



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**(ФГБОУ ВО «ИГУ»)**



Утверждаю  
Проректор по учебной работе  
А.И. Вокин

**ПРОГРАММА**  
вступительного испытания для поступающих на обучение по  
программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в  
аспирантуре

**Научная специальность: 1.5.6 Биотехнология**

**Иркутск 2026**

# 1. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

## Введение

Биотехнология как междисциплинарная область науки, объединяющая достижения молекулярной биологии, генетики, микробиологии, биохимии, химической технологии и инженерных наук. Исторические этапы развития биотехнологии. Классификация направлений современной биотехнологии. Основные продукты биотехнологии: ферменты, антибиотики, органические кислоты, аминокислоты, витамины, биополимеры, биотопливо, рекомбинантные белки, вакцины и другие биофармацевтические препараты.

Биологическая безопасность и биоэтика. Роль биотехнологии в устойчивом развитии и формировании биоэкономики. Особенности развития исследований и коммерциализации биотехнологий.

## 1. Биологические объекты и условия их хранения

Типы биообъектов в биотехнологии. Основные группы микроорганизмов, используемых в биотехнологии: бактерии, дрожжи, микроскопические грибы, археи, микроводоросли. Штаммы-продуценты и методы их получения: мутагенез, селекция, адаптивная лабораторная эволюция, методы генетической инженерии. Проблемы стабилизации промышленных штаммов и способы поддержания их продуктивности.

Клеточные культуры растений и животных как объекты биотехнологии. Типы клеточных культур: первичные культуры, перевиваемые клеточные линии, трансформированные клеточные линии. Индуцированные плюрипотентные стволовые клетки (iPSC), методы их получения и перспективы применения. Современные клеточные модели: трёхмерные клеточные культуры, органоиды, системы organ-on-chip (орган на чипе).

Методы и условия хранения биологических объектов: субкультивирование (периодические пересевы), лиофилизация, хранение при низких температурах, криоконсервация. Криобанки и сохранение генофонда микроорганизмов и клеточных культур.

## 2. Биотехнологические процессы и оборудование

Основные этапы биотехнологического процесса. Подготовка биотехнологического процесса (**Upstream-процессы**): подготовка инокулята, подготовка питательной среды, культивирование биообъектов. Приготовление посевного материала и питательных сред для культивирования микроорганизмов, клеток растений и животных. Характеристика основных групп питательных субстратов, используемых в биотехнологии. Составление рецептов питательных сред. Методы стерилизации и обеззараживания питательных сред. Типы биореакторов. Основные параметры биотехнологических процессов. Системы теплообмена, стерилизации, пеногашения, контроля и управления процессами. Методы контроля и автоматизации биотехнологических процессов. Физиология и метаболизм микроорганизмов. Фазы роста микроорганизмов в периодической культуре. Первичные и вторичные метаболиты микроорганизмов. Биосинтез антибиотиков, органических кислот, аминокислот и ферментов. Регуляция биосинтеза метаболитов:

катаболитная репрессия, индукция и репрессия синтеза ферментов. Суперпродуценты и механизмы устойчивости продуцента к токсичности синтезируемого продукта.

Методы культивирования клеток *in vitro*. Моделирование и оптимизация биотехнологических процессов. Масштабирование биотехнологических процессов. Процессы выделения и очистка продуктов биосинтеза (**Downstream-процессы**). Основные методы очистки биотехнологических продуктов: центрифугирование, фильтрация, мембранные методы, хроматография. Обезвоживание, стабилизация и модификация целевых продуктов. Оборудование для концентрирования и сушки продуктов биосинтеза. Современные методы анализа биотехнологических продуктов: иммуноферментный анализ (ИФА), масс-спектрометрия, биосенсорные системы: принципы и основные компоненты. Типы биосенсоров: ферментные, иммунные, ДНК-сенсоры, клеточные сенсоры.

### **3. Молекулярная биотехнология**

Структура и организация генома. Геном прокариот и эукариот. Рекombинантные ДНК как основа генетической инженерии. Технологии создания рекомбинантной ДНК. Рестрикционные эндонуклеазы. Методы создания рекомбинантных организмов: векторное клонирование, гомологичная рекомбинация, слияние протопластов, CRISPR-Cas-редактирование.

Биологические системы переноса рекомбинантной ДНК в клетки. Использование плазмид в генной инженерии. Маркерные гены и методы селекции трансформированных клеток. Методы молекулярной биологии: рестрикционный анализ, электрофорез нуклеиновых кислот, полимеразная цепная реакция (ПЦР), синтез кДНК, гибридизационные методы. Методы секвенирования ДНК: секвенирование по Сэнгеру, высокопроизводительное секвенирование (NGS).

