

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра экологии и зоологии

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета биологии и экологии



О.А. Маракаев
«21» мая 2024 г.

Рабочая программа
«Экобиотехнологии восстановления водных экосистем»

Направление подготовки
06.04.01 Биология

Направленность (профиль)
«Экспериментальная биология и биотехнологии»

Форма обучения
очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
протокол № 8 от «05» апреля 2024 года

Программа одобрена
НМК факультета биологии и экологии
протокол № 6 от «29» апреля 2024 года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Экобиотехнологии восстановления водных экосистем» является: ознакомление студентов с глобальной проблемой антропогенного эвтрофирования водоемов и токсичного цветения воды, получение знаний о современных подходах экологической реабилитации нарушенных водных экосистем с применением биотехнологий.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Экобиотехнологии восстановления водных экосистем» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1, дисциплины по выбору. Для освоения данной дисциплиной студенты должны иметь основы знаний по общей гидробиологии и санитарной гидробиологии и пройти курс «Комплексная оценка экологической и биологической безопасности».

Полученные в курсе «Экобиотехнологии восстановления водных экосистем» знания необходимы для изучения последующей дисциплины «Экспериментальная альгология».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ООП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
Профессиональные компетенции		
ПК-1.Способен организовывать отбор, обработку, анализ биологических проб, контролировать состояние экосистем с использованием современного оборудования и вычислительных комплексов при решении задач экспериментальной биологии и биотехнологии.	ПК-1.2. Применяет современные методы организации отбора и аналитических исследований биологических проб с использованием биоинформационного анализа и вычислительных комплексов, методы экспериментальной микробиологии и экобиотехнологии для контроля состояния экосистем и их восстановления.	Знать: - концепцию биогенной нагрузки и теорию динамики пищевых цепей в водных системах; - методы экобиотехнологий для контроля состояния водных экосистем и их восстановления. Уметь: - подготовить программу научных фундаментальных исследований с целью обоснования экологического проекта восстановления водного объекта. Владеть навыками: - проведения научно-обоснованного экологического мониторинга водного объекта после проведения восстановительных мероприятий.

<p>ПК-3. Способен разрабатывать и модифицировать существующие биотехнологические процессы при решении проектных задач.</p>	<p>ПК-3.1. Использует в проектной деятельности знания теории и методов экспериментальной микробиологии, биоинженерии, биотехнологии биологически активных веществ и лекарственных препаратов, эколобиотехнологии при разработке и модификации биотехнологических процессов.</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - современные методы эколобиотехнологий для контроля состояния водных экосистем и их восстановления. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использовать знания методов эколобиотехнологии при разработке новых подходов или модификации существующих методов к восстановлению антропогенно-эвтрофированных озер. <p>Владеть навыками:</p> <ul style="list-style-type: none"> - разработки проектов экологической реабилитации малых водоемов с использованием биотехнологических методов.
--	---	---

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 акад. часов.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Естественное и антропогенное эвтрофирование водоемов: причины и последствия. Концепция биогенной нагрузки. Модель Р. Фолленвайдера.	2	2					10	Задания для самостоятельной работы
2	Теория динамики пищевых цепей. Трофический каскад в водных экосистемах. Концепция bottom-up и top-down контроля.	2	2					10	Задания для самостоятельной работы
3	Экологические и биологические технологии восстановления водных экосистем: профилактические методы (мероприятия на водосборе). Контроль сброса загрязняющих веществ методами агро-, луго-, лесомелиорации, гидротехнические, почвозащитные, запретительные и рекомендательные мероприятия. Модернизация очистных сооружений: методы химического и биологического удаления биогенных элементов (азота и	2	2					30	Задания для самостоятельной работы

	фосфора) из сточных вод.								
4	<p>Экологические и биологические технологии восстановления водных экосистем: восстановительные методы (мероприятия в водоеме). Отвод вод из гипolimниона, улучшение водообмена, аэрация водоема. Способы аэрации и их эффективность. Удаление донных отложений (драгирование), экранирование донных осадков. Разбавление вод. Хемоманипуляция и активная изоляция дна. Методы хемоманипуляции. Биоманипуляция через трофический каскад. Другие биологические методы экологической реабилитации: управление зарастаемостью макрофитами, вселение моллюсков-фильтраторов и рыб-фитофагов, применение вирусов и бактерий, лизирующих клетки водорослей; паразитизм некоторых водных грибов; выедание простейшими. Химическая обработка воды альгицидами. Физические методы (использование ультразвука для разрушения клеток синезеленых водорослей, механическое удаление биомассы первичных продуцентов, изменение</p>	2	4	16	2	50	Задания для самостоятельной работы		

