

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВА-
ТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КЕРЧЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра «Водные биоресурсы и марикультура»

Танкевич П.Б, Жаворонкова А.М.

САНИТАРНАЯ ГИДРОБИОЛОГИЯ

Конспект лекций

для студентов направления подготовки
35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура

очной и заочной формы обучения

Керчь, 2015 г.

УДК 574.63(075.8)

Составители: Танкевич П.Б. канд. биол. наук, доцент кафедры ВБ и МК ФГБОУ ВО «КГМТУ»
П.Б. Танкевич, Жаворонкова А.М. ассистент кафедры ВБ и МК ФГБОУ ВО
«КГМТУ» А.М. Жаворонкова

Рецензент: Кулиш А.В., канд. биол. наук, доцент кафедры ВБ и МК ФГБОУ ВО «КГМТУ»
А.В. Кулиш

Конспект лекций рассмотрен и одобрен на заседании
кафедры ВБ и МК ФГБОУ ВО «КГМТУ»,
протокол № 2 от 6 октября 2015 г.
Зав. кафедрой А.П. Золотницкий А.П. Золотницкий

Конспект лекций утвержден и рекомендован к публикации
на заседании методической комиссии ТФ ФГБОУ ВО «КГМТУ»,
протокол № 2 от 11.11 2015 г.

© ФГБОУ ВО «КГМТУ», 2015 г.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	5
ТЕМА 1: ВВЕДЕНИЕ. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ САНИТАРНОЙ ГИДРОБИОЛОГИИ. ЦЕЛЬ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ.....	6
1.1 Содержание дисциплины.....	6
1.2 История развития санитарной гидробиологии.....	6
1.3 Цель и основные задачи санитарной гидробиологии.....	8
ТЕМА 2: ВОДА В ПРИРОДЕ. ФИЗИЧЕСКИЕ, ХИМИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ.....	10
2.1 Вода в природе.....	10
2.2 Физические показатели качества воды.....	11
2.3 Химические показатели качества воды.....	12
2.4 Биологические показатели качества воды.....	14
ТЕМА 3: ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЙ И КОНТРОЛЯ НАД ЗАГРЯЗНЕНИЕМ МОРЕЙ И УСТЬЕВ РЕК.....	15
3.1 Цель и задачи системы наблюдений и контроля над загрязнением морских вод (СКЗМ).....	15
3.2 Требования к выбору районов и станций наблюдений.....	16
3.3 Принципы деления станций наблюдений по категориям.....	17
3.4 Организация наблюдений.....	17
3.5 Рекогносцировочные обследования.....	19
ТЕМА 4: СИСТЕМА САПРОБНОСТИ ВОДОЕМОВ И ЕЕ ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ.....	20
4.1 Основные источники загрязнения водоемов	20
4.2 Система сапробности водоемов.....	21
4.3 Зоны сапробности.....	21
4.4 Организмы – индикаторы загрязнения.....	22
4.5 Дальнейшее развитие системы сапробности (работы В. Сладечека).....	23
ТЕМА 5: САМООЧИЩЕНИЕ ВОДОЕМОВ. РОЛЬ ГИДРОБИОНТОВ В ПРОЦЕССАХ САМООЧИЩЕНИЯ.....	26
5.1 Проблема загрязнения водоемов.....	26
5.2 Минерализационная работа гидробионтов.....	27
5.3 Очищение воды от нефти и нефтепродуктов.....	28
5.4 Самоочищение сточных вод.....	30
5.5 Биологические факторы самоочищения от патогенных микроорганизмов.....	30
5.6 Минеральные вещества в сточных водах.....	32
5.7 Накопление радионуклидов компонентов водных экосистем как фактор самоочищения водохранилищ.....	33
5.8 Самоочищение воды от растворенных синтетических поверхностно-активных веществ (ПАВ).....	35
ТЕМА 6: ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД. МЕТОДЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ. РЕАКТОРЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД.....	36
6.1 Основные методы очистки сточных вод.....	36
6.2 Методы биологической очистки сточных вод.....	37

6.3	Современные станции очистки сточных вод	38
6.4	Классификация реакторов, применяемых в очистке сточных вод.....	39
6.5	Биореакторы для очистки сточных вод.....	40
6.6	Биосорберы.....	44
6.7	Фильтр – биореактор с загрузкой из стеклоершей.....	44
6.8	Системы биологической очистки сточных вод на установке ВЮТА.....	44
6.9	Антропогенная эвтрофикация. Методы борьбы с «цветением» водоемов	45
ТЕМА 7: ТЕХНИЧЕСКАЯ ГИДРОБИОЛОГИЯ. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ, ПОНЯТИЯ И МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ГИДРОБИОЛОГИИ.....		
7.1	Основные проблемы технической гидробиологии.....	46
7.2	Биологические исследования как основа для разработки и повышения эффективности средств защиты от обрастания.....	47
7.3	Необрастающие краски и биологический контроль их токсичности.....	49
7.4	Использование ультразвука.....	50
ТЕМА 8: ПОВРЕЖДАЮЩИЕ БИОЦЕНОЗЫ В ВОДНОЙ СРЕДЕ. ОСНОВНЫЕ ОБРАСТАТЕЛИ. МЕХАНИЗМ ОБРАСТАНИЯ.....		
8.1	Морское и пресноводное обрастание	51
8.2	Основные обрастатели.....	52
8.3	Отношения организмов внутри сообществ. Механизм обрастания.....	55
8.4	Экология и распределение обрастателей.....	57
8.5	Характеристика обрастателей по климатическим областям Мирового океана.....	58
8.6	Качественный и количественный состав обрастаний морей СНГ	59
ТЕМА 9: МОРСКИЕ СВЕРЛИЛЬЩИКИ-ДРЕВОТОЧЦЫ И КАМНЕТОЧЦЫ. ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛИ, ОСОБЕННОСТИ ИХ БИОЛОГИИ.....		
9.1	История изучения.....	60
9.2	Строение, биология представителей сем. <i>Teredinidae</i> и <i>Pholadidae</i>	60
9.3	Древоточцы – представители других таксономических групп.....	62
9.4	Основные представители древоточцев морей СНГ.....	62
9.5	Разрушение каменных сооружений и бетона камнеточцами.....	63
9.6	Камнеточцы морей СНГ.....	64
ТЕМА 10: БИОЦИДЫ – СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ОБРАСТАНИЙ. БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ ОСНОВНЫХ ЯДОВ ПРОТИВООБРАСТАЕМЫХ КРАСОК.....		
10.1	Требования к биоцидам, их классификация	65
10.2	Моллюскоциды и другие противобрастающие агенты.....	65
10.3	Средства борьбы с древоточцами.....	67
10.4	Биологические механизмы действия основных ядов противобрастаемых красок	67
10.5	Механизм действия медьсодержащих биоцидов на моллюсков.....	68
10.6	Действие соединений тяжелых металлов на биоценоз обрастаний.....	69
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....		
		70

