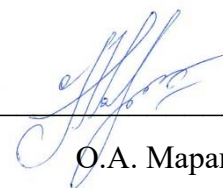


**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»**

Кафедра ботаники и микробиологии

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета  
биологии и экологии



---

О.А. Маракаев  
«19» мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**

«Микробные биотехнологии»

программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре  
по научной специальности 1.5.11 Микробиология

Форма обучения очная

Программа одобрена на заседании кафедры  
ботаники и микробиологии  
протокол № 9 от «18» апреля 2023 года

Ярославль

**1. Цели освоения дисциплины:** совершенствование и приобретение аспирантами современных знаний, умений и практических навыков в области биотехнологий, основанных на применении микроорганизмов.

**2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры**

Данная дисциплина является дисциплиной по выбору.

**3. Планируемые результаты обучения по дисциплине – знания, умения, навыки и (или) опыт деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций и обеспечивающие достижение планируемых результатов освоения программы аспирантуры, и критерии их оценивания**

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- принципы функциональной организации микроорганизмов;
- методы и условия выращивания микроорганизмов в различных модельных условиях;
- контролируемые параметры биотехнологического процесса.

Уметь:

- выбирать методы культивирования микроорганизмов для решения фундаментальных и прикладных задач биотехнологической направленности;
- определять кинетические параметры роста микробных культур в периодическом и непрерывном режимах.

Владеть:

- навыками оценки результатов культивирования микроорганизмов при решении фундаментальных и прикладных задач профессиональной деятельности;
- опытом определения зависимости выхода целевого продукта от концентрации субстрата.

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 акад. часов.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий и их трудоемкость (в академических часах)					Формы текущего контроля успеваемости	Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			лекции	практические	лабораторные	консультации	самостоятельная работа		
1	История развития биотехнологии.	2	1				10	Собеседование	
2.	Фундаментальные основы биотехнологии.	2	1				10	собеседование	
3.	Ферментационные среды.	2	1				10	собеседование, задание для самостоятельной работы	
4.	Математические модели	2	1				10	собеседование	
5.	Непрерывное культивирование микроорганизмов	2	1				10	собеседование	
6.	Управление технологическими режимами	2	1				10	собеседование, задание для самостоятельной работы	
7.	Примеры микробных биотехнологий	2				2	22	реферат	
							18	зачет	
	<b>Всего</b>		<b>6</b>			<b>2</b>	<b>100</b>		

#### Содержание разделов дисциплины:

##### 1. История развития биотехнологии.

1.1. Краткая история развития микробных биотехнологий.

1.2. Значение биотехнологий для различных отраслей экономики.

1.3. Роль микробиологии в получении целевых продуктов хозяйственного и медицинского назначения.

##### 2. Фундаментальные основы биотехнологии.

2.1. Фундаментальные подходы к изучению микробного роста: качественные и количественные подходы к изучению роста микроорганизмов: кинетический, стехиометрический, энергетический.

- 2.2. Типовая схема и основные стадии биотехнологических производств.
- 2.3. Основные характеристики процессов ферментации. Классификация.
- 2.4. Параметры периодической ферментации. Кинетические характеристики процесса.
- 2.5. Макростехиометрические параметры. Стехиометрия процессов культивирования микроорганизмов, Основные принципы. Вывод «формулы» биомассы микроорганизмов. Расчет выхода биомассы по субстрату.

### **3. Ферментационные среды.**

- 3.1. Сырье для процессов ферментации. Основные понятия.
- 3.2. Источники углеродного и азотного питания, другие виды сырья.
- 3.3. Оптимизация ферментационных сред.

### **4. Математические модели.**

- 4.1. Математические модели кинетики процессов ферментации.
- 4.2. Зависимость скорости роста микроорганизмов от концентраций субстрата или продукта метаболизма.
- 4.3. Зависимость скорости роста микроорганизмов от физико-химических факторов среды. Многофакторные кинетические уравнения.

### **5. Непрерывное культивирование микроорганизмов.**

- 5.1. Тубулярная и хемостатная культуры. Хемостатный процесс непрерывного культивирования. Сравнение периодического и непрерывного культивирования.
- 5.2. Особенности ферментации при лимитировании хемостатной культуры различными субстратами. Автоселекция в непрерывном процессе.
- 5.3. Модификации хемостата.
- 5.4. Внешнее управление параметрами. Преимущества и недостатки непрерывного способа культивирования микроорганизмов.

### **6. Управление технологическими режимами.**

- 6.1. Управление технологическими режимами и масштабирование процессов ферментации. Биокатализ и биотрансформация.
- 6.2. Отделение биомассы. Дезинтеграция клеток.
- 6.3. Методы выделения продуктов метаболизма: экстракционные, сорбционные, мембранные.
- 6.4. Нормативные документы биотехнологических производств.

### **7. Примеры микробных биотехнологий.**

- 7.1. Примеры микробных биотехнологий получения продуктов пищевого, фармацевтического, хозяйственного назначения.
- 7.2. Примеры экологических биотехнологий.