	световых условий обитания фитопланктона). Метод биогенного манипулирования.								
							0,3	15,7	Зачет
	ИТОГО		10		16	2	0,3	115,7	

4.1 Информация о реализации дисциплины в форме практической подготовки

Информация о разделах дисциплины и видах учебных занятий, реализуемых в форме практической подготовки

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Место проведения занятий в форме практической подготовки
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
4	Экологические и биологические технологии восстановления водных экосистем: восстановительные методы (мероприятия в водоеме).				16				факультет биологии и экологии ЯрГУ
	Итого				16				

Содержание разделов дисциплины:

1. Тема № 1. Естественное и антропогенное эвтрофирование водоемов: причины и последствия. Концепция биогенной нагрузки. Модель Р. Фолленвайдера.

Концепция трофического статуса водоемов. Классификация водоемов по уровню биологической продуктивности. Морфометрия, тип грунта, концентрация биогенных элементов, прозрачность, цветность воды, содержание кислорода, рыбопродуктивность, уровень развития тех или иных биологических сообществ в олиготрофных, мезотрофных, эвтрофных и дистрофных водоемах. Сукцессия водных экосистем: что такое естественное и антропогенное эвтрофирование, деэвтрофирование (реолиготрофизация)? Причины развития антропогенного эвтрофирования: температура, освещенность или другие факторы? «Спор о фосфоре». Исследования и эксперименты, которые доказали ключевую роль фосфора в эвтрофировании водоемов. Отношение Редфильда? Роль азота в развитии

процесса эвтрофирования. Концепция биогенной нагрузки, определение в чем её суть. Внешняя и внутренняя биогенная нагрузка. Фосфор и азот в водоемах, их лимитирующая роль для фитопланктона, формы присутствия и особенности круговорота в водоемах. Роль макрофитов во внутриводоемном круговороте фосфора. Роль кислорода и железа в процессе обмена фосфора между дном и водной толщей озер. Показатели трофического состояния водоемов: химические, биологические, физические. Достоинства и недостатки каждого из показателей при оценке трофического статуса водоемов. Индикаторная роль биологических сообществ: основные тенденции в изменении структуры фитопланктона, зоопланктона, зообентоса, макрофитов и ихтиоценоза по мере эвтрофирования водоемов. Чем номенклатурные трофические шкалы отличаются от нумерических? Каково преимущество последних? Индексы трофического состояния ИТС (trophic state index, TSI). Этапы развития антропогенного эвтрофирования. Источники и последствия для человека антропогенного эвтрофирования. «Цветение воды». Чем опасно данное явление? Почему особенно опасно цианобактериальное цветение воды? Восстановление водных экосистем через снижение биогенной нагрузки: модель Р. Фолленвайдера.

Тема № 2. Теория динамики пищевых цепей. Трофический каскад в водных экосистемах. Концепция bottom-up и top-down контроля.

Гипотезы «зеленого мира» (*HSS hypothesis*) и размерной эффективности (*size-efficiency hypothesis*). Наблюдения Хрбачека с соавторами (Hrbacek et al., 1961) о том, что в присутствии рыб средний размерный состав зоопланктона уменьшается и при этом наблюдается цветение воды. Концепция трофического каскада (*trophic cascade theory*): понятие каскадного эффекта и условия для его возникновения в водных экосистемах. Наблюдающееся несоответствие между имеющимися в водоеме запасами биогенных элементов и уровнем развития продуцентов противоречит теории биогенной нагрузки. Представления о трофическом каскаде помогают объяснить это противоречие. Примеры проявления эффекта трофического каскада в пелагических и бентических пищевых цепях, а также между водными и наземными экосистемами. Поведенческий каскад, его отличие от трофического каскада. Теория контроля «снизу-вверх» и «сверху-вниз» (*bottom-up/top-down theory*): два принципиальных отличия от теории трофического каскада. Гипотеза экосистемной эксплуатации (*ecosystem exploitation hypothesis*): какой эффект возрастание продуктивности экосистемы оказывает на число трофических уровней в пищевой цепи и на обилие организмов на каждом уровне? Предсказания модели Фретвелла-Оксанена: как изменяется вклад хищничества и конкуренции в регулирование обилия организмов по мере увеличения числа трофических уровней в системе; верно ли, предсказание о том, что биомасса фитопланктона будет возрастать в экосистемах с четным числом трофических уровней и стабилизироваться в экосистемах с нечетным числом уровней? Гипотеза ключевого хищника/потребителя (*key-stone predator hypothesis*): дайте определение этому понятию. Отличие между ключевыми видами и видами-доминантами в сообществах.