ВВЕДЕНИЕ

Санитарная гидробиология – специальная отрасль гидробиологии, которая занимается изучением проблем чистой воды и способствует обеспечению человечества высококачественной водой для сохранения жизни и здоровья, развитию промышленности и повышению продуктивности сельского и рыбного хозяйства. Основная задача санитарной гидробиологии – разработка основ охраны вод от загрязнения и теории биологического самоочищения. В сферу знаний санитарной гидробиологии входит также техническая гидробиология, которая занимается изучением биологии и экологии организмов, которые причиняют вред гидротехническим сооружениям и подводной части корпуса судов, и разрабатывает методы борьбы с ними.

Целью курса «Санитарная гидробиология» является овладение студентами основных положений изучаемой дисциплины. В предлагаемый для изучения курс входят вопросы, связанные с изучением процессов формирования чистых природных вод, очищение сточных вод от загрязнений, методов и способов контроля качественного состава воды, видовым составом организмов-обрастателей и способами борьбы с обрастанием гидротехнических сооружений и судов.

В ходе изучения дисциплины студенты должны усвоить основные положения санитарной гидробиологии, включая учение о сапробности и его развитие, методы очищения сточных вод, основные методы и способы борьбы с обрастанием. Студенты должны научиться определять основные виды гидробионтов-индикаторов для полисапробной, альфа-, бета-, мезосапробной зон, давать оценку санитарно-гидробиологическому состоянию водоема, различать основные группы организмов-обрастателей.

Конспект лекций написан в соответствии с типовой и рабочей программой курса «Санитарная и техническая гидробиология» и предназначено для студентов КГМТУ.

Согласно учебному плану дисциплина изучается на III курсе очного отделения и предусматривает 36 часов лекционных, 36 – практических и 36 часов самостоятельных занятий, а также на IV курсе заочного отделения - 8 часов лекционных, 8 – практических и 92 часа самостоятельных занятий.

ТЕМА 1: ВВЕДЕНИЕ. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ. ЦЕЛЬ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ САНИТАРНОЙ ГИДРОБИОЛОГИИ

План лекции:

- 1) *Содержание дисциплины;*
- 2) *История развития санитарной гидробиологии;*
- 3) *Цель и основные задачи санитарной гидробиологии.*

1.1 Содержание дисциплины

Огромный рост самого разнообразного водопользования и связанное с ним загрязнение водоемов общеизвестны. Чистая вода уже сейчас во многих районах лимитирует развитие городов и промышленности. Проблема чистой воды становится одной из важных государственных задач. В некоторых странах Западной Европы, где загрязнение вод достигло особенно больших масштабов, существует даже мнение, что ее решение представляет самую важную историческую задачу нынешнего поколения ученых.

Материалы Международного симпозиума ФАО по проблемам загрязнения вод и его влияния на рыбное хозяйство, свидетельствует о том, что лишь в немногих государствах европейского континента состояние ресурсов внутренних вод не вызывает пока серьезных опасений, тогда как в большинстве промышленно развитых стран оно является угрожающим.

В странах СНГ и на Украине проблема сохранения водных ресурсов также стоит достаточно остро. Хотя наша страна и располагает значительными запасами чистой воды, эти ресурсы при дальнейшем развитии промышленности и сельского хозяйства не неисчерпаемы и настало время всерьез заниматься проблемами их охраны и поддержания качества пресных и морских вод на должном уровне.

Возникает острая необходимость в научном анализе процессов, происходящих в гидросфере под влиянием загрязнений, которые угрожают вывести из строя основные водные ресурсы, и противопоставлении им организованных на научной основе природных сил сопротивления, подкрепленных совершенной техникой очистки загрязненных вод и системой рациональной эксплуатации водных ресурсов.

Можно ясно предвидеть грозящий нам уже в недалеком будущем качественный водный голод. Но прежде чем говорить о его продолжении, необходимо вспомнить еще несколько общеизвестных положений. Ведь только 60-70 лет назад масштабы потребления и загрязнения воды были неизмеримо меньше, чем сейчас. Основой водоснабжения служили реки и грунтовые воды. Но вот их не стало хватать: одновременно понадобилось очень много электроэнергии, началось усиленное гидростроительство. Избалованные прежним обилием чистой воды, мы заботились только о количественной стороне водной проблемы – о регулировании и перераспределении водяного стока. А качественная сторона – усиление самоочищения, формирование органолептических свойств воды, прекращение размыва берегов и т.д. – практически не учитывалось, и в результате мы не только плохо эксплуатируем существующие водохранилища и каналы, но и не улучшаем новые проектирования.

