л1.2, Л1.3 | Л2.1, Л2.2, Л2.3 | Л3.1, Л3.2, Л3.3 |
| 2 | Биопроцессные технологии. Разработка прототипа биосенсора в электронном формате. Подготовка к контрольной точке. Подготовка к зачету. | Л1.1, Л1.2, Л1.3 | Л2.1, Л2.2, Л2.3 | Л3.1, Л3.2, Л3.3 |
| 3 | Системная и прикладная биология. Изучение регуляторики ГМО и биоэтики. Подготовка к контрольной точке. Подготовка к зачету. | Л1.1, Л1.2, Л1.3 | Л2.1, Л2.2, Л2.3 | Л3.1, Л3.2, Л3.3 |

7. Фонд оценочных средств (оценочных материалов) для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Биоинжиниринг живых систем»

7.1. Перечень индикаторов компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

| Индикатор компетенции (код и содержание) | Дисциплины/элементы программы (практики, ГИА), участвующие в формировании индикатора компетенции | |
|--|--|--|
| | | |

7.2. Критерии и шкалы оценивания уровня усвоения индикатора компетенций, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Оценка знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций по дисциплине «Биоинжиниринг живых систем» проводится в форме текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль проводится в течение семестра с целью определения уровня усвоения обучающимися знаний, формирования умений и навыков, своевременного выявления преподавателем недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по её корректировке, а также для совершенствования методики обучения, организации учебной работы и

оказания индивидуальной помощи обучающемуся.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Биоинжиниринг живых систем» проводится в виде Зачет.

За знания, умения и навыки, приобретенные студентами в период их обучения, выставляются оценки «ЗАЧТЕНО», «НЕ ЗАЧТЕНО». (или «ОТЛИЧНО», «ХОРОШО», «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО», «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» для дифференцированного зачета/экзамена)

Для оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в университете применяется балльно-рейтинговая система оценки качества освоения образовательной программы. Оценка проводится при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций обучающихся. Рейтинговая оценка знаний является интегрированным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине.

Состав балльно-рейтинговой оценки студентов очной формы обучения

Для студентов очной формы обучения знания по осваиваемым компетенциям формируются на лекционных и практических занятиях, а также в процессе самостоятельной подготовки.

В соответствии с балльно-рейтинговой системой оценки, принятой в Университете студентам начисляются баллы по следующим видам работ:

| № контрольной точки | Оценочное средство результатов индикаторов достижения компетенций | | Максимальное количество баллов |
|---|---|--------------------------------|----------------------------------|
| 8 семестр | | | |
| КТ 1 | Коллоквиум | | 10 |
| КТ 2 | Коллоквиум | | 10 |
| КТ 3 | Коллоквиум | | 10 |
| Сумма баллов по итогам текущего контроля | | | 30 |
| Посещение лекционных занятий | | | 20 |
| Посещение практических/лабораторных занятий | | | 20 |
| Результативность работы на практических/лабораторных занятиях | | | 30 |
| Итого | | | 100 |
| № контрольной точки | Оценочное средство результатов индикаторов достижений компетенций | Максимальное количество баллов | Критерии оценки знаний студентов |
| 8 семестр | | | |

| | | | |
|------|------------|----|--|
| КТ 1 | Коллоквиум | 10 | <p>1–3 балла (начальный уровень) – студент демонстрирует поверхностное понимание принципов работы с микроорганизмами, ферментами и клеточными культурами, не способен выбирать и применять методы культивирования и контроля (критерии: распознавание только базовых понятий, отсутствие анализа); 4–7 баллов (средний уровень) – студент знает основные методы подготовки питательных сред и базовой ферментации, может проводить простейшие эксперименты и частично интерпретировать результаты, но допускает ошибки в настройке биореакторов и аналитике (критерии: выполнение задач по образцу, частичная самостоятельность, наличие описательных, но неполных аргументов); 8–10 баллов (продвинутый уровень) – студент уверенно анализирует и выбирает биологические объекты для заданных технологических процессов, корректно настраивает и контролирует параметры ферментации, полно и обоснованно оформляет отчёты и стандарты, демонстрируя глубокое понимание и способность к самостоятельному решению нестандартных задач</p> |
|------|------------|----|--|