Редактирование генома и синтетическая биология. Современные технологии редактирования генома: CRISPR-Cas системы, TALEN, цинковые пальцевые нуклеазы. Базовое редактирование (base editing) и прайм-редактирование (prime editing). Применение редактирования генома в медицине, сельском хозяйстве и промышленной биотехнологии.

Метаболическая инженерия. Целенаправленное изменение метаболических путей микроорганизмов для повышения выхода целевых продуктов. Получение рекомбинантных белков. Системы экспрессии рекомбинантных белков: бактерии (*Escherichia coli*), дрожжи, клетки насекомых, клетки млекопитающих. Этапы получения рекомбинантных белков: клонирование гена, трансформация или трансфекция клеток, культивирование клеток, индукция экспрессии, выделение и очистка белка. Проблемы экспрессии рекомбинантных белков.

### **4. Ферментная биотехнология**

Источники ферментов: животного происхождения, растительного происхождения, микробные ферменты. Технологические этапы производства ферментных препаратов. Комплексные ферментные препараты и их применение.

Иммобилизованные ферменты. Методы иммобилизации: адсорбция на нерастворимых носителях, включение в гели, использование полупроницаемых мембран,

ковалентное связывание. Микрокапсулирование, включение в липосомы и волокна. Биокатализаторы на основе целых клеток. Внутриклеточная регенерация коферментов.

## **5. Современные направления биотехнологии**

Метагеномика и анализ микробных сообществ. Микробиом человека и его роль в здоровье и заболеваниях. Высокопроизводительные omics-технологии: геномика, транскриптомика, протеомика, метаболомика. Single-cell технологии и анализ отдельных клеток. Биоинформатика и анализ больших биологических данных. Применение методов искусственного интеллекта и машинного обучения в биотехнологии. Генная терапия и использование вирусных векторов (AAV, аденовирусы, лентивирусы).

mRNA-технологии и разработка вакцин.

## **6. Биобезопасность и биоэтика**

Биологическая безопасность при работе с микроорганизмами и генетически модифицированными организмами. Этические проблемы современной биотехнологии: редактирование генома человека, клонирование, использование ГМО. Международные нормы и принципы биобезопасности.

## **2. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ**

### **Основная литература**

1. Биотехнология [Текст]: в 2 ч.: учеб. и практикум для акад. бакалавриата / ред.: Н. В. Загоскина, Л. В. Назаренко. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Юрайт, 2018 (25 экз.)
2. Якупов, Т. Р. Молекулярная биотехнология/ Т. Р. Якупов, Т. Х. Фаизов. — Казань: КГАВМ им. Баумана, 2018. — 280 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/122952> (дата обращения: 17.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Баженова, И. А. Основы молекулярной биологии. Теория и практика: учебное пособие для вузов / И. А. Баженова, Т. А. Кузнецова. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 140 с. — ISBN 978-5-8114-6787-7. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152444> (дата обращения: 17.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Современные научные, технологические и социально-этические проблемы в биотехнологии: учебное пособие / Ж. А. Сапронова, С. В. Свергузова, Н. С. Лупандина, А. В. Святченко. — Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2020. — 78 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/177606> (дата обращения: 17.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Кузнецов С. Л., Дмитриев А. В., Кузнецова С. А. Биотехнология : учебник для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Юрайт, 2021. — 403 с. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://urait.ru> (дата обращения: 12.03.2026).
6. Загоскина Н. В., Назаренко Л. В. Биотехнология растений : учебник и практикум для вузов. — Москва : Юрайт, 2021. — 324 с. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://urait.ru> (дата обращения: 12.03.2026).
7. Калашникова Е. А. Клеточная инженерия растений: учебное пособие. — Москва : Юрайт, 2020. — 318 с. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://urait.ru> (дата обращения: 12.03.2026).

8. Жданов Р. И., Леванова Г. Ф. Молекулярная биотехнология. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 384 с. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 12.03.2026).
9. Животовский Л. А., Рубан И. С. Биоинформатика и анализ геномных данных. — Москва : Лаборатория знаний, 2023. — 376 с. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 12.03.2026).
10. Тарасов В. В., Бутенко Р. Г. Клеточные технологии и тканевая инженерия. — Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2022. — 352 с. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.studentlibrary.ru> (дата обращения: 12.03.2026).