1.2 История развития санитарной гидробиологии

В дореволюционной России вопросы загрязнения водоемов возникали и решались sporadически. В 1869 г. президент Общества естествоиспытателей при Казанском университете Н. П. Вагнер поставил вопрос об исследовании стоячих вод в гигиеническом отношении. В качестве конкретных объектов исследования были названы два водоема, находящиеся в черте города Казани. Предложение Вагнера было принято, и была создана комиссия для разработки подобной программы и разрешения проблемы.

В более позднее время исследованиями многочисленных авторов установлен вред от воздействия нефти и продуктов ее переработки на всю водную жизнь.

Другой причиной, обусловившей большой интерес к загрязнению водоемов, был бурный рост легкой промышленности в центральном промышленном районе России, сопровождавшийся спуском неочищенных сточных вод в реки.

В 1912 г. был организован Временный комитет по изысканию мер к охране вод от загрязнения сточными водами и отбросами фабрик и заводов. В 1913-1915 гг. появились первые печатные отчеты этого комитета. В том же 1913 г. вышла научно-популярная книга А. П. Артари «Руководящие принципы оценки воды по ее флоре» а в 1916 г. в руководстве С. И. Златогорова была опубликована глава о биологическом анализе воды, написанная С. М. Вислоухом.

Таковы были первые шаги санитарной гидробиологии в России. В эти годы началась и энергичная работа двух известных русских исследователей биологических процессов в загрязненных водах – Я. Я. Никитинского Т. И. Долгова, связанная с Временным комитетом по охране вод.

В годы Советской власти (с 1923 г.) большую исследовательскую работу по санитарии вод развернул Санитарный институт Мосздравотдела. Его санитарно-гигиеническое обследование реки Клязьмы (1928) можно рассматривать как значительный вклад в комплексное изучение рек.

Санитарно-гидробиологические исследования развертывались и в других учреждениях – в Донбассе, Горьком, Днепропетровске, Казани и других городах.

В то же время вырисовывалась необходимость более детального изучения роли отдельных видов водных организмов в процессе биологического самоочищения водоемов на основе познания физиологии массовых видов водорослей и животных. Одной из первых работ такого рода было исследование физиологии, морфологии и экологии водоросли *Stigeoclonium tenue*. Эта водоросль, по словам автора Я. Я. Никитинского – резко выраженный сапробный показательный организм, сильно реагирующий в своем развитии на заражение воды.

Эколого-физиологическое направление в санитарной гидробиологии в сочетании с углубленным биологическим изучением водоемов было как бы завещанием Я. Я. Никитинского (1938); который писал: «Нет никакого сомнения, что в ближайшем будущем спрос на биологическую оценку водоемов вырастет значительно больше. Причиной этого увеличения спроса будут быстро возрастающие требования как к количеству, так и, особенно, к качеству воды как со стороны промышленности, так и со стороны населения».

К сожалению, заявление Я. Я. Никитинского и идеи другого известного исследователя по санитарной гидробиологии А. Н. Сысина, Центральный комитет водоохранения, реорганизованный в институт ВОДГЕО (Институт водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии) не учел и резко сократил объем гидробиологических и гидрологических исследований, переключив свое внимание на разработку методов очистки сточных вод промышленных предприятий.

Во второй половине 20-го столетия, из-за отсутствия в бывшем СССР Центрального всесоюзного гидробиологического института, который мог бы осуществлять методическое руководство, и множество координационных центров по проблемам водных ресурсов, работы по санитарной гидробиологии ведутся разрозненно и не на одинаковом теоретическом уровне.

В Харьковском университете и других научных учреждениях Харькова с 20-х годов в большем или меньшем размере производятся исследования загрязненных и чистых водоемов бассейна Северского Донца и Донбасса. В Киеве и Днепропетровске организовано 2 института гидробиологии, интенсивно занимающихся проблемами санитарной гидробиологии. Плодотворное санитарно-гидробиологическое направление сложилось в Минске, где объединились силы гидробиологов-физиологов и гигиенистов, давших образцовые работы по использованию биологических факторов при очистке сточных вод.

В Москве, после свертывания санитарно-гидробиологических работ в ВОДГЕО, большую исследовательскую работу развивает и поддерживает кафедра гидробиологии Московского университета.

В Ленинграде, где санитарно-гидробиологические исследования издавна были связаны с рекой Невой и ее использованием для водоснабжения и приема сточных вод, оформились *три* центра санитарно-гидробиологических исследований. Это, прежде всего лаборатория по изучению загрязнения рыбохозяйственных водоемов ГосНИОРХ, затем институт радиационной гигиены, и, наконец, лаборатория пресноводной и экспериментальной гидробиологии ЗИН АН России.

За рубежом санитарная гидробиология наиболее совершенные формы приобрела после установления Кольквитцем и Марсоном (1902 г.) зон загрязнения (сапробности), обусловленных наличием и работой экологически соответствующих этим зонам сапробных организмов. Наибольшего расцвета санитарная гидробиология достигла в Чехословакии, Германии, Швейцарии, Соединенных Штатах Америки.

Характерной чертой развития этой отрасли биологии в Чехословакии являлась ее многоведомственность: гидробиология занимает видное положение как в водохозяйственных институтах Праги и Братиславы, так и в санитарных институтах и университетах. Чешские и Словацкие гидробиологи Р. Шрамек-Гушек, В. Сладчек, М. Зелинка и др. существенно дополнили диапазон шкалы сапробности и ввели ряд новых признаков для оценки и изображения степени загрязнения водоемов.

Большого внимания заслуживает положение санитарной гидробиологии в Швейцарии. Каждое озеро, каждый водоем находится здесь под наблюдением кантональных лабораторий, где работают гидробиологи, гидрохимики.

В разнообразных аспектах ведется работа по санитарной гидробиологии в Германии. Мюнхенская школа дала удобные для практиков приемы графического изображения качества воды.

В США санитарная гидробиология возникла одновременно с таковой Европы, но почти независимо. Последнее видно уже только по тому, что учение о сапробности не затронуло Америку.