| | | | |
|------|------------|----|--|
| КТ 2 | Коллоквиум | 10 | <p>1–3 балла (начальный уровень) – студент демонстрирует поверхностное понимание принципов работы с микроорганизмами, ферментами и клеточными культурами, не способен выбирать и применять методы культивирования и контроля (критерии: распознавание только базовых понятий, отсутствие анализа); 4–7 баллов (средний уровень) – студент знает основные методы подготовки питательных сред и базовой ферментации, может проводить простейшие эксперименты и частично интерпретировать результаты, но допускает ошибки в настройке биореакторов и аналитике (критерии: выполнение задач по образцу, частичная самостоятельность, наличие описательных, но неполных аргументов); 8–10 баллов (продвинутый уровень) – студент уверенно анализирует и выбирает биологические объекты для заданных технологических процессов, корректно настраивает и контролирует параметры ферментации, полно и обоснованно оформляет отчёты и стандарты, демонстрируя глубокое понимание и способность к самостоятельному решению нестандартных задач</p> |
|------|------------|----|--|

| | | | |
|------|------------|----|--|
| КТ 3 | Коллоквиум | 10 | <p>1–3 балла (начальный уровень) – студент демонстрирует поверхностное понимание принципов работы с микроорганизмами, ферментами и клеточными культурами, не способен выбирать и применять методы культивирования и контроля (критерии: распознавание только базовых понятий, отсутствие анализа); 4–7 баллов (средний уровень) – студент знает основные методы подготовки питательных сред и базовой ферментации, может проводить простейшие эксперименты и частично интерпретировать результаты, но допускает ошибки в настройке биореакторов и аналитике (критерии: выполнение задач по образцу, частичная самостоятельность, наличие описательных, но неполных аргументов); 8–10 баллов (продвинутый уровень) – студент уверенно анализирует и выбирает биологические объекты для заданных технологических процессов, корректно настраивает и контролирует параметры ферментации, полно и обоснованно оформляет отчёты и стандарты, демонстрируя глубокое понимание и способность к самостоятельному решению нестандартных задач</p> |
|------|------------|----|--|

Критерии и шкалы оценивания результатов обучения на промежуточной аттестации

При проведении итоговой аттестации «зачет» («дифференцированный зачет», «экзамен») преподавателю с согласия студента разрешается выставлять оценки («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «зачет») по результатам набранных баллов в ходе текущего контроля успеваемости в семестре по выше приведенной шкале.

В случае отказа – студент сдает зачет (дифференцированный зачет, экзамен) по приведенным выше вопросам и заданиям. Итоговая успеваемость (зачет, дифференцированный зачет, экзамен) не может оцениваться ниже суммы баллов, которую студент набрал по итогам текущей и промежуточной успеваемости.

При сдаче (зачета, дифференцированного зачета, экзамена) к заработанным в течение семестра студентом баллам прибавляются баллы, полученные на (зачете, дифференцированном зачете, экзамене) и сумма баллов переводится в оценку.

Критерии и шкалы оценивания ответа на зачете

По дисциплине «Биоинжиниринг живых систем» к зачету допускаются студенты, выполнившие и сдавшие практические работы по дисциплине, имеющие ежемесячную аттестацию и без привязке к набранным баллам. Студентам, набравшим более 65 баллов, зачет выставляется по результатам текущей успеваемости, студенты, не набравшие 65 баллов, сдают зачет по вопросам, предусмотренным РПД. Максимальная сумма баллов по промежуточной аттестации (зачету) устанавливается в 15 баллов

| Вопрос билета | Количество баллов |
|-----------------------------|-------------------|
| Теоретический вопрос | до 5 |
| Задания на проверку умений | до 5 |
| Задания на проверку навыков | до 5 |

Теоретический вопрос

5 баллов выставляется студенту, полностью освоившему материал дисциплины или курса в соответствии с учебной программой, включая вопросы рассматриваемые в рекомендованной программой дополнительной справочно-нормативной и научно-технической литературы, свободно владеющему основными понятиями дисциплины. Требуется полное понимание и четкость изложения ответов по экзаменационному заданию (билету) и дополнительным вопросам, заданных экзаменатором. Дополнительные вопросы, как правило, должны относиться к материалу дисциплины или курса, не отраженному в основном экзаменационном задании (билете) и выявляют полноту знаний студента по дисциплине.

4 балла заслуживает студент, ответивший полностью и без ошибок на вопросы экзаменационного задания и показавший знания основных понятий дисциплины в соответствии с обязательной программой курса и рекомендованной основной литературой.

3 балла дан недостаточно полный и недостаточно развернутый ответ. Логика и последовательность изложения имеют нарушения. Допущены ошибки в раскрытии понятий, употреблении терминов. Студент не способен самостоятельно выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи. Студент может конкретизировать обобщенные знания, доказав на примерах их основные положения только с помощью преподавателя. Речевое оформление требует поправок, коррекции.