### Дополнительная литература

1. Системы организации, контроля и управления биотехнологическими процессами и производством: учебное пособие / Е. А. Фауст, А. К. Никифоров, А. В. Комиссаров [и др.]. — Саратов: Саратовский ГАУ, 2019 — Часть 1: Нормирование биотехнологических производств — 2019. — 220 с. — ISBN 978-5-91818-602-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/137493> (дата обращения: 17.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Сеницын А. П., Варфоломеев С. Д. Ферментативный катализ в биотехнологии. — Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2019. — 415 с.
3. Кригер, О. В. Организация биотехнологических производств: учебное пособие / О. В. Кригер, С. А. Иванова. — Кемерово: КемГУ, 2018. — 99 с. — ISBN 979-5-89289-176-8. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/107701> (дата обращения: 17.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Акимова, С. А. Биотехнология: учебное пособие / С. А. Акимова, Г. М. Фирсов. — 2-е изд. — Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2018. — 144 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/112369> (дата обращения: 17.03.2022). — Режим доступа: для авториз. Пользователей
5. Шимова, Ю. С. Моделирование биотехнологических процессов: учебное пособие / Ю. С. Шимова, Н. Ю. Демиденко. — Красноярск: СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2018. — 96 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/147480> (дата обращения: 17.03.2022). — Режим доступа: для авториз. Пользователей
6. Миронов, П. В. Методы выделения и анализа продуктов биосинтеза: учебное пособие / П. В. Миронов, Е. В. Алаудинова. — Красноярск: СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2019. — 116 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/147482> (дата обращения: 17.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей
7. Введение в биотехнологию [Электронный ресурс]: учеб. для вузов по напр. "Биология" и смежным напр./ А. И. Нетрусов. - ЭВК. -М.: Академия, 2014. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - 20 доступов. -ISBN 978-5-4468-0345-3
8. Промышленное производство биологически активных веществ: учебное пособие / А. Ю. Просеков, О. В. Кригер, Л. С. Дышлюк, Л. К. Асякина. — Кемерово: КемГУ, 2020. — 82 с. — ISBN 978-5-8353-2687-7. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/162609> (дата обращения: 17.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

9. Биология клетки. Физико-химические, структурно-функциональные и информационные основы [Текст] : учеб. пособие / Г. Ф. Жегунов [и др.] ; ред. Г. Ф. Жегунов. - 5-е изд., стер. - М.: Ленанд, 2018. - 542 с. ISBN 978-5-9710-4976-0 :
10. Чемерилова, В.И. Основы геномики и протеомики: технологии рекомбинантных ДНК первого поколения (генная инженерия) / В. И. Чемерилова. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2014. – 238 с. - ISBN 978-5-9624-1217-7 (39 экз.)
11. [Ермишин, А. П.](#) Генетически модифицированные организмы и биобезопасность [Электронный ресурс] / А. П. Ермишин. - Минск: Беларуская навука, 2013. - 171 с. - Режим доступа: ЭБС "Айбукс". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-985-08-1592
12. [Фрешни, Р. Я.](#) Культура животных клеток [Электронный ресурс] / Р. Я. Фрешни. - М: Бином. Лаборатория знаний, 2013. - 691 с Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". – Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-9963-1342-6
13. [Огарков Б. Н.](#) Мусота - основа многих биотехнологий [Электронный ресурс] / Б. Н. Огарков. - ЭВК. - Иркутск: Время странствий, 2011. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". – Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-91344-259-8 (10 экз.)
14. Мефодьев, Г. А. Генетика с основами биотехнологии: учебное пособие / Г. А. Мефодьев. — Чебоксары: ЧГСХА, 2017. — 118 с. — ISBN 978-5-7677-2605-9. — Текст: лектронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/139072> (дата обращения: 17.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
15. [Ксенофонтов Б. С.](#) Основы микробиологии и экологической биотехнологии [Электронный ресурс] / Б. С. Ксенофонтов. - ЭВК. - М.: Инфра-М, 2015. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-8199-0615-6. - ISBN 978-5-16-010286-3
16. Фирсов, Г. М. Вирусология и биотехнология: учебное пособие / Г. М. Фирсов, С. А. Акимова. — 2-е изд., доп. — Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2015. — 232 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/76630> (дата обращения: 17.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
17. Биотехнология в животноводстве: учебник / Е.Я. Лебедев, П.С. Катмаков, А.В. Бушов, В.П. Гавриленко. - 2-е изд. Санкт-Петербург: Лань, 2022 - 160 с.
18. Песцов, Г. В. Биотехнология: учебно-методическое пособие / Г. В. Песцов, Н. Н. Жуков. — Тула: ТГПУ, 2021. — 68 с. — ISBN 978-5-6045162-5-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/213473> (дата обращения: 17.03.2022). — Режим доступа: для авториз. Пользователей
19. Пономаренко А. Г., Молчанова Н. А. Современная молекулярная биология и биотехнология. — Москва: Академия, 2021. — 368 с.
20. Варфоломеев С. Д., Калюжный С. В. Биотехнология: кинетические основы микробиологических процессов. — Москва: Академия, 2019. — 272 с.
21. Сеницын А. П., Лозинская Н. А. Ферментная биотехнология: учебное пособие. — Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2020. — 336 с.
22. Загоскина Н. В., Назаренко Л. В. Биотехнология растений: учебник и практикум для вузов. — Москва: Юрайт, 2021. — 324 с.
23. Калашникова Е. А. Клеточная инженерия растений: учебное пособие для вузов. — Москва: Юрайт, 2020. — 318 с.
24. Бутенко Р. Г. Культура клеток растений и биотехнология. - Москва: Наука, 2019. — 280 с.
25. Пирузян Л. А. Основы генетической инженерии и биотехнологии. — Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021. — 352 с.
26. Афанасьев А. В., Белова Е. В., Герман К. Э. Химические и физико-химические методы исследования в биологии и медицине: учебное пособие. — Москва: Граница, 2019. — 148 с.