3. Тема № 3. Экологические и биологические технологии восстановления водных экосистем: профилактические методы (мероприятия на водосборе).

Контроль сброса загрязняющих веществ методами агро-, луго-, лесомелиорации, гидротехнические, почвозащитные, запретительные и рекомендательные мероприятия. Модернизация очистных сооружений: методы химического и биологического удаления биогенных элементов (азота и фосфора) из сточных вод.

Тема № 4. Экологические и биологические технологии восстановления водных экосистем: восстановительные методы (мероприятия в водоеме).

Отвод вод из гипolimниона, улучшение водообмена, аэрация водоема. Способы аэрации и их эффективность. Удаление донных отложений (драгирование), экранирование донных осадков. Разбавление вод. Хемоманипуляция и активная изоляция дна. Методы

хемоманипуляции. Биоманипуляция через трофический каскад. Другие биологические методы экологической реабилитации: управление зарастаемостью макрофитами, вселение моллюсков-фильтраторов и рыб-фитофагов, применение вирусов и бактерий, лизирующих клетки водорослей; паразитизм некоторых водных грибов; выедание простейшими. Химическая обработка воды альгицидами. Физические методы (использование ультразвука для разрушения клеток синезеленых водорослей, механическое удаление биомассы первичных продуцентов, изменение световых условий обитания фитопланктона). Метод биогенного манипулирования.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

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 студентов к наиболее важным темам дисциплины, активно вовлекать их в учебный процесс, контролировать темп изложения учебного материала в зависимости от уровня его восприятия.

Лабораторное занятие – занятие в лаборатории в подгруппе (10-14 чел.), посвященное освоению конкретных умений и навыков по закреплению полученных на лекции знаний.

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

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office.

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»
http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Сиделев С.И. Водные экосистемы (функционирование, антропогенные изменения, восстановление): учебно-методическое пособие / С.И. Сиделев, А.А. Зубишина, О.В. Бабаназарова. – Ярославль: ЯрГУ, 2016.

<http://www.lib.uni Yar.ac.ru/edocs/iuni/20160303.pdf> (электронный ресурс).

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

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

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения лабораторных работ;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ЯрГУ.

Автор:

Доцент кафедры
экологии и зоологии, к.б.н.



С.И. Сиделев

**Приложение № 1 к рабочей программе дисциплины
«Экобиотехнологии восстановления водных экосистем»**

**Фонд оценочных средств
для проведения текущего контроля успеваемости
и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

Задания для самостоятельной работы к теме № 1

Задания для самостоятельной работы № 1-11 (С. 4-12).

Сиделев С.И. Водные экосистемы (функционирование, антропогенные изменения, восстановление): учебно-методическое пособие / Сиделев С.И., Зубишина А.А., Бабаназарова О.В. Ярославль: ЯрГУ, 2016.

Задания для самостоятельной работы к теме № 2

Задания для самостоятельной работы № 1-10 (С. 17-22).

Сиделев С.И. Водные экосистемы (функционирование, антропогенные изменения, восстановление): учебно-методическое пособие / Сиделев С.И., Зубишина А.А., Бабаназарова О.В. Ярославль: ЯрГУ, 2016.

Задания для самостоятельной работы к теме № 3

Задания для самостоятельной работы № 1-2 (С. 47).

Сиделев С.И. Водные экосистемы (функционирование, антропогенные изменения, восстановление): учебно-методическое пособие / Сиделев С.И., Зубишина А.А., Бабаназарова О.В. Ярославль: ЯрГУ, 2016.