2 балла дан неполный ответ, представляющий собой разрозненные знания по теме вопроса с существенными ошибками в определениях. Присутствуют фрагментарность, нелогичность изложения. Студент не осознает связь данного понятия, теории, явления с другими объектами дисциплины. Отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения. Речь неграмотная. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа студента не только на поставленный вопрос, но и на другие вопросы дисциплины.

1 балл дан неполный ответ, представляющий собой разрозненные знания по теме вопроса с существенными ошибками в определениях. Присутствуют фрагментарность, нелогичность изложения. Студент не осознает связь данного понятия, теории, явления с другими объектами дисциплины. Отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения. Речь неграмотная. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа студента не только на поставленный вопрос, но и на другие вопросы дисциплины.

0 баллов - при полном отсутствии ответа, имеющего отношение к вопросу.

Задания на проверку умений и навыков

5 баллов Задания выполнены в обозначенный преподавателем срок, письменный отчет без замечаний. Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности.

4 балла Задания выполнены в обозначенный преподавателем срок, письменный отчет с небольшими недочетами.

2 баллов Задания выполнены с задержкой, письменный отчет с недочетами. Работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы.

1 баллов Задания выполнены частично, с большим количеством вычислительных ошибок, объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов.

0 баллов Задания выполнены, письменный отчет не представлен или работа выполнена не полностью, и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов.

7.3. Примерные оценочные материалы для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины «Биоинжиниринг живых систем»

Вопросы к зачету

Модуль 1. Основы биоинжиниринга

1. Определите основные этапы клонирования гена в плазмидный вектор.

2. Какие ферментативные сайты используются в методе Gibson Assembly?
3. Назовите три системы редактирования генома, помимо CRISPR-Cas9.
4. Объясните принцип работы системы CRISPR-Cas12a.
5. В чём преимущество индуктора тетрациклиновой системы Tet-ON?
6. Рассчитайте кинетический параметр V_{\max} , если при концентрации субстрата 5 мМ скорость реакции 0,8 мкМ/с, а $K_M = 2$ мМ.
7. Перечислите три ключевых этапа синтетической биологии по классификации MIT OCW.
8. Опишите задачу PBL (problem-based learning) для оптимизации ферментативного пути.
9. Что такое байпасный путь (bypass) в метаболическом инжиниринге?
10. Как отличить плазмидную ДНК от геномной с помощью гель-электрофореза?
11. Какие контрольные точки существуют при in vitro-редактировании CRISPR?
12. Приведите определение «часть» (part) и «устройство» (device) в синтетической биологии.
13. Почему важно использовать отрицательные и положительные контроли при ПЦР?
14. Опишите алгоритм выбора промотора для экспрессии белка в E. coli.
15. Какие основные принципы биоэтики при конструировании ГМО?
16. Чем различаются методы клонирования TopoTA и Gateway?
17. В чём суть метода Site-Directed Mutagenesis?
18. Опишите три шага подготовки библиотеки для NGS-секвенирования.
19. Какие ошибки возникают при секвенировании методом «пиросеквенирования»?
20. Какой эффект оказывает изменение pH среды на активность β -галактозидазы?
21. Перечислите основные требования к дизайну коротких праймеров для ПЦР.
22. Что такое «кодонная оптимизация» и зачем она нужна?
23. Назовите три типа плазмидных векторов по размеру вставки.
24. Опишите механизм работы Golden Gate Assembly.
25. Как проводится количественный анализ результатов real-time PCR?
26. Почему используют DpnI-обработку при Site-Directed Mutagenesis?
27. Что такое «контроль эффективности трансформации»?
28. Объясните принцип работы системы CRISPR-dCas9 для регуляции транскрипции.
29. Какие ограничения существуют у систем редактирования на основе TALEN?
30. Сформулируйте задачу мини-кейса: «Разработка синтетического биосенсора для обнаружения лактозы».

