

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Н.В. Шеховцова

**ЭКОЛОГИЯ ВОДНЫХ
МИКРООРГАНИЗМОВ**

Учебное пособие

*Рекомендовано
Научно-методическим советом университета
для студентов, обучающихся по специальности Биология*

Ярославль 2008

УДК 579.26
ББК Е48я73
Ш 54

Рекомендовано
Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного издания. План 2008 года

Рецензенты:

кафедра микробиологии с иммунологией и вирусологией ЯГМА;
д-р биол. наук, проф. МГУ Н.В. Верховцева

Шеховцова, Н.В. Экология водных микроорганизмов: учебное
У 91 пособие / Н.В. Шеховцова; Яросл. гос. ун-т. – Ярославль: ЯрГУ,
2008. – 132 с.
ISBN 978-5-8397-0604-0

Излагается теоретический материал спецкурса, который читается автором около 20 лет. Содержится исторический обзор развития водной микробиологии, в котором обсуждены основные направления и современные технологии изучения водных микроорганизмов. Классические представления о роли бактерий в функционировании водных экосистем сочетаются с новыми сведениями о филогенетической принадлежности и систематике водных прокариот. Приведены неизвестные ранее примеры ассоциаций прокариот друг с другом и с водными растениями и животными. Особо рассматривается роль бактерий в переносе вещества и энергии в водоемах, а также в их продуктивности и самоочищении водной среды.

Предназначено для студентов, изучающих спецкурс “Экология водных микроорганизмов” (блок ДС) и обучающихся по специальности 020201 Биология по очной и заочной формам обучения. Рекомендуется студентам-экологам при изучении дисциплины “Экология организмов”, а также специалистам в области экологии и гидробиологии.

Табл. 4. Рис. 21. Библиогр.: 24 назв.

УДК 579.26
ББК Е48я73

На обложке: *Methanosarcina* sp. штамм Pr1 (фото любезно предоставлено канд. биол. наук С.Н. Паршиной)

ISBN 978-5-8397-0604-0

© Ярославский государственный
университет, 2008

ВВЕДЕНИЕ

Экология водных микроорганизмов изучает взаимодействие микроорганизмов с водной средой и населяющими ее другими организмами. Соответствующий раздел общей микробиологии по традиции называют кратко – водная микробиология. Однако водная микробиология, развиваясь как часть гидробиологических исследований, особое внимание уделяла роли микроорганизмов в процессах продукции и деструкции органического вещества в водоемах, а также участию микроорганизмов в круговоротах биогенных элементов и металлов с переменной валентностью. Такой экосистемный подход предусматривал, прежде всего, валовые оценки массы и активности микроорганизмов. Сейчас, когда оказалось, что многие процессы в биосфере осуществляются не отдельными видами микробов, а их ассоциациями, возникла необходимость обратиться к более детальному изучению таксономического, метаболического разнообразия микроорганизмов в природе, условиям формирования их ассоциаций и сообществ.

Вместе с тем изучение водных микроорганизмов все больше распространяется на такие искусственные экосистемы (очистные сооружения, скважины), в которых циклы элементов могут быть и незамкнутыми, что также расширяет предмет водной микробиологии как гидробиологической науки. В связи с вышеизложенным спецкурс по водной микробиологии получил более общее название “Экология водных микроорганизмов”. Теоретической предпосылкой для освоения данного спецкурса являются знания по общепрофессиональным дисциплинам “Микробиология и вирусология”, “Экология”, специальным – “Гидробиология” и “Экологическая альгология”, курса по выбору студента “Санитарная микробиология”.

Водные микроорганизмы играют ключевую роль в жизни водоемов, осуществляя замкнутые циклы основных биогенных элементов (С, N, S, P, Fe и др.). В состав водных микробоценозов входят продуценты (микроводоросли, цианобактерии, фото- и

хемоавтотрофные бактерии), деструкторы (большинство бактерий и грибы), а также регуляторы численности микроорганизмов: консументы (простейшие, присутствующие в водных экосистемах в разных пропорциях) и бактериофаги. Однако специальным объектом водной микробиологии являются прокариоты, отличные от цианобактерий. Последние по метаболизму и выполняемым функциям в водных экосистемах объединяются с зелеными водорослями и изучаются альгологией.

Вода является идеальной средой обитания для микроорганизмов. Она защищает их от высыхания и от экстремальных перепадов температуры: в водоемах они не превышают 20–30°C, в то время как на поверхности суши могут достигать 80°C (от –20 до +60°C). Вода – универсальный растворитель для органических и неорганических веществ. Водная среда является гомогенной по сравнению с почвой. Однако вода на Земле распределена неравномерно и имеет весьма разное качество (см. табл. 1). Кроме того, увеличивается количество водных экосистем техногенного происхождения: водохранилища, сооружения биохимической очистки сточных вод (аэротенки), различные скважины и т.п.