Задания для самостоятельной работы к теме № 4

Задания для самостоятельной работы № 1-16 (С. 32-46), № 3 (С. 47), № 1-2 (С. 50-51).

Сиделев С.И. Водные экосистемы (функционирование, антропогенные изменения, восстановление): учебно-методическое пособие / Сиделев С.И., Зубишина А.А., Бабаназарова О.В. Ярославль: ЯрГУ, 2016.

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

Примерный список вопросов к зачету:

1. Концепция трофического статуса водоемов: дайте определение термину трофический тип водоема. Кто впервые предложил это понятие? Расскажите классификацию водоемов по уровню биологической продуктивности.
2. Охарактеризуйте олиготрофные, мезотрофные, эвтрофные и дистрофные водоемы по следующим показателям: морфометрия, тип грунта, концентрация биогенных элементов, прозрачность, цветность воды, содержание кислорода,

рыбопродуктивность, уровень развития тех или иных биологических сообществ. Приведите примеры подобных водоемов в Ярославской области.

3. Сукцессия водных экосистем: что такое естественное и антропогенное эвтрофирование, деэвтрофирование (реолиготрофизация)? Приведите примеры.
4. Причины развития антропогенного эвтрофирования: температура, освещенность или другие факторы? «Спор о фосфоре». Перечислите типы исследований и экспериментов, которые доказали ключевую роль фосфора в эвтрофировании водоемов. Что такое отношение Редфильда? Что оно показало в отношении лимитирования фитопланктона в водоемах? Какие ещё биогенные элементы «подозреваются» в развитии процесса эвтрофирования?
5. Концепция биогенной нагрузки, в чем её суть. Дайте точное определение тому, что такое фосфорная (азотная) нагрузка? Чем внешняя биогенная нагрузка отличается от внутренней нагрузки?
6. Фосфор и азот в водоемах, их лимитирующая роль для фитопланктона: расскажите в состав каких живых структур входят эти элементы, их роль в организмах, формы присутствия и особенности круговорота в водоемах.
7. Какова роль макрофитов во внутриводоемном круговороте фосфора? Как можно использовать макрофиты в реабилитации водных экосистем?
8. Объясните, почему в процессе обмена фосфора между дном и водной толщей важную роль играют кислород и железо? Почему знание этого процесса очень важно при разработке методов восстановления водоемов? Почему снижать концентрацию фосфора в водоемах проще, чем концентрацию азота, с какими особенностями круговоротов этих элементов в биосфере это связано?
9. Показатели трофического состояния водоемов: химические, биологические, физические. Подробно расскажите о достоинствах и недостатках каждого из показателей при оценке трофического статуса водоемов.
10. Индикаторная роль биологических сообществ: выявите основные тенденции в изменении структуры фитопланктона, зоопланктона, зообентоса, макрофитов и ихтиоценоза по мере эвтрофирования водоемов. Отобразите эти изменения на графиках, где по оси абсцисс отложите возрастание трофического статуса (от олиго- до эвтрофного), а по оси ординат – относительный вклад в обилие (сообщества, групп, видов).
11. Чем номенклатурные трофические шкалы отличаются от нумерических? Каково преимущество последних? Что такое индексы трофического состояния ИТС (trophic state index, TSI)? Приведите примеры известных Вам ИТС.
12. Расскажите об этапах развития антропогенного эвтрофирования. Каковы источники и последствия для человека антропогенного эвтрофирования? Какие типы источников эвтрофирования легче контролировать при восстановлении водоемов и почему?
13. Что такое «цветение воды»? Чем опасно данное явление? Почему особенно опасно цианобактериальное цветение воды?
14. Восстановление водных экосистем через снижение биогенной нагрузки: модель Р. Фолленвайдера. Объясните суть диаграммы Р. Фолленвайдера, покажите, как её используют для борьбы с антропогенным эвтрофированием?
15. Расскажите о гипотезах «зеленого мира» (*HSS hypothesis*) и размерной эффективности (*size-efficiency hypothesis*). Сформулируйте основные положения этих гипотез. В свете этих гипотез поясните, как Д. Брукс и С. Додсон (Brook, Dodson, 1965) объяснили наблюдения Хрбачека с соавторами (Hrbacek et al., 1961) о том, что в присутствии рыб средний размерный состав зоопланктона уменьшается и при этом наблюдается цветение воды.