27.Смятская Ю. А., Туми А. Современная биотехнология: учебное пособие. — Санкт-Петербург: Троицкий мост, 2024. — 156 с.

#### ***в) периодические издания***

«Биотехнология», «Микробиология», «Прикладная биохимия и микробиология», «Вестник биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю.А. Овчинникова», «Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология», «Коммерческая биотехнология», Nature Biotechnology, Trends in Biotechnology., Biotechnology Advances, Journal of Biotechnology, Applied Microbiology and Biotechnology, Critical Reviews in Biotechnology, Biotechnology and Bioengineering

#### ***г) список авторских методических разработок***

Саловарова, В. П. Эколого-биотехнологические основы конверсии растительных субстратов. учеб. пособие для студ. вузов / В. П. Саловарова; Иркутский гос. ун-т, Науч. б-ка. - 2-е изд., перераб. и доп. М. Энергия, 2006. - 543с. ISBN-598908-001-4 (45 экз)

#### ***д) Интернет-ресурсы и профессиональные базы данных в области биотехнологии***

Для проведения научных исследований, поиска и анализа научной информации в области биотехнологии используются специализированные международные и национальные информационные ресурсы, базы данных и поисковые системы.

##### **А) Международные научные базы данных и платформы**

**1. PubMed** - Крупнейшая международная база данных биомедицинской литературы, поддерживаемая Национальной медицинской библиотекой США (NIH). Содержит миллионы научных публикаций по молекулярной биологии, генетике, биотехнологии, фармакологии и медицине.

**2. PubMed Central**- Цифровой архив полнотекстовых научных статей по биомедицинским наукам, включая исследования в области биотехнологии и молекулярной биологии.

**3. Scopus**- Международная реферативная база данных научных публикаций и цитирования. Используется для анализа научной активности, поиска публикаций и оценки научного влияния исследований.

**4. Web of Science** -Международная база данных научного цитирования, включающая высокорейтинговые журналы по биотехнологии, биохимии, микробиологии и смежным областям науки.

**5. Google Scholar** -Поисковая система научной литературы, индексирующая статьи, книги, диссертации и материалы научных конференций.

##### **Б) Геномные и молекулярно-биологические базы данных**

**6. GenBank** -Одна из крупнейших мировых баз данных нуклеотидных последовательностей ДНК и РНК, используемая для исследований в области геномики и молекулярной биологии.

**7. UniProt** -Международная база данных белковых последовательностей и функциональной информации о белках.

**8. Protein Data Bank**-База данных трёхмерных структур белков, нуклеиновых кислот и их комплексов, широко используемая в структурной биологии и биоинформатике.

9. **KEGG**-База данных геномов, метаболических путей и биохимических процессов, применяемая для анализа метаболических сетей и системной биологии.

10. **Ensembl**- Геномная база данных и браузер геномов, позволяющий анализировать структуру генов, генетические вариации и функции геномных элементов.

### **В) Российские научные информационные ресурсы**

11. **eLIBRARY.RU** -Крупнейшая российская научная электронная библиотека, содержащая журналы, монографии, диссертации и материалы научных конференций.

12. **CyberLeninka** - Научная электронная библиотека открытого доступа, предоставляющая свободный доступ к научным статьям российских журналов.