Внимательно к вопросам охраны вод от загрязнения и санитарной гидробиологии относятся Англия и Франция.

Большая работа, сопровождающаяся изданием многочисленных книг, отчетов и других материалов проводится на водоемах Южной Африки Национальным институтом водных исследований в г. Претория.

Вопросами санитарной гидробиологии занимаются многие международные организации. Так, Международная ассоциация теоретической и прикладной лимнологии большое внимание уделяет проблемам загрязнения и самоочищения водоемов. Вопросами согласованной методики занимается и Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), организующая для этой цели специальные симпозиумы.

«Международный журнал общей биологии» на протяжении длительного времени предоставлял свои страницы для дискуссии о существе учения о сапробности организмов и сапробных зонах водоемов.

Новый журнал «Water Research» (орган международной ассоциации по изучению загрязненных вод (JAWPP) публикует работы, выполненные на очень высоком уровне, причем с преобладающей ролью биологических исследований, при сочетании усилий биологов, физиков, химиков и даже кибернетиков. Значительный объем научной информации представлен также в трудах международных конгрессов этого органа.

1.3 Цель и основные задачи санитарной гидробиологии

Часто приходится слышать, что гидробиологи занимаются чистой наукой, а решение хозяйственных задач – не их дело. Это, конечно, не так: гидробиология вообще, а санитарная в особенности – прикладная наука, расти она может только на научном решении практических вопросов. Очень кратко ее задачи можно сформулировать так: управление самоочищением в водоемах и водотоках, сохранение чистой воды в них, направленное улучшение их конструкции и эксплуатации. Однако, во всех процессах самоочищения участвуют не только биологические, но и химические и физические факторы. Даже в биологии нельзя обойтись без помощи систематики, физиологии, биохимии. Притом все это на очень широком круге организмов – от бактерий, одноклеточных водорослей и простейших – до высших растений и рыб. А если мы хотим не только изучать, но и направлять природные процессы, то прибавится и механика, гидрология, метеорология, организация работ и их экономика.

Санитарная гидробиология – это комплекс наук, имеющий конечной целью получение и сохранение чистой воды в природе на основе наиболее целесообразной и интенсивной эксплуатации водных ресурсов.

Подход ведущих гидробиологов к фактическому содержанию санитарной гидробиологии охарактеризован в дискуссионных статьях, в которых круг вопросов, находящихся в компетенции санитарной гидробиологии, очерчен достаточно четко. *К ее ведению* относятся как процессы, осуществляемые на технологическом уровне, так и процессы, происходящие собственно в загрязненных водоемах.

А – на технологическом уровне:

– разработка методов управления биологическими процессами в условиях очистных сооружений (биологические пруды, биофильтры, метан-тэнки, септитэнки, поля фильтрации, циркуляционные окислительные каналы и др.);

– исследование и интенсификация функций активного ила и биологический контроль эффективности очистных сооружений, его использующих;

– участие в разработке комплексных методов подготовки воды на водопроводах и в цехах технического водоснабжения промышленных предприятий;

– борьба с биологическими помехами в питьевом и техническом водоснабжении.

Б – на уровне естественных водоемов:

– оценка качества питьевых и других используемых в народном хозяйстве вод по их флоре и фауне (биологический анализ воды);

– исследование процессов биологического самозагрязнения вод;

– исследование процессов формирования качества воды в водоемах зарегулированного и перераспределяемого стока (водохранилища, каналы);

– исследование биологических последствий поступления в водоемы новых типов загрязнителей (например, тепловое загрязнение), за исключением токсических, которые в силу своей специфичности, входят в сферу интересов водной токсикологии.

Перечисленный круг вопросов носит сугубо практический характер, но их решение требует многосторонних теоретических исследований в таких областях, как экология и физиология гидробионтов, альгология, водная микробиология, биоценология и др. В условиях индустриальных систем водоочистки и водоподготовки биология теснейшим образом взаимодействует с химией и техникой и тем самым неизбежно превращается в *санитарно-техническую гидробиологию*. Бояться такой «гибридизации» нет никаких оснований. Наоборот, для решения своих задач санитарная гидробиология обязательно должна вступать в союз с теми научными дисциплинами, которые могут быть ей полезны и которым она может быть полезна.

Современная санитарная гидробиология представляет собой отрасль гидробиологии, ставящую целью способствовать обеспечению человечества высококачественной водой для сохранения жизни и здоровья, развития промышленности и повышения продуктивности сельского и рыбного хозяйства.

Две последние отрасли должны обслуживаться санитарной гидробиологией только в аспекте охраны вод от загрязнения и обеспечения сельского хозяйства и рыбохозяйственных мероприятий водой необходимого для них качества.

Одной из основных задач санитарной гидробиологии является разработка основ охраны вод от загрязнения и теории биологического самоочищения водоемов и применение этих концепций в практических целях.

В круг исследований санитарной гидробиологии должны быть включены следующие работы:

1) периодическое картирование качества воды по биологическим, химическим и физическим признакам типовых водоемов;

2) разработка экспресс-методов определения качества воды на основе биологических показателей загрязнения в сапробных, токсобных и сапротоксобоных условиях;

3) токсикологическое исследование гидробионтов;

4) экология и физиология гидробионтов и изменения в них в связи с загрязнением водоемов;

5) полевое и лабораторное изучение процессов самоочищения водоемов:

а) разбавления и смешения загрязненных вод с применением гидробиологических методов;

б) физико-химические окисления органических веществ;

- с) биохимической переработки веществ в водной толще (биологического окисления, минерализации, фильтрации, трансформации, накопления органического вещества, концентрации минеральных и радиоактивных веществ);
- d) фотосинтеза и деструкции в загрязненных водах;
- е) сорбции загрязняющих веществ грунтами водоемов (илами через седиментацию, песками через транзитный контакт);
- f) биохимической переработки веществ в грунте, захоронение в грунте и выделения продуктов в атмосферу.