16. Концепция трофического каскада (*trophic cascade theory*): дайте точное определение понятию трофический каскад, перечислите условия для его возникновения в водных экосистемах.
17. Наблюдающееся несоответствие между имеющимися в водоеме запасами биогенных элементов и уровнем развития продуцентов противоречит теории биогенной нагрузки. Как представления о трофическом каскаде помогли объяснить это противоречие?
18. Приведите конкретные примеры проявления эффекта трофического каскада в пелагических и бентических пищевых цепях, а также между водными и наземными экосистемами.
19. Что такое поведенческий каскад, его отличие от трофического каскада? Приведите примеры.
20. Теория контроля «снизу-вверх» и «сверху-вниз» (*«bottom-up/top-down theory»*): сформулируйте два принципиальных отличия от теории трофического каскада.
21. Гипотеза экосистемной эксплуатации (*ecosystem exploitation hypothesis*): нарисуйте схему, поясняющую эту гипотезу и расскажите какой эффект возрастание продуктивности экосистемы оказывает на число трофических уровней в пищевой цепи и на обилие организмов на каждом уровне?
22. Предсказания модели Фретвелла-Оксанена: как изменяется вклад хищничества и конкуренции в регулирование обилия организмов по мере увеличения числа трофических уровней в системе; верно ли, предсказание о том, что биомасса фитопланктона будет возрастать в экосистемах с четным числом трофических уровней и стабилизироваться в экосистемах с нечетным числом уровней? Ответ обоснуйте.
23. Гипотеза ключевого хищника/ потребителя (*key-stone predator hypothesis*): дайте определение этому понятию. В чем отличие между ключевыми видами и видами-доминантами в сообществах или это аналогичные понятия?
24. Какие организмы в водных экосистемах могут выступать в роли ключевого хищника? Присутствие ключевого хищника в экосистеме приводит к возрастанию или снижению биоразнообразия? Ответ обоснуйте. Приведите примеры.
25. Смена представлений о роли редуцентов (бактериопланктона) в водных экосистемах: в чем суть концепции микробной петли (*microbial loop theory*), нарисуйте схему, поясняющую эту концепцию. Что такое вирусная петля?
26. Контроль сброса загрязняющих веществ методами агро-, луго-, лесомелиорации, гидротехнические, почвозащитные, запретительные и рекомендательные мероприятия.
27. Модернизация очистных сооружений: методы химического и биологического удаления биогенных элементов (азота и фосфора) из сточных вод.
28. Отвод вод из гипolimниона и методы аэрация как метод улучшения экологического состояния водоемов.
29. Удаление донных отложений (драгирование).
30. Хемоманипуляция и активная изоляция дна. Методы хемоманипуляции.
31. Биоманипуляция через трофический каскад.
32. Биологические методы экологической реабилитации: управление зарастаемостью макрофитами, вселение моллюсков-фильтраторов и рыб-фитофагов, применение вирусов и бактерий, лизирующих клетки водорослей; паразитизм некоторых водных грибов; выедание простейшими.
33. Химическая обработка воды альгицидами.
34. Физические методы (использование ультразвука для разрушения клеток синезеленых водорослей, механическое удаление биомассы первичных продуцентов, изменение световых условий обитания фитопланктона).
35. Метод биогенного манипулирования.

Правило выставления оценки на зачете

Преподаватель задает пять вопросов из списка вопросов к зачету по своему усмотрению, охватывая все темы дисциплины. Студент должен отвечать на вопросы без подготовки. По итогам зачета выставляется одна из двух оценок: «зачтено» - если студент правильно отвечает на не менее чем 3 вопроса из 5, «незачтено» - если студент дает правильные ответы на менее чем 3 вопроса из 5.

**Приложение № 2 к рабочей программе дисциплины
«Экобиотехнологии восстановления водных экосистем»**

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Методические рекомендации по освоению дисциплины приводятся в учебно-методическом пособии Сиделев С.И. Водные экосистемы (функционирование, антропогенные изменения, восстановление): учебно-методическое пособие / Сиделев С.И., Зубишина А.А., Бабаназарова О.В. Ярославль: ЯрГУ, 2016.