## **5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

**Вводная лекция** – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой литературы.

**Академическая лекция с элементами лекции-беседы** – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Элементы лекции-беседы обеспечивают контакт преподавателя с аудиторией, что позволяет привлекать внимание аспирантов к наиболее важным темам дисциплины, активно вовлекать их в учебный процесс, контролировать темп изложения учебного материала в зависимости от уровня его восприятия.

**Проблемная лекция** – изложение материала, предполагающее постановку проблемных и дискуссионных вопросов, освещение различных научных подходов, связанные с различными моделями интерпретации изучаемого материала. Проблемная лекция начинается с вопросов, с постановки проблемы, которую в ходе изложения материала необходимо решить. В лекции сочетаются проблемные и информационные начала. При этом процесс познания аспирантом в сотрудничестве и диалоге с преподавателем приближается к поисковой, исследовательской деятельности.

**Консультации** – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы аспирантов. На консультациях по просьбе аспирантов рассматриваются наиболее сложные разделы дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы аспирантов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

**Электронный учебный курс «Микробиологический контроль» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ**, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы аспирантов по темам дисциплины;
- представлен список литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в случае их проведения в дистанционном формате в режиме онлайн.

## **6. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

### **а) основная литература**

1. Нетрусов А.И. Введение в биотехнологию: учебник для вузов. – М.: Академия, 2014. – 281 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=1827563&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1827563&cat_cd=YARSU)
2. Шмид Р. Наглядная биотехнология и генетическая инженерия [Электронный ресурс]. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 327с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=1531440&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1531440&cat_cd=YARSU)

### **б) дополнительная литература**

1. Биотехнология и микробиология анаэробной переработки органических коммунальных отходов [Электронный ресурс]: коллективная монография / составители А.Н. Ножевникова [и др.]. – Саратов: Логос, Университетская книга, 2016. – 320 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/162974>. – Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Бирюков В.В. Основы промышленной биотехнологии. – М.: КолосС, 2004. – 296 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=317097&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=317097&cat_cd=YARSU)
3. Воробьева Л.И. Техническая микробиология: учеб. пособие. М.: МГУ, 1987. – 167 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=2007220&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=2007220&cat_cd=YARSU)
4. Нетрусов А.И., Котова И.Б. Микробиология: теория и практика в 2 ч. Часть 2: учебник для бакалавриата и магистратуры. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 312 с.  
<https://urait.ru/bcode/490704>
5. Перт С.Дж. Основы культивирования микроорганизмов и клеток. М.: Мир, 1978. – 331 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=2012442&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=2012442&cat_cd=YARSU)
6. Промышленная микробиология: учеб. пособие / Под ред. Н.С. Егорова. М.: Высш. шк., 1989. – 686 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=2012961&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=2012961&cat_cd=YARSU)

7. Современная микробиология: прокариоты: учебник для вузов / под ред. Й. Ленгелера, Г. Дрекса, Г. Шлегеля. В 2 т. Т. 2. – М.: Мир, 2005. – 493 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=351878&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=351878&cat_cd=YARSU)

#### **7. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав следующие помещения:

- учебные аудитории для проведения лекций;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы.

Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ЯрГУ.

Автор:

Зав. кафедрой ботаники и микробиологии, к.б.н.

Н.В. Шеховцова

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Микробные биотехнологии»**

**Оценочные средства  
для проведения текущей и/или промежуточной аттестации аспирантов  
по дисциплине**

**1. Контрольные задания и (или) иные материалы,  
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

В качестве средств текущего контроля используется собеседование, а также написание в течение семестра одного реферата на выбранную тему.

**Вопросы для собеседования**

1. Факторы, определяющие прогресс биотехнологий.
2. Роль микроорганизмов в истории развития биотехнологий.
3. Функциональные возможности микроорганизмов.
4. Возможности управляемого культивирования микроорганизмов в модельных условиях.
5. Многообразие способов роста микроорганизмов в природных условиях.
6. Реализация способов роста микроорганизмов в промышленных условиях.
7. Факторы, определяющие выбор способа культивирования микробной культуры, при разработке биотехнологии.
8. Математические модели периодического роста и их применение в биотехнологии.
9. Математические модели непрерывного роста и их применение в биотехнологии.
10. Контролируемые параметры микробного роста в процессе ферментации.
11. Зависимость параметров биореактора от параметров микробного роста.
12. Масштабирование процесса культивирования микробных культур как фактор, ограничивающий выбор способа ферментации.
13. Типовая схема биотехнологических производств, ее модификации при получении разных продуктов.
14. Особенности хранения и подготовки посевного материала для ферментаций.
15. Питательные среды для культивирования микроорганизмов, сравнение лабораторных и промышленных сред.
16. Организация и проведение биотехнологической стадии производства.
17. Способы управления технологическими режимами.
18. Способы реализации масштабирования микробного роста.
19. Определение момента остановки микробного роста для получения целевого продукта.
20. Способы получения целевых продуктов, их выделения в чистом виде, концентрирования и получения готовых к реализации форм.
21. Нормативные и регистрирующие документы биотехнологических производств.
22. Биотехнологии производства пищевых продуктов.
23. Биотехнологии получения продуктов медицинского назначения.
24. Биотехнологии получения продуктов химического назначения.
25. Экологические и природоохранные биотехнологии.