Таблица 1

Распределение воды на Земле [18]

Запас воды	Объем, 10 ³ км ³	% массы общей во- ды	% массы пресной воды	Время оборо- та, годы
Всего	1 458 703	100	–	–
Океаны	1 370 373	94	–	3 000
Глубокие грунтовые воды	60 000	4	–	5 000
Общая доступная пре- сная вода	28 329	1,94	100	–
Полярный лед	24 000	1,64	84,5	8 000
Активные грунтовые воды	4 000	0,27	14	330
Пресноводные озера	125	0,0086	0,4	1-100
Соленые озера	104	0,0071	0,36	10-1000
Почвенная влага	85	0,0058	0,3	1
Водяной пар в атмосфе- ре	14	0,00096	0,05	0,027 (10 сут)
Реки	1,2	0,00008	0,004	0,031 (11 сут)

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВОДНОЙ МИКРОБИОЛОГИИ. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И МЕТОДЫ	6
1.1. Формирование водной микробиологии как науки	6
1.2. Советский период.....	8
1.3. Основные направления и методы водной микробиологии	10
1.4. Современные методы изучения экологии водных микроорганизмов.....	15
2. КАЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ МИКРОБИОТЫ ВОДОЕМОВ .	17
2.1. Аллохтонные и автохтонные микроорганизмы.....	17
2.2. Многообразие водных прокариот.....	18
2.3. Физико-химические условия и пространственная организация микробиоты в водоемах	25
3. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВОДНЫХ ПРОКАРИОТ	36
3.1. Цикл углерода и микроорганизмы, его осуществляющие	36
3.1.1. Водородные бактерии	40
3.1.2. Карбоксидобактерии	42
3.1.3. Метанобразующие археи (метаногены)	44
3.1.4. Метилотрофные организмы	46
3.1.4.1. Метанокисляющие бактерии.....	48
3.1.4.2. Факультативные метилотрофные бактерии .	50
3.1.5. Угледородокисляющие бактерии.....	52
3.1.6. Целлюлозоразлагающие бактерии.....	56
3.1.7. Ацетогенные бактерии.....	58
3.1.8. Маслянокислые бактерии	60
3.2. Цикл азота.....	62
3.2.1. Азотфиксирующие микроорганизмы	64
3.2.2. Аммонификаторы.....	66

3.2.3. Нитрифицирующие бактерии.....	68
3.2.3.1. Хемолитоавтотрофы.....	68
3.2.3.2. Гетеротрофные нитрификаторы	70
3.2.4. Денитрификаторы	71
3.3. Цикл серы.....	73
3.3.1. Сульфатредуцирующие бактерии (СРБ)	74
3.3.2. Сероредуцирующие бактерии	78
3.3.3. Гнилостные бактерии, образующие сероводород	79
3.3.4. Бесцветные собственно серобактерии.....	79
3.3.5. Хемолитотрофные сероокисляющие (тионовые бактерии)	80
3.3.6. Фотосинтезирующие бактерии	81
3.3.6.1. Пурпурные бактерии.....	81
3.3.6.2. Зеленые бактерии.....	84
3.4. Цикл фосфора	87
3.5. Цикл железа и марганца	89
3.5.1. Микроорганизмы, восстанавливающие металлы	90
3.5.2. Окисление железа и марганца микроорганизмами	92
3.5.2.1. <i>Облигатно ацидофильные железобактерии</i>	93
3.5.2.2. <i>Бактерии, окисляющие железо в нейтральной и щелочной средах</i>	94
4. ПРОДУКЦИОННО-ТРОФИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ БАКТЕРИЙ В ВОДОЕМАХ	97
4.1. Количественные характеристики бактериальной продукции.....	97
4.2. Место бактерий в трофической сети водоема	100
4.3. Бактерии как пища водных животных	104
5. РОЛЬ МИКРООРГАНИЗМОВ В САМООЧИЩЕНИИ ВОД	109
5.1. Краткая характеристика загрязнения водоемов	109
5.2. Основные процессы самоочищения	110
5.3. Экологические факторы, определяющие интенсивность самоочищения вод	112
5.4. Общие закономерности микробиологической деструкции загрязняющих веществ	114
5.5. Интегральные количественные показатели окислительной способности микробиоты водоемов	116

5.6. Показатели биоиндикации степени загрязнения водоемов.....	118
5.7. Особенности деструкционных процессов в осадках водоемов	120
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	122
ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	123
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	125
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	128