Модуль 2. Биопроцессные технологии

1. Назовите три класса биореакторов по режиму работы.
2. Как влияние аэрирования отражается на росте аэробных культур?
3. Опишите этапы стерилизации биореактора.
4. Какие параметры контролируются в процессе культивирования (pH, DO, T)?
5. Как рассчитывается удельная скорость роста μ ?
6. Что такое субстратная ингибция и как её учесть в моделировании?
7. Перечислите основные компоненты среды M9 для E. coli.
8. На каком принципе основана методика HPLC-анализа метаболитов?
9. Что измеряет спектрофотометр при 600 нм (OD_{600})?
10. Как проводится калибровка биосенсора на основе GFP?
11. Опишите расчёт выхода биомассы (g сухой клеточной массы/л).
12. В чём разница между batch, fed-batch и continuous процессами?
13. Как определить оптимальную скорость подачи субстрата в fed-batch?
14. Приведите формулу расчёта коэффициента удержания жидкости (RTF).
15. Какие фильтрационные методы применяются для сбора клеток?
16. Что такое массо- и энергобаланс биореактора?
17. Опишите mini-bioreaktor для скрининга штаммов.
18. Какие сенсоры используют для контроля DO (dissolved oxygen)?
19. Как проводится динамическая калибровка pH-электрода?
20. Объясните метод Bradford для количественного анализа белка.

21. Как проводится экстракция лизата перед HPLC?
22. Назовите основные источники ошибок в HPLC-анализе.
23. Каким образом рН влияет на спектральный максимум фенола?
24. Приведите два примера применения клеточных биосенсоров в пищевой биотехнологии.
25. Как рассчитывается скорость продуцирования метаболита q_P ?
26. Опишите этапы очистки культурного супернатанта.
27. Что такое Кумулятивная культура (perfusion)?
28. Как моделируется трансфер кислорода в биореакторе?
29. Приведите mini-кейс на оптимизацию рН-профиля в процессе выработки органических кислот.
30. Сформулируйте задачу: «Разработка протокола аналитики пробиотика методом HPLC».

Модуль 3. Системная и прикладная биология

1. Что такое стохастическое моделирование метаболических сетей?
 2. Опишите основные этапы работы с COBRA Toolbox.
 3. Как строятся стехиометрические матрицы для метаболических моделей?
 4. Что показывает флюкс-балансный анализ (FBA)?
 5. Опишите понятие «клеточная фабрика».
 6. Какие критерии отбора микроорганизма-фабрики?
 7. Как конструируется путь для синтеза β -каротина в *E. coli*?
 8. В чём состоит задача оптимизации «удельной производительности»?
 9. Назовите три подхода к интеграции регуляторных сетей в метаболические модели.
 10. Объясните роль микроРНК в регуляции метаболизма.
 11. Какие риски связаны с выпуском синтетических организмов в окружающую среду?
 12. Перечислите основные положения законодательства ЕС по ГМО.
 13. Что включает оценка биоэтики проекта по созданию живых систем?
 14. Как оформляется патентная заявка на генную конструкцию?
 15. Назовите три тренда в пищевой биотехнологии 2025 г.
 16. Объясните концепцию «индустриального симбиоза» в биотехнологиях.
 17. Как рассчитывается экономическая эффективность биопроцесса?
 18. Приведите пример зелёной биотехнологии в пищевой отрасли.
 19. Какие показатели качества важны для биопродуктов (консерванты, остаточные токсины)?
 20. Опишите метод разработки «клеточной фабрики» на основе *Lactobacillus spp.*
 21. В чём преимущества и недостатки ферометрических биосенсоров?
 22. Как интегрировать машинное обучение в оптимизацию процессов?
 23. Приведите три способа визуализации сложных биосетей.
 24. Какие данные необходимы для построения динамической модели роста культуры?
 25. Опишите mini-кейс: «Проект пищевого биопродукта на основе клеточной фабрики».
 26. Как проводится масштабирование процесса из лаборатории в пилот?
 27. Какие экологические стандарты необходимо учесть при запуске биопредприятия?
 28. Перечислите показатели устойчивости биопроцесса.
 29. Как проводится techno-economic assessment (TEA) биотехнологического проекта?
 30. Сформулируйте итоговую задачу: «Разработка прототипа клеточной фабрики для синтеза пищевого ароматизатора».
1. Этические и правовые аспекты применения CRISPR-Cas9 в пищевой биотехнологии.
 2. Методы оптимизации метаболических путей в *E. coli* для синтеза омега-3 жирных кислот.
 3. Проектирование и реализация клеточной фабрики для производства натуральных красителей.
 4. Сравнительный анализ batch, fed-batch и continuous процессов в промышленном культивировании микроорганизмов.
 5. Интеграция биосенсоров на основе флуоресцентных белков для контроля качества пищевых продуктов.