Процессы самоочищения водоемов требуют некоторого пересмотра понятия «вторичное загрязнение». Если первичное загрязнение легко распознается одинаково хорошо как химическими, так и биологическими методами, то вторичное загрязнение порою (ввиду вступающего в процесс самоочищения фактора разбавления) устанавливается легче и точнее биологическими методами.

Научно-исследовательские работы постепенно охватывают все большее число вопросов изложенной программы. *Периодическое* картирование водоемов для установления изменений в качестве воды под влиянием имеющихся или предполагаемых загрязнений, а также поиски биоиндикаторов загрязнения является одной из важных задач санитарной гидробиологии.

Вопросы для самоконтроля:

1. Назовите основные организации и ведущих ученых, которые занимались вопросами очистки вод в России.
2. Какова роль международных организаций и зарубежных ученых в становлении санитарной гидробиологии?
3. Сформулируйте цель и основные задачи санитарной гидробиологии на современном этапе.

Литература: [5; 9; 13; 14]

ТЕМА 2: ВОДА В ПРИРОДЕ. ФИЗИЧЕСКИЕ, ХИМИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ

План лекции:

- 1) *Вода в природе;*
- 2) *Физические показатели качества воды;*
- 3) *Химические показатели качества воды;*
- 4) *Биологические показатели качества воды.*

2.1 Вода в природе

Вода имеется не только в гидросфере, но и в атмосфере и литосфере (в связанном состоянии в составе горных пород и минералов). Около 1 км³ воды ежегодно выделяется из мантии и магматических очагов, пополняя мировые запасы поверхностных вод.

Общее количество воды на земном шаре постоянно: количество ежегодно испаряющейся воды с поверхности водоемов, почв, растительности в среднем равно количеству воды, поступающей с осадками, хотя на разных участках земной поверхности влагооборот может отклоняться от среднего в ту или другую сторону. При испарении в атмосферу вместе с водой уносится и некоторое количество растворенных в ней солей. Ежегодно испаряется 448 тыс. км³ воды, с ней уносится из Мирового океана до 500 млн. т за год сульфат-иона и такое же количество карбонат-иона.

Вода не только является местом обитания гидробионтов. Она служит материалом для создания живой материи, первоисточником того водорода, который в соединении с углекислотой дает начало органическому миру. Все три оболочки земного шара (атмосфера, гидросфера и литосфера) заселены живыми организмами, образующими биосферу.

В атмосфере граница жизни практически распространяется на высоту не более 7-8 км, в литосфере на 5-6 м, только бактерии проникают по трещинам Земли на глубину 2,5-3,0 км. Дальнейшему проникновению препятствуют высокие температуры и давление. Наиболее заселена водная оболочка – гидросфера, особенно поверхностные водоемы, где жизнь существует от поверхности до самых глубоких мест, достигающих в океанах 11 тыс.м.

Вода входит в состав живых существ, составляя 60-99,7% от их массы (органов, тканей, тела), в состав их крови, лимфы и других соков тела как водных, так и наземных организмов. Количество воды в организмах только в два раза меньше, чем во всех реках Земли. Она является основной средой, в которой протекают процессы обмена веществ в организмах и субстратом ряда химико-ферментативных реакций.

Вода имеет также большое значение в формировании физико-химических свойств окружающей среды – климата, погоды, круговорота веществ и т. д. По образному выражению вода – это «эликсир жизни», «кровь Земли».

Без воды нет жизни.

2.2 Физические показатели качества воды

В ряде случаев при определении степени ухудшения природных вод изменение физических свойств является более чувствительным показателем, чем другие.

Природные пресные воды не имеют вкуса и запаха. Привкусы и запахи могут появляться в них от пребывания рыбы, от развития в воде некоторых водорослей, низших грибов. Ряд организмов, находясь в неблагоприятных условиях существования, придает воде неприятный запах. Запах может появляться в воде и вследствие протекания биохимических процессов в нижних ее слоях или в грунтах, а также под влиянием сточных вод. Очень часто при исчезновении запахов сохраняется неприятный привкус или этот привкус приобретают водные организмы.

Интенсивность вкуса и запаха воды определяют органолептически и выражают в баллах:

0 - нет запаха и вкуса;

1 - Очень слабый. Обнаруживается только опытными исследователями.

2 - Слабый. Обнаруживается всеми, если обратить их внимание.

3 - Заметный. Легко обнаруживается всеми и вызывает неодобрительный отзыв.

4 - Сильный. Обращает на себя внимание и заставляет воздерживаться от употребления воды или других продуктов.

5 - Очень сильный. Вода и продукты непригодны к употреблению.

Если вода имеет сомнительные санитарные качества, то ее вкус определяется после кипячения и охлаждения. Различают такие виды вкуса, как соленый, горький, кислый, сладкий. Все остальные вкусовые ощущения определяют как привкусы, например рыбный, фенольный, нефтепродуктов, хлорный и т.д.

Прозрачность воды зависит в основном от наличия в ней взвешенных веществ, а также от температуры и цвета воды. Чем больше цвет приближается к голубому, тем прозрачнее вода. Приближение к желтому снижает прозрачность, что и наблюдается в водоемах с гуминовыми водами, которые имеют желтую и желто-коричневую окраску.

Изменение температуры влияет на плотность воды, а косвенно и на ее прозрачность, которая с повышением температуры уменьшается. Поэтому зимой прозрачность выше, чем летом.

Прозрачность воды в водоемах обычно определяют по белому диску и выражают в метрах.

В лабораторных условиях прозрачность определяют путем чтения специального шрифта через столб воды, налитой в цилиндр (прибор Снеллена) с плоским дном, и выражают в сантиметрах столба воды, через который читается шрифт.