**Задания для самостоятельной работы**

1. Определите порядок подготовки посевного материала в зависимости от способа хранения тест-культуры и ее видовой принадлежности.
2. Определите порядок оптимизации питательной среды для культивирования микроорганизма продуцента первичного (вторичного) метаболита.
3. Определите набор контролируемых параметров биотехнологической стадии производства конкретного целевого продукта.

### **Темы рефератов:**

1. Биотехнологии, основанные на использовании микроорганизмов определенного рода.
2. Биотехнологии, основанные на применении микробных биопленок.
3. Биотехнологии получения антибиотиков (или другого целевого продукта).
4. Перспективы развития микробных технологий в области пищевой промышленности (или другой отрасли экономики) .
5. Биотехнологии, основанные на применении генетически модифицированных микроорганизмов.

## **2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации**

### **Список вопросов к зачету:**

1. Краткая история развития микробных биотехнологий. Предмет и задачи науки на современном этапе. Значение биотехнологий для различных отраслей экономики.
2. Микроорганизмы как объекты биотехнологий. Роль микробиологии в получении целевых продуктов хозяйственного и медицинского назначения.
3. Физиологические аспекты изучения микробного роста.
4. Кинетическая микробиология. Кинетические параметры роста микроорганизмов, их значение для организации биотехнологического процесса.
5. Стехиометрия микробного роста. Макроскопический подход: вывод «формулы» биомассы микроорганизмов. Расчет выхода биомассы по субстрату.
6. Микроскопический подход к изучению стехиометрии микробного роста. Значение для управляемого культивирования микроорганизмов.
7. Биоэнергетика микробного роста, ее влияние на разработку биотехнологий.
8. Основные составляющие современной теории микробного роста и биотехнологии.
9. Типовая схема и основные стадии биотехнологических производств. Основные характеристики процессов ферментации. Классификация.
10. Общая характеристика питательных сред для лабораторного культивирования микроорганизмов.
11. Промышленные питательные среды, их основные отличия от лабораторных.
12. Сырье для процессов ферментации. Основные понятия. Источники углеродного и азотного питания, другие виды сырья.
13. Оптимизация ферментационных сред.
14. Математические модели периодической ферментации и ее модификаций.
15. Математическая модель культуры полного вытеснения.
16. Математическая модель хемостатной культуры.
17. Уравнения материально-энергетического баланса для модификаций хемостатной культуры и их возможности.
18. Зависимость скорости роста микроорганизмов от физико-химических факторов среды. Многофакторные кинетические уравнения.
19. Микробная культуры как сложная саморегулирующаяся система, влияние на разработку биотехнологий.
20. Управление технологическими режимами и масштабирование процессов ферментации. Биокатализ и биотрансформация.
21. Получение биомассы как целевого продукта.
22. Получение первичных метаболитов микроорганизмов как целевого продукта.
23. Получение вторичных микробных метаболитов как целевого продукта.
24. Пример микробной биотехнологии, связанной с темой диссертационной работы.
25. Нормативно-правовая база биотехнологического производства.



### 3. Описание процедуры выставления оценки

По итогам зачета выставляется одна из оценок: «зачтено», «незачтено».

Правила выставления оценки на зачете:

Устный ответ студента на зачете оценивается по 2-х балльной системе.

Отметка «зачтено» ставится, если:

- знания отличаются глубиной и содержательностью, дается полный исчерпывающий ответ, как на основные вопросы к зачету, так и на дополнительные;
- аспирант свободно владеет научной терминологией;
- ответ аспиранта структурирован, содержит анализ существующих теорий, научных школ, направлений и их авторов;
- ответ аспиранта логично и доказательно раскрывает проблему, предложенную для решения;
- ответ аспиранта характеризуется глубиной, полнотой и не содержит фактических ошибок;
- ответ аспиранта иллюстрируется примерами, в том числе из собственной научно-исследовательской деятельности;
- аспирант демонстрирует умение аргументировано вести диалог и научную дискуссию;
- аспирант демонстрирует навыки поиска и обработки научной информации и экспериментальных данных.

Отметка «незачтено» ставится, если:

- ответ аспиранта обнаружил незнание или непонимание сущностной части дисциплины;
- содержание вопросов не раскрыто, допускаются существенные фактические ошибки, которые аспирант не может исправить самостоятельно;
- на большую часть дополнительных вопросов по содержанию зачета аспирант затрудняется дать ответ или не дает верных ответов;
- аспирант не демонстрирует навыки поиска и обработки научной информации и экспериментальных данных.