6. Использование Golden Gate Assembly для сборки многообразных генетических конструкций в синтетической биологии.
7. Технологии очистки и анализа метаболитов: от экстракции до HPLC-анализа.
8. Моделирование флюкс-балансного анализа (FBA) в COBRA Toolbox: примеры из пищевой биотехнологии.
9. Роль нанобиотехнологий в разработке упаковочных материалов для продления срока годности продуктов.
10. Патентование генетических конструкций: этапы оформления и основные сложности.
11. Влияние микроРНК-регуляции на метаболизм микроорганизмов-фабрик.
12. Green biotechnology: использование возобновляемых ресурсов и снижение экологического следа пищевого производства.

Вопросы для устного опроса:

Тема 1. Основы биоинжиниринга

1. Что такое биоинжиниринг и каково его значение в пищевой биотехнологии?
2. Какие основные этапы включает процесс биоинжиниринга живых систем?
3. Какие дисциплины интегрируются в рамках биоинжиниринга?
4. Что такое геномика и как она используется в биоинжиниринге?
5. Перечислите методы редактирования генома, применяемые в биоинжиниринге.
6. Что такое CRISPR/Cas9 и какова его роль в генной инженерии?
7. В чем различие между генно-модифицированными организмами (ГМО) и трансгенными организмами?
8. Какие этапы включает создание трансгенного микроорганизма?
9. Объясните принципы культивирования клеток *in vitro*.
10. Что такое промотер и как он влияет на экспрессию гена в системе биоинжиниринга?
11. Каковы критерии выбора вектора для генной модификации?
12. Какие модели используются для предсказания поведения биологических систем при биоинженерных модификациях?
13. Что такое синтетическая биология и как она связана с биоинжинирингом?
14. Какие риски и этические вопросы сопровождают развитие биоинжиниринга?
15. Приведите примеры применения биоинжиниринга в производстве продуктов питания.

Тема 2. Биопроцессные технологии

1. Что такое биопроцесс и из каких этапов он состоит?
2. Какие типы биореакторов используются в пищевой промышленности?
3. Что понимается под стерилизацией в биопроцессах и какие методы применяются?
4. Объясните различия между периодическим, полунепрерывным и непрерывным режимами ферментации.
5. Какие параметры необходимо контролировать в процессе ферментации?
6. Что такое апстриминг и даунстриминг в биопроцессах?
7. Как осуществляется масштабирование биопроцессов от лаборатории до промышленности?
8. Какие виды клеточных культур применяются в пищевых биопроцессах?
9. Каковы основные методы отделения и очистки биопродуктов?
10. В чем суть метода хроматографии при очистке продуктов ферментации?
11. Объясните принцип работы мембранных технологий в биопроцессах.
12. Какие факторы влияют на продуктивность биореактора?
13. Что такое биокатализ и как он используется в пищевой промышленности?
14. В чем особенности аэробных и анаэробных процессов ферментации?
15. Какие современные цифровые технологии используются в управлении биопроцессами?

Тема 3. Системная и прикладная биология

1. Что изучает системная биология?
2. Как связаны между собой системная биология и биоинформатика?
3. Какие уровни организации биосистем рассматривает системная биология?

4. Что такое метаболическая сеть и как она моделируется?
5. Какие методы используются для анализа экспрессии генов?
6. Объясните роль транскриптомики и протеомики в системной биологии.
7. Что такое омикс-технологии и как они применяются в прикладной биологии?
8. Приведите примеры использования прикладной биологии в пищевой индустрии.
9. Что такое биомаркеры и как они используются в диагностике?
10. В чем отличие функционального и структурного анализа биосистем?
11. Как строятся и анализируются регуляторные сети генов?
12. Объясните значение микробиома в пищевой биотехнологии.
13. Как моделирование биосистем помогает в проектировании новых продуктов?
14. Какие задачи решает прикладная биология в агропромышленном комплексе?
15. Приведите примеры успешного применения системной биологии в разработке пробиотиков и функциональных продуктов питания.

Коллоквиум 1: Модуль 1 — Основы биоинжиниринга

Цель: Оценить понимание студентами молекулярных инструментов, методов геной инженерии и синтетической биологии.

Теоретические вопросы:

1. Опишите механизм действия системы CRISPR-Cas9.
2. Какие этапы включает процесс клонирования гена в плазмидный вектор?
3. В чём заключается метод Golden Gate Assembly?
4. Объясните принцип работы системы Tet-ON/Tet-OFF.
5. Что такое кодонная оптимизация и зачем она необходима?