Прозрачная вода, в которой нет никаких примесей, в тонком слое бесцветна, в толстом слое имеет голубой цвет, переходящий в синий при больших глубинах. Наличие другой окраски указывает на присутствие в воде каких-то растворимых, взвешенных веществ или примесей.

Изменение цвета воды не оказывает видимого прямого влияния на условия обитания водных организмов, но может сказаться косвенно через изменение прозрачности.

Цвет воды может определяться визуальным путем просматривания на водоеме столба воды высотой 0,5 м над белым диском или рассматриванием сверху столбика воды в приборе Снеллена на белом фоне. Результат описывается словесно (зеленый, бурый и т. д.) с указанием оттенков (слабо-желтый, коричневатый и т. п.). Чаще всего цветность определяют по заранее приготовленным шкалам с растворами, имеющими цветность воды – обычно применяют платиново-кобальтовую шкалу и выражают цветность в градусах этой шкалы. Эта шкала пригодна для определения цветности большинства природных вод. Мутную воду перед определением цветности фильтруют. При сильном развитии фитопланктона и поступлении в водоем окрашенных сточных вод цветность определяют визуально.

Цветность большинства природных вод колеблется в пределах 15-30⁰. Только воды болотного происхождения, богатые гумусом могут иметь более высокую цветность. Для рыбоводных целей мало пригодны воды с цветностью выше 50⁰.

2.3 Химические показатели качества воды

Формирование состава воды. Этот процесс начинается в атмосфере, где воды в 11 раз больше, чем в реках земного шара. Объем воды в атмосфере в течение года сменяется 40 раз. В атмосфере из воздуха переходят в воду газы (кислород, двуокись углерода, аммиак, азот и его окислы), некоторые соли (хлориды, сульфаты, фосфаты). Здесь вода насыщается минеральными и органическими взвешенными веществами и другими компонентами, имеющимися в воздухе. По данным В. И. Жадина на 1 га почвы с дождем выпадает до 20 кг хлора и серы. Завершается формирование состава воды после выпадения ее на землю, где она вымывает различные вещества из земной коры и меняет свой газовый состав.

Строение молекулы воды. Химическая формула чистой воды хорошо известна – H₂O. Однако установлено, что состав молекулы воды более сложен в связи с существованием нескольких изотопов водорода (H¹, H², H³) и кислорода (O¹⁵, O¹⁶, O¹⁷ и др.). Поэтому в состав молекулы воды могут входить различные изотопы водорода и кислорода и в природной воде наряду с обычными ее молекулами, имеющими молекулярную массу 18, имеются молекулы с молекулярной массой 19, 20, 21 и 22. Природная вода представляет собой смесь девяти изотопных разновидностей воды, в которой 99,73% составляет H₂O¹⁶ с молекулярной массой 18. Если в состав молекулы воды входит изотоп водорода – дейтерий H² (обычно его обозначают D), то такую воду называют тяжелой водой (D₂O). В воде рек ее находится до 150г на 1т.

Состав воды. В природе нет совершенно одинаковых вод. Под составом воды принято понимать весь сложный комплекс минеральных и органических веществ, растворимых в ней, а также коллоидов, газов и ионов, являющихся составной частью воды.

На сегодняшний день в природных водах найдено 45 химических элементов и есть все основания полагать, что в будущем найдены все химические элементы. Большая часть элементов находится в воде в виде ионов, некоторые в коллоидном состоянии. Газы находятся в молекулах, органические вещества – в коллоидном и молекулярном состоянии.

Растворенные газы. Из растворенных газов в воде наибольшее значение имеют O₂ и двуокись углерода CO₂.

Кислород. Содержание его в воде зависит от обогащения воды кислородом и расхода его на биологические и химические процессы. Обогащение идет за счет адсорбирования газа поверхностными слоями воды из воздуха и за счет ассимиляционной деятельности водных растений (фотосинтез).

Расходуется кислород в водоемах на дыхание водных растений животных и на биохимические и химические окислительные процессы. При больших расходах O₂ в водоеме может возникнуть кислородный дефицит, который может сопровождаться заморами.

Величина суточного изменения содержания O₂ в водоемах, сроки наступления максимума и минимума его меняются в течение года и различны для разных водоемов. Наибольшее насыщение воды происходит в холодные осенний и зимний периоды года.

Двуокись углерода – CO₂. Этот газ почти всегда имеется в воде в растворенном состоянии и частично (около 1%) в виде угольной кислоты H₂CO₃. Образование и накопление CO₂ в воде происхо-

дит за счет дыхания водных организмов, протекания биохимических процессов, различных видов брожения, процессов, происходящих в глубинах Земли, и в меньшей степени от поступления ее из воздуха.

Помимо фотосинтеза двуокись углерода расходуется в процессе перехода нерастворимых средних солей угольной кислоты (карбонатов) в растворимые гидрокарбонаты.

Наличие в воде угольной кислоты имеет большое значение для водных растений, для которых она является источником углерода.

Из других газов в природных водах иногда встречается сероводород, метан CH_4 , аммиак.

Активная реакция воды или активная кислотность (щелочность), обуславливается существующим в ней соотношением кислых (H) и щелочных (ОН') ионов. Если количества их равны, то реакция будет нейтральной. В случае преобладания ионов ОН' – щелочной, ионов H' – кислотой.

Для удобства, по предложению *Серенсена* реакцию среды выражают не абсолютным показателем концентрации водородных ионов, который очень мал, а так называемым водородным показателем, который обозначается символом рН.

Для чистой воды, не имеющих никаких примесей, рН будет равным 7, т. е. вода будет нейтральной. В щелочной среде рН будет больше 7, а в кислой – меньше.

Природные воды всегда содержат в своем составе различные растворенные вещества, поэтому редко имеют нейтральную реакцию. В пресных водоемах она чаще бывает слабощелочной. Воды, стекающие с болот и воды дистрофных водоемов обычно имеют кислую реакцию ввиду наличия в их составе гуминовых кислот. В дистрофных водоемах активная реакция воды в течение года колеблется очень мало – рН=4-6. Наиболее сильно она меняется в *эвтрофных* водоемах, где рН колеблется от 6 до 10.