13. **Национальная электронная библиотека**- Государственная электронная библиотека, включающая научные и образовательные ресурсы.

### **Г) Электронные библиотечные системы**

14. **Лань** - Электронная библиотечная система учебной и научной литературы, широко используемая в университетах России.

15. **Юрайт** -Электронная образовательная платформа, предоставляющая доступ к учебникам и научной литературе по биологии и биотехнологии.

### **Д) Программные инструменты для анализа и моделирования**

#### **1. Анализ нуклеотидных и белковых последовательностей**

1. **BLAST** – поиск гомологичных последовательностей и оценка функциональных связей генов.
2. **Clustal Omega** – множественное выравнивание последовательностей для филогенетического анализа.
3. **MEGA** – анализ эволюции геномов, построение деревьев и статистический анализ данных.
4. **BioEdit** – редактор нуклеотидных и белковых последовательностей для аннотации и подготовки данных.

#### **2 Моделирование и структурный анализ белков**

5. **PyMOL** – визуализация трёхмерных структур белков, ДНК и РНК, анализ взаимодействий с лигандами.
6. **Swiss-Model** – гомологическое моделирование белков.
7. **AlphaFold** – искусственный интеллект для точного предсказания структур белков.
8. **PROCHECK** – проверка качества моделей белков и оценка достоверности структур.

#### **3 Анализ больших данных и биоинформатика**

9. **Galaxy** – анализ геномных, транскриптомных и протеомных данных, поддержка рабочих процессов NGS.
10. **Cytoscape** – визуализация и анализ сетей взаимодействий белок-белок, ген-белок.
11. **R / Bioconductor** – статистическая обработка биологических данных, анализ секвенирования и визуализация результатов.

#### **4 Метаболическая инженерия и синтетическая биология**

12. **COBRA Toolbox** – моделирование метаболических сетей микроорганизмов и оптимизация биотехнологических процессов.
13. **CellDesigner** – построение динамических моделей клеточных процессов, метаболических и сигнальных путей.

14. **Geneious** – анализ генетических последовательностей, проектирование ПЦР и клонирования.

15. **SnapGene** – проектирование векторов, редактирование генов, визуализация молекулярно-биологических экспериментов.

### 3. ФОРМА ПРОВЕДЕНИЯ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ

Вступительные испытания проводятся в письменной и устной форме по билетам. Для подготовки ответа поступающие используют экзаменационные листы, которые сохраняются после приема экзамена в течение года. На подготовку к ответу даётся 90 минут.

Каждый билет содержит 10 вопросов, из которых 1-9-ые вопросы соответствуют программе вступительных испытаний по специальной дисциплине, а 10-ый вопрос – о планируемом диссертационном исследовании поступающего.

#### Критерии оценки вопросов в билете:

- Вопросы с 1-го по 6-ой предполагают краткий ответ по существу (поступающий должен продемонстрировать знание терминологии, основных концепций и т.п. всех разделов научной специальности).

Критерий	№ вопроса	Баллы
Дан правильный и полный ответ, раскрывающий суть вопроса.	1-6	5
Дан неправильный ответ, или ответ неполный (не раскрывающий суть вопроса), или ответ не дан вовсе.	1-6	0

- Вопросы с 7-го по 9-ый предполагают развёрнутый ответ. Вопросы характеризуются разной степенью сложности.

Критерий	№ вопроса	Баллы
Дан правильный и полный ответ, раскрывающий суть вопроса Продemonстрировано: - знание фактического материала, отсутствуют фактические ошибки; - уверенное владение понятийно-терминологическим аппаратом дисциплины (уместность употребления, аббревиатуры, толкование и т.д.), отсутствуют ошибки в употреблении терминов; показано умелое использование категорий и терминов дисциплины в их ассоциативной взаимосвязи; - умение аргументировано излагать собственную точку зрения, изложение сопровождается адекватными иллюстрациями (примерами) из практики. Ответ четко структурирован, части ответа логически взаимосвязаны.	7-8	15
	9	30
Содержание ответа в целом соответствует теме вопроса. Продemonстрировано: - знание фактического материала, встречаются несущественные фактические ошибки; - владение понятийно-терминологическим аппаратом дисциплины (уместность употребления, аббревиатуры, толкование и т.д.), отсутствуют ошибки в употреблении терминов; - умение аргументированно излагать собственную точку зрения, изложение отчасти сопровождается адекватными иллюстрациями (примерами) из практики. Ответ в достаточной степени структурирован и выстроен в заданной логике без нарушений общего смысла. Части ответа логически взаимосвязаны.	7-8	10
	9	20
Содержание ответа в целом соответствует теме задания.	7-8	5