Практические задания:

- Задание 1: Рассчитайте концентрацию ДНК после ПЦР, если исходная концентрация составляла 50 нг/мкл, а объём увеличился вдвое.
- Задание 2: Составьте схему клонирования гена интереса в экспрессионный вектор, указав необходимые ферменты и праймеры.

Коллоквиум 2: Модуль 2 — Биопроцессные технологии

Цель: Проверить знания студентов в области культивирования микроорганизмов, работы с биореакторами и аналитических методов.

Теоретические вопросы:

1. Опишите различия между batch, fed-batch и continuous процессами культивирования.
2. Какие параметры контролируются в биореакторе и как они влияют на рост культуры?
3. Объясните принцип работы спектрофотометра при измерении оптической плотности.
4. Что такое удельная скорость роста (μ) и как она рассчитывается?
5. Какие методы используются для стерилизации биореакторов?

Практические задания:

- Задание 1: Рассчитайте удельную скорость роста микроорганизмов, если OD₆₀₀ увеличилась с 0.2 до 0.8 за 4 часа.
- Задание 2: Составьте план стерилизации биореактора перед началом процесса культивирования.

Коллоквиум 3: Модуль 3 — Системная и прикладная биология

Цель: Оценить способность студентов применять системный подход в биологии, моделировать метаболические пути и учитывать биоэтические аспекты.

Теоретические вопросы:

1. Что такое флюкс-балансный анализ (FBA) и как он применяется в метаболическом моделировании?
2. Опишите основные этапы построения метаболической модели в COBRA Toolbox.
3. Какие биоэтические вопросы возникают при создании ГМО?
4. В чём заключается концепция «клеточной фабрики»?
5. Как оценивается экологическая безопасность биотехнологических производств?

Практические задания:

- Задание 1: Используя упрощённую метаболическую сеть, определите возможные

пути синтеза целевого продукта.

- Задание 2: Составьте SWOT-анализ для внедрения клеточной фабрики в производство пищевых добавок.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

основная

Л1.1 Музафаров Е. Н. Биотехнология. Основы биологии [Электронный ресурс]:учеб. пособие ; ВО - Бакалавриат. - Санкт-Петербург: Лань, 2022. - 168 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/193279>

Л1.2 edited by J. Nau, G. L. Van Hoosier, Ir.; Library of Congress Cataloging-in-Publication Data Animal Models:. - Boca Raton, London, New York: CRC Press, 2005. - 305 с.

Л1.3 Вертикова Е. А., Пыльнев В. В., Попченко М. И., Голиванов Я. Ю., Вертикова Е. А. Общая генетика [Электронный ресурс]:учебное пособие для вузов. - Санкт-Петербург: Лань, 2023. - 112 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/339623>

дополнительная

Л2.1 Якупов Т. Р., Фаизов Т. Х. Молекулярная биотехнология [Электронный ресурс]:учебник; ВО - Бакалавриат, Магистратура, Специалитет. - Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 160 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/179623>

Л2.2 Музафаров Е. Н. Биотехнология. Основы биологии [Электронный ресурс]:учеб. пособие; ВО - Бакалавриат. - Санкт-Петербург: Лань, 2024. - 168 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/430568>

Л2.3 Вертикова Е. А., Пыльнев В. В., Попченко М. И., Голиванов Я. Ю., Вертикова Е. А. Общая генетика [Электронный ресурс]:учеб. пособие; ВО - Бакалавриат. - Санкт-Петербург: Лань, 2025. - 112 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/454442>

б) Методические материалы, разработанные преподавателями кафедры по дисциплине, в соответствии с профилем ОП.

Л3.1 Алексеев Г. В., Бриденко И. И., Головацкий В. А., Верболоз Е. И. Компьютерные технологии при проектировании и эксплуатации технологического оборудования [Электронный ресурс]:учеб. пособие ; ВО - Бакалавриат. - Санкт-Петербург: ГИОРД, 2012. - 256 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=4878

Л3.2 Красуля О. Н., Николаева С. В., Краснов А. Е., Токарев А. В. Математическое моделирование рецептур и технологий производства пищевых продуктов [Электронный ресурс]:учебник; ВО - Бакалавриат, Магистратура, Аспирантура. - Санкт-Петербург: ГИОРД, 2024. - 352 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/460766>

Л3.3 Алексеев Г. В., Бриденко И. И., Кравцова Е. В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Процессы и аппараты пищевых систем» [Электронный ресурс]:учеб. пособие ; ВО - Бакалавриат, Магистратура. - Санкт-Петербург: Лань, 2025. - 296 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/464291>