В природных пресных водоемах рН колеблется в пределах 6,5-8,2. Увеличение рН выше 8 наблюдается при интенсивном фотосинтезе. Водные организмы могут обитать в воде только при определенном пределе колебания рН. От рН среды зависит протекание многих химических и биохимических процессов в водоеме.

Биогенные вещества и микроэлементы. Биогенными веществами (биогенами) называют вещества, входящие в состав организмов и имеющие определенное биологическое значение. Образуются они в воде в результате жизнедеятельности организмов, и наличие их обуславливает возможность существования последних. Помимо кислорода, углерода, водорода, которые составляют 98% массы организмов, к этой группе веществ относится азот, фосфор, железо, кремний и ряд других элементов (калий, кальций, натрий, магний, марганец, йод и т. д.). Для существования и развития водных организмов Большое значение имеют азот, фосфор, железо, кремний, калий, недостаток их в воде может значительно снижать биологическую продуктивность водоемов.

Азот. В природных водах азот находится в виде растворенного газа и в виде органического и неорганического его соединений. Может он поступать в водоем и со сточными водами. По количественному его содержанию можно судить о степени загрязнения водоемов. Из неорганических соединений азота в воде присутствуют: солевой аммиак или азот аммонийный (ионы NH_4), соли азотистой кислоты – нитриты (NO_2), соли азотной кислоты – нитраты (NO_3). Между этими формами существует определенное соотношение.

Фосфор. В природных водах фосфор встречается в виде растворимых и нерастворимых (взвеси) неорганических и органических соединений. Последние находятся в воде в виде растворов, коллоидных частиц и в адсорбированном состоянии на коллоидах.

Неорганический фосфор находится в воде в виде растворимых солей ортофосфорной кислоты (H_3PO_4). Фосфаты являются питательной средой для водных организмов и особенно необходимы для развития фитопланктона и высших растений. Фосфор, используемый растениями и животными, возвращается обратно в водоем в процессе их жизнедеятельности и распада отмерших организмов. Содержание фосфатов в воде водоемов колеблется: летом их больше, в другие сезоны меньше. Поверхностные пресные воды содержат сотые, иногда десятые доли мг. Р/л. Присутствие его в большом количестве указывает на загрязнение водоема.

Железо присутствует почти во всех природных водах в виде растворимых соединений закиси (Fe_2) и окиси (Fe^3), а также в комплексных соединениях с органическим веществом. Железо – важный биогенный элемент. Оно входит в состав крови животных и хлорофилла растений. Недостаток его в воде может тормозить цветение водорослей, а избыток – оказывать ядовитое действие на водные организмы.

Микроэлементы. В природных водах они находятся в очень низких концентрациях – в сотых и тысячных долях мг/л, что связано с малой их растворимостью.

Органические вещества. Поступают в водоемы с водосборной площади в результате вымывания из почв. В основном это продукты распада отмерших животных и растений.

Органические вещества (помимо тех, которые входят в живые организмы) находятся в воде во взвешенном состоянии, в растворенном и коллоидном виде. Одни из них легко усваиваются бактериями, другие трудно (водный гумус). Состав органических веществ сложен, разнообразен и недостаточно изучен. Среднее содержание неживого органического вещества в речных водах составляет примерно 20 мг/л, что в несколько раз выше содержания живого органического вещества. В океанических водах их содержится около 4мг/л. Много органических веществ в болотных водах, в водах торфяных карьеров и в загрязненных водах.

Определение органических веществ в воде сложно и трудоемко. О количестве их можно судить по цветности воды, по спектру поглощения и другим методам.

Общее количество растворенных и взвешенных веществ. Взвешенные вещества, как и растворенные, определяют условия существования в водоемах гидробионтов, особенно организмов, живущих за счет сейстона. От количества и состава взвешенных веществ зависят условия их питания. Взвешенные вещества могут быть минеральными и органическими, а также органо-минеральными (минеральные частицы заселены бактериями).

Большое количество взвешенных частиц отрицательно сказывается на распределении и питании водных организмов. Иногда из-за большой мутности воды в нижнем течении рек отсутствует зоопланктон, следовательно, низовья этих рек являются безжизненными. Очень много минеральных взвешенных веществ в воде горных рек, особенно после дождей.

Количество взвешенных веществ в воде определяют путем фильтрования определенного ее объема через предварительно взвешенный фильтр. Выпариванием фильтрованной воды определяют сухой остаток.

2.4 Биологические показатели качества воды

Биологические методы оценки качества воды и грунтов разделяются на бактериологические и биологические.

Биологические исследования с санитарно-гигиенической точки зрения, ведутся в двух направлениях: 1. Определение числа микроорганизмов в единице объема (обычно в 1мл воды или в 1г грунта) для выращивания патогенных бактерий в целях предотвращения эпидемий. 2. С рыбохозяйственной точки зрения представляет интерес на патогенные микроорганизмы, а организмы, разрушающие загрязнения и участвующих в круговороте веществ в водоеме. Состав и количество микрофлоры в воде является показателем ее качества.

По данным С. И. Кузнецова в олиготрофных озерах насчитывается до 150 тыс. бактерий в 1мл воды, в мезотрофных – от 0,5 до 1,5 млн., в эвтрофных в среднем 2-4 млн. В ряде случаев количество бактерий может быть значительно большим, например, в удобряемых водоемах.

Санитарно-биологическая оценка воды производится обычно не по общему содержанию бактерий, а по содержанию в ней гетеротрофных микроорганизмов-разрушителей органического вещества (в основном сапрофитов) и бактерий группы кишечной палочки (с входящими в нее подгруппами *Bacterium paracoli* и *Bacterium aerogenes*) – показателей фекального загрязнения водоемов, и наличия в воде патогенных микроорганизмов.