<p>Продemonстрировано:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- удовлетворительное знание фактического материала, есть незначительные фактические ошибки (до 30 % от общего содержания ответа);</li> <li>- достаточное владение понятийно-терминологическим аппаратом дисциплины, есть ошибки в употреблении и трактовке терминов, расшифровке аббревиатур, ошибки в использовании категорий и терминов дисциплины в их ассоциативной взаимосвязи;</li> <li>- нет собственной точки зрения либо она слабо аргументирована.</li> </ul> <p>Примеры, приведенные в ответе в качестве практических иллюстраций, в малой степени соответствуют изложенным теоретическим аспектам.</p> <p>Ответ плохо структурирован, нарушена заданная логика. Части ответа разорваны логически, нет связей между ними.</p>	9	10
<p>Дан неправильный ответ, или ответ неполный (не раскрывающий суть вопроса), или ответ не дан вовсе.</p> <p>Продemonстрировано:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- незнание основных научных понятий и теоретических основ дисциплины, допускаются серьезные ошибки в содержании ответа;</li> <li>- неумение давать аргументированные ответы, приводить примеры из практики.</li> </ul> <p>Отсутствие логичности и последовательности в изложении ответа.</p>	7-9	0

- 10-ый вопрос – о планируемом диссертационном исследовании поступающего (в письменном виде в экзаменационные листы вносится только тема, остальные составляющие критериев по данному вопросу оцениваются в ходе устного собеседования поступающего с комиссией).

Критерий	№ вопроса	Баллы
<p>Сформулирована предполагаемая тематика планируемого диссертационного исследования.</p> <p>В рамках выбранной темы продemonстрировано:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- знание проработки / изученности выбранной темы;</li> <li>- актуальность, предполагаемая новизна и/или практическая значимость исследования;</li> <li>- научная эрудиция при ответах на вопросы.</li> </ul>	10	10
<p>Сформулирована предполагаемая тематика планируемого диссертационного исследования.</p> <p>В рамках выбранной темы продemonстрировано недостаточно полное:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- знание проработки / изученности выбранной темы;</li> <li>- понимание актуальности, предполагаемой новизны и/или практической значимости исследования.</li> </ul>	10	5
<p>Предполагаемая тематика планируемого диссертационного исследования не сформулирована или при наличии сформулированной темы продemonстрировано:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- незнание изученности выбранной темы;</li> <li>- неумение сформулировать актуальность, предполагаемую новизну и/или практическую значимость исследования.</li> </ul>	10	0

Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания – 60 баллов, максимально возможное количество – 100 баллов.

## 4. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ

### А) Вопросы с кратким ответом по существу

1. Что такое иммобилизованные ферменты/клетки?
2. Назовите основные стадии культивирования микроорганизмов в биореакторе (периодический процесс).
3. Что такое плазида?
4. Дайте определение линии клеток млекопитающих.
5. Что такое направленная эволюция ферментов?
6. Назовите основной продукт биотехнологии, получаемый с использованием рекомбинантных штаммов *Escherichia coli*.
7. Что такое анаэробный биореактор (метантенк)?
8. Дайте определение термину "биосенсор".
9. Что такое антибиотики?
10. Какова основная цель в downstream processing (стадии выделения и очистки)?
11. Назовите основные этапы ПЦР.
12. Что такое рестрикционный анализ?
13. Дайте определение понятию "штамм-производитель".
14. Для чего используется иммобилизация ферментов?
15. Что такое биореактор (ферментер)?
16. Какова роль маркерного гена в векторе для клонирования?
17. Что такое гибридома и для чего её используют?
18. Назовите основной метод секвенирования ДНК нового поколения (NGS).
19. Что такое in silico в биотехнологии?
20. Дайте определение CRISPR-Cas9.
21. Что такое биосенсор?
22. Назовите основную цель метагеномного анализа.
23. Что такое нокаут гена?
24. Для чего используется электрофорез в агарозном геле?
25. Что такое upstream- и downstream-процессы в биотехнологическом производстве?
26. Назовите основной продукт микробного синтеза в промышленном масштабе.
28. Какой фермент используется для получения кДНК из мРНК?
29. Что такое "белая" (промышленная) биотехнология?
31. В чем принципиальное отличие редактирования генома CRISPR/Cas9 от более ранних методов (цинковые пальцы, TALEN)?
32. Каковы основные задачи downstream processing (нисходящих процессов) в биотехнологическом производстве?
33. Что такое «метаболическая инженерия» и какова ее основная цель?
34. Назовите ключевые отличия моноклональных антител от поликлональных.
35. Что такое иммобилизованные ферменты и в чем их основные технологические преимущества?
36. Какова роль биореакторов (ферментеров) в промышленной биотехнологии?
37. Что такое «биосенсор» и назовите его основные компоненты?
38. Для чего используется метод ПЦР (полимеразная цепная реакция) в биотехнологических исследованиях?
39. Что такое «синтетическая биология» и как она связана с классической биотехнологией?