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

| № | Наименование ресурса сети «Интернет» | Электронный адрес ресурса |
|---|--|---|
| 1 | MIT OpenCourseWare: Synthetic Biology & Biological Engineering | https://ocw.mit.edu/courses/7-91j-foundations-of-computational-and-systems-biology-spring-2014/resources/lecture-21-synthetic-biology-from-parts-to-modules-to-therapeutic-systems/?utm_source=chatgpt.com |

| | | |
|---|---|---|
| 2 | Coursera: Food Science и Biotechnology Specializations | https://www.coursera.org/courses?query=food+science&utm_source=chatgpt.com |
| 3 | edX: Biomedical & Chemical Engineering | https://www.edx.org/learn/biomedical-engineering?utm_source=chatgpt.com |
| 4 | iBiology: CRISPR-Cas Technology | https://www.ibiology.org/crispr-cas-technology/?utm_source=chatgpt.com |
| 5 | Protocols.io: workspace «Beneficial Bio» | https://www.protocols.io/workspaces/beneficial-bio?utm_source=chatgpt.com |
| 6 | Benchling Learning Labs – интерактивные гайды по клонированию, дизайну праймеров, in silico-моделированию PCR и CRISPR, поддержка лабораторных записей в «облаке» | https://help.benchling.com/hc/en-us/articles/9684234496013-The-Basics-of-Benchling?utm_source=chatgpt.com |
| 7 | The COBRA Toolbox Tutorials – набор руководств по моделированию метаболических сетей | https://opencobra.github.io/cobratoolbox/stable/tutorials/index.html?utm_source=chatgpt.com |

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины «Биоинжиниринг живых систем» (направление 19.03.01 — Биотехнология, профиль «Биотехнология продуктов питания»). Данные рекомендации разработаны с учётом современных образовательных стандартов и практик организации учебного процесса.

Цель дисциплины

Формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков в области биоинжиниринга живых систем, включая методы геной и белковой инженерии, биопроцессные технологии, системную и прикладную биологию, с акцентом на применение в пищевой биотехнологии.

Структура дисциплины

Общая трудоёмкость: 108 часов, включая:

- Лекции: 24 часа (12 занятий по 2 часа)
- Практические занятия: 54 часа (13 занятий по 4 часа и 1 занятие на 2 часа)
- Самостоятельная работа: 78 часов

Дисциплина разделена на три модуля:

1. Основы биоинжиниринга
2. Биопроцессные технологии
3. Системная и прикладная биология

Каждый модуль завершается коллоквиумом для оценки усвоения материала.

Рекомендации по освоению дисциплины

1. Подготовка к занятиям

- Ознакомьтесь с планом дисциплины и расписанием занятий.
- Перед лекциями просмотрите рекомендуемую литературу по теме.
- К практическим занятиям подготовьте необходимые материалы и выполните предварительные задания.

2. Участие в занятиях

- Активно участвуйте в обсуждениях и выполнении практических заданий.
- Задавайте вопросы для уточнения непонятных моментов.
- Ведите конспекты лекций и практических занятий для последующего повторения материала.

3. Самостоятельная работа

Распределите время для изучения теоретического материала, выполнения практических заданий и подготовки к коллоквиумам.

- Используйте рекомендованные учебники, научные статьи и интернет-ресурсы.
- Подготовьте рефераты и презентации по заданным темам.

4. Подготовка к коллоквиумам

- Повторите пройденный материал каждого модуля.
- Ответьте на контрольные вопросы и выполните типовые задания.
- Обратитесь к преподавателю для консультации по сложным вопросам.

Рекомендуемые ресурсы

- Учебники и пособия, указанные в рабочей программе дисциплины.
- Научные статьи из рецензируемых журналов по биотехнологии.
- Электронные ресурсы и базы данных, рекомендованные преподавателем.

Следуя данным методическим указаниям, вы сможете эффективно организовать процесс обучения и успешно освоить материал дисциплины «Биоинжиниринг живых систем».

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства и информационных справочных систем (при необходимости).

11.1 Перечень лицензионного программного обеспечения

1. Kaspersky Endpoint Security 12.11 - Антивирус

11.3 Перечень программного обеспечения отечественного производства

1. Kaspersky Endpoint Security 12.11 - Антивирус

При осуществлении образовательного процесса студентами и преподавателем используются следующие информационно справочные системы: СПС «Консультант плюс», СПС «Гарант».