40. В чём преимущества иммобилизованных ферментов перед нативными в промышленных процессах?

**Б) Вопросы с развернутым ответом:**

1. Что такое биотехнология и какие основные направления в ней вы выделяете?
2. Опишите принцип ПЦР (полимеразной цепной реакции). Каковы её основные этапы и области применения в биотехнологии?
3. Каковы основные методы генной инженерии для создания рекомбинантных микроорганизмов?
4. Что такое клеточная культура и для чего она используется?
5. Объясните принцип технологии CRISPR-Cas9 для редактирования генома. Что такое "направляющая РНК" (gRNA), протоспейсер и PAM-последовательность?
6. Опишите основные этапы получения рекомбинантного белка в клетках *E. coli*. С какими основными проблемами можно столкнуться и как их решить?
7. Что такое индуцированные плюрипотентные стволовые клетки (ИПСК)? Опишите методы их получения и перспективы применения в биомедицине.
8. Опишите принцип действия и применение адено-ассоциированных вирусных векторов (AAV) в генной терапии. Каковы их преимущества перед другими вирусными системами?
9. Что такое синтетическая биология и как она связана с биотехнологией?
10. Какие этические проблемы и биобезопасность связаны с современной биотехнологией?
11. Опишите принцип ПЦР (полимеразной цепной реакции). Каковы её основные этапы и области применения в биотехнологии?
12. Каковы основные методы генной инженерии для создания рекомбинантных микроорганизмов?
13. В чем заключается ключевое различие между первичными и вторичными метаболитами у микроорганизмов-продуцентов? Приведите примеры продуктов биотехнологии, относящихся к каждой группе. Почему стратегия ферментации для их получения отличается?
14. Опишите принцип и сферы применения метода иммуноферментного анализа (ИФА) в форматах "сэндвич" и конкурентного. В чем их ключевое отличие?
15. Раскройте понятие "иммобилизация биокатализаторов". Назовите основные физические и химические методы иммобилизации, их достоинства и недостатки.
16. Объясните, как работает система биосенсора. Назовите основные компоненты и приведите классификацию по типу биологического распознающего элемента и преобразователя.
17. Какие методы выделения и очистки целевых продуктов используют в биотехнологии?
18. Каковы перспективы развития биотехнологии в контексте "зеленой" экономики?

**В) Сложные вопросы, рассчитанные на проверку глубины понимания и способности к анализу у поступающих в аспирантуру по специальности «Биотехнология»:**

1. В гетерологичной экспрессии рекомбинантных белков в клетках млекопитающих (СНО, НЕК293) систематически наблюдается вариабельность гликозилирования между клонами и даже между партиями. Каковы фундаментальные молекулярные и клеточные причины этого

явления? Какие современные стратегии (инженерные, технологические) применяют для решения этой проблемы при производстве терапевтических белков, особенно моноклональных антител?

2. Сравните стратегии получения биофармацевтических препаратов в бактериальных системах (прокариоты) и в системах эукариот (дрожжи, клетки млекопитающих, растительные системы). Каковы ключевые компромиссы (trade-off) между продуктивностью, стоимостью, сложностью продукта и регуляторными рисками для каждой платформы? Приведите конкретные примеры классов препаратов для каждой платформы.

3. В контексте «зеленой» химии и биоэкономики, микробные консорциумы рассматриваются как перспективная альтернатива генетически модифицированным монокультурам для деградации сложных субстратов или синтеза химикатов. Каковы фундаментальные экологические и метаболические преимущества консорциумов? Какие современные методы системной биологии и синтетической биологии позволяют проектировать и контролировать стабильность таких искусственных экосистем?

4. При разработке биосенсора на основе аптамеров возникает задача оптимизации его аффинности и специфичности. Какие физико-химические и структурные факторы (взаимодействия нуклеотидов, вторичная и третичная структура) определяют эти параметры? Какие современные методы *in vitro* (SELEX и его модификации) позволяют получать аптамеры с заданными свойствами (например, устойчивостью к нуклеазам сыворотки или способностью функционировать в широком диапазоне pH)?