12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

| № п/п | Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы | Номер аудитории | Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы |
|-------|--|-----------------|---|
| 1 | Учебная аудитория для проведения занятий всех типов (в т.ч. лекционного, семинарского, практической подготовки обучающихся), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации | 37 | Специализированная мебель: столы – 14 шт., стулья - 28 шт., лабораторные столы – 6 шт., шкаф для реактивов – 1 шт., шкаф-витрина – 2 шт., сушильный шкаф (SNOL 58/350) – 1 шт., термостат INB 400, Memmert– 1 шт., вытяжной шкаф МВП-001– 1 шт., поляриметр круговой СМ-3– 1 шт., центрифуга универсальная Z-300– 1 шт., рефрактометр ИРФ-454Б2М – 1 шт., титровальная установка КЕ БМ– 1 шт., лабораторные весы VIBRANJ-220 CE– 1 шт., водяная баня GFL на 6 мест – 1 шт., плазменная ТВ панель - 1 шт., компьютер преподавательский- 1шт, демонстрационные плакаты, макеты, подключение к сети «Интернет», доступ в электронную информационно-образовательную среду университета, выход в корпоративную сеть университета |
| 2 | Помещение для самостоятельной работы обучающихся, подтверждающее наличие материально-технического обеспечения, с перечнем основного оборудования | | |
| | | 130 | Специализированная мебель на 100 посадочных мест, персональные компьютеры – 56 шт., телевизор – 1шт., принтер – 1шт., цветной принтер – 1шт., копировальный аппарат – 1шт., сканер – 1шт., Wi-Fi оборудование, подключение к сети «Интернет», доступ в электронную информационно-образовательную среду университета, выход в корпоративную сеть университета. |

13. Особенности реализации дисциплины лиц с ограниченными возможностями здоровья

Обучающимся с ограниченными возможностями здоровья предоставляются специальные учебники и учебные пособия, иная учебная литература, специальные технические средства обучения коллективного и индивидуального пользования, предоставление услуг ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь, а также услуги сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

а) для слабовидящих:

- на промежуточной аттестации присутствует ассистент, оказывающий студенту необходимую техническую помощь с учетом индивидуальных особенностей (он помогает занять рабочее место, передвигаться, прочитать и оформить задание, в том числе записывая под диктовку);

- задания для выполнения, а также инструкция о порядке проведения промежуточной аттестации оформляются увеличенным шрифтом;

- задания для выполнения на промежуточной аттестации зачитываются ассистентом;

- письменные задания выполняются на бумаге, надиктовываются ассистенту;

- обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс;

- студенту для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство;

в) для глухих и слабослышащих:

- на промежуточной аттестации присутствует ассистент, оказывающий студенту необходимую техническую помощь с учетом индивидуальных особенностей (он помогает занять рабочее место, передвигаться, прочитать и оформить задание, в том числе записывая под диктовку);

- промежуточная аттестация проводится в письменной форме;

- обеспечивается наличие звукоусиливающей аппаратуры коллективного пользования, при необходимости поступающим предоставляется звукоусиливающая аппаратура индивидуального пользования;

- по желанию студента промежуточная аттестация может проводиться в письменной форме;

д) для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата (тяжелыми нарушениями двигательных функций верхних конечностей или отсутствием верхних конечностей):

- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением или надиктовываются ассистенту;

- по желанию студента промежуточная аттестация проводится в устной форме.

Рабочая программа дисциплины «Биоинжиниринг живых систем» составлена на основе Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 19.03.01 Биотехнология (приказ Минобрнауки России от 10.08.2021 г. № 736).

Автор (ы)

_____ зав. каф. КТПИПС, дбн Шлыков Сергей Николаевич

Рецензенты

_____ доц. КТПИПС, ксхн Растоваров Евгений Иванович

_____ доц. КТПИПС, квн Ходусов Александр Анатольевич

Рабочая программа дисциплины «Биоинжиниринг живых систем» рассмотрена на заседании Кафедра технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции протокол № 12 от 09.04.2026 г. и признана соответствующей требованиям ФГОС ВО и учебного плана по направлению подготовки 19.03.01 Биотехнология

Заведующий кафедрой _____ Шлыков Сергей Николаевич

Рабочая программа дисциплины «Биоинжиниринг живых систем» рассмотрена на заседании учебно-методической комиссии Институт ветеринарии и биотехнологий протокол № 5 от 14.04.2026 г. и признана соответствующей требованиям ФГОС ВО и учебного плана по направлению подготовки 19.03.01 Биотехнология

Руководитель ОП _____