5. Опишите принципы и сравните эффективность различных стратегий доставки генетического материала (плазмидной ДНК, мРНК, рибонуклеопротеиновых комплексов CRISPR/Cas) в эукариотические клетки для целей геномного редактирования. Каковы основные барьеры на пути от внеклеточной среды до ядра/цитоплазмы для каждого типа носителя, и как современные нано- и биоматериалы решают эти проблемы?

6. В рамках концепции «циркулярной биоэкономики» большое внимание уделяется микробиологической конверсии одноуглеродных субстратов (C1) — CO, CO<sub>2</sub>, метанола, муравьиной кислоты — в ценные продукты (пластики, топлива, кормовые белки). Каковы ключевые метаболические и энергетические вызовы, с которыми сталкиваются микроорганизмы (как природные метилотрофы/ацетогены, так и сконструированные) при использовании C1-субстратов? Какие генно-инженерные стратегии применяют для их преодоления и увеличения выхода целевых метаболитов?

7. Промышленно важный фермент показывает высокую активность *in vitro*, но его эффективность в клеточном контексте (*in vivo*) резко падает. Сформулируйте гипотезы, объясняющие это несоответствие. Опишите экспериментальный план для проверки каждой гипотезы, используя методы энзимологии, метабомики и микроскопии. Как можно использовать полученные данные для рационального дизайна улучшенного фермента или оптимизации условий процесса?

8. Вы хотите создать штамм-продуцент рекомбинантного белка с редкими кодонами в гетерологичном гене. При экспрессии в *E. coli* белок не синтезируется. Предложите комплексный стратегический план решения проблемы, используя методы предсказательной биоинформатики, геномного редактирования и метаболического инжиниринга. Какие именно анализы, инструменты и генетические конструкции вы будете использовать на каждом этапе?

9. При анализе гликанового профиля моноклонального антитела методом HILIC-UPLC с флуоресцентной детекцией обнаружено присутствие нехарактерного пика. Предложите пошаговый алгоритм для идентификации этого неизвестного гликана с использованием тандемной масс-спектрометрии (LC-MS/MS). Какие типы экспериментов MS (полный

сканирование, сканирование дочерних ионов, нейтральная потеря) и какие параметры фрагментации вы будете использовать для определения структуры?

10. Для создания биоинженерного сосудистого трансплантата используется 3D-биопечать с гидрогелем на основе фибриногена, содержащим эндотелиальные клетки (ЭК) и гладкомышечные клетки (ГМК). После имплантации наблюдается низкая выживаемость клеток и слабое формирование функционального эндотелия. Каковы вероятные клеточные, биоматериальные и физиологические причины неудачи? Предложите мультидисциплинарную стратегию решения, включающую модификацию гидрогеля, прекондиционирование *in vitro* и применение факторов роста.

11. В анаэробном биореакторе для сбраживания отходов резко упало производство метана и накопились летучие жирные кислоты (ЛЖК). Сформулируйте возможные микробиологические причины (дисбаланс консорциума). Как, используя комбинацию физико-химического мониторинга, молекулярной микробиологии и метагеномного анализа, установить причину сбоя и предложить корректирующие меры?

12. Требуется получить фермент, стабильный и активный в экстремальных условиях: при 90°C и в присутствии 30% органического растворителя. Опишите дизайн платформы для направленной эволюции *in vitro*, включая: метод создания библиотеки мутантов, стратегию высокопроизводительного скрининга/селекции, способ поддержания генетического разнообразия и критерии останова эволюционного цикла. Почему для этой задачи предпочтительнее *in vitro* эволюция, а не рациональный дизайн?

13. В процессе наработки вирусоподобной частицы (VLP) в культуре клеток насекомых Sf9 в биореакторе с перфузией рост клеток останавливается на высокой плотности, но титр VLP не увеличивается пропорционально. Каковы возможные причины лимитирования, связанные с метаболизмом клеток и средой культивирования? Предложите стратегию метаболического анализа и инжиниринга среды для увеличения удельной продуктивности (qP).

14. Разработайте концепцию наносистемы для комбинированной фототермической терапии (РТТ) и химиотерапии, нацеленной на опухолевые стволовые клетки (ОСК). Система должна обладать способностью к самосборке, селективному накоплению и обеспечивать синергический эффект. Опишите ключевые компоненты, механизм действия и методы *in vitro* валидации эффективности против ОСК (включая идентификацию и оценку функциональных свойств ОСК).

### **Разработчик:**

профессор В.П. Саловарова