В качестве показателей санитарной оценки степени загрязнения воды или грунта приняты титр кишечной палочки (коли-титр) – наименьшее количество воды в миллилитрах или грунта в граммах, в котором обнаружена одна кишечная палочка, и индекс кишечной палочки (коли-

индекс) – количество особей кишечной палочки, находящихся в определенном объеме жидкости (1л) или навеске (1кг) твердого тела. Чем больше загрязнение воды, тем меньше коли-титр и тем выше коли-индекс.

По ГОСТу, вода, очищенная на водопроводной станции, не должна содержать свыше 100 бактерий в 1мл и иметь коли-индекс не более 3, а коли титр не меньше 300.

Физико-химические и бактериологические показатели качества воды характеризуют ее только в момент отбора проб на определенном участке. Биологические показатели качества воды, полученные на основе исследования распределения постоянно обитающих в ней организмов, дают более широкое представление о ее качестве, причем не только на момент проведения исследований. При биологических исследованиях изучают не только воду, но и весь водоем в целом, его население, грунты, ход биохимических процессов и другие факторы, влияющие на условия обитания водных организмов.

Природные водоемы населены организмами, различно реагирующими на изменение среды их обитания: одни из них более чувствительны, другие – менее к неблагоприятным воздействиям. Поэтому под влиянием происходящих изменений в водоеме, одни организмы погибают, другие наоборот начинают усиленно развиваться. Наличие в водоеме чувствительных организмов указывает на хорошие качества воды, а малочувствительных свидетельствует о его загрязнении, причем каждая степень загрязнения характеризуется наличием определенной группы организмов.

Организмы, обладающие комплексом физиологических особенностей, обуславливающих их способность жить и развиваться в загрязненных водах, называются сапробными организмами. Они показывают степень органического загрязнения с не меньшей точностью, чем физико-химический анализ.

В последние годы в связи с развитием новых производств, сбрасывающих в водоемы сточные воды с неизвестным или малоизученным составом, биологический метод приобретает большое значение.

Вопросы для самоконтроля:

1. В чем заключается основная роль и значение воды в природе?
2. Назовите физические показатели качества воды. Какими методами они определяются?
3. Как происходит формирование химического состава воды?
4. Перечислите основные растворенные в природной воде газы и химические элементы.
5. Назовите биологические показатели качества воды.

Литература: [5; 6; 8; 9; 11; 14]

ТЕМА 3. ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЙ И КОНТРОЛЯ НАД ЗАГРЯЗНЕНИЕМ МОРЕЙ И УСТЬЕВ РЕК

План лекции:

- 1) *Цель и задачи системы наблюдений и контроля над загрязнением морских вод (СКЗМ);*
- 2) *Требования к выбору районов и станций наблюдений;*
- 3) *Принципы деления станций наблюдений по категориям;*
- 4) *Организация наблюдений;*
- 5) *Рекогносцировочные обследования.*

3.1 Цель и задачи системы наблюдений и контроля за загрязнением морских вод (КСЗМ)

Система наблюдений и контроля за загрязнением морей и устьев рек представляет собой сетки станций наблюдений, состоящие из стандартных гидролого-гидрохимических разрезов, вековых разрезов, рейдовых пунктов, а также гидростворов в водотоках дельты. Эти наблюдения позволяют про-

водить и систематически уточнять районирование моря по степени и пространственному распространению загрязняющих веществ в море и устьях рек.

Целью системы является получение информации о состоянии загрязнения морских вод для обеспечения народнохозяйственных организаций, а также для планирования и осуществления мероприятий по охране и рациональному использованию морских водных объектов.

Основные задачи СКЗМ заключаются в получении сведений для обеспечения:

- штормовой (экстренной) информацией о резких повышениях или высоких уровнях загрязнения (особо опасных и опасных явлениях) в отдельных районах моря и устьевых областях рек;
- систематической информацией о состоянии загрязнения морских вод и устьевых областей рек;
- эпизодической информацией о состоянии загрязнения моря в районах эпизодических наблюдений (осуществляется по отдельным запросам).

Назначение системы наблюдений и контроля состоит:

- в обеспечении организаций штормовой, систематической и эпизодической информацией об уровнях загрязнения морских вод;
- в составлении баланса, прогнозов и предупреждений о возможных изменениях загрязнения морской среды, а также влияния химических загрязнений на трансформацию химического состава морских вод;
- в оценке эффективности мероприятий по защите от загрязнения морской среды;
- в изучении процессов деструкции загрязняющих веществ;
- в планировании и осуществлении мероприятий по охране и рациональному использованию морских и устьевых вод.

3.2 Требования к выбору районов и станций наблюдений

Требования, предъявляемые к выбору районов и расположению станций наблюдения, определяются совокупностью условий: характером требуемой информации (штормовая, систематическая, эпизодическая); значением района наблюдений (курортно-оздоровительное, рыбохозяйственное); назначением информации (прослеживание изменений загрязнений во времени, изучение пространственного распространения, составление баланса и прогноза загрязнений); географическим расположением источников загрязнений; составом и концентрацией загрязняющих веществ; предшествующим состоянием загрязненного моря или его отдельных районов; физико-географическими и гидролого-гидрохимическими условиями.

Общим требованием, предъявляемым к расположению станций наблюдений для получения всех видов информации, служит их репрезентативность, а также охват наблюдениями как загрязненных, так и относительно чистых вод.

Для получения *штормовой* информации важным является выбор района наблюдений. Чаще всего этими районами будут прибрежные воды, где осуществляется максимум сброса сточных вод от городов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, со стоком рек, а также прибрежные воды, имеющие важное курортно-оздоровительное и рыбохозяйственное значение.

Для получения *систематической* информации необходимо получение наблюдений по всей акватории моря. Частота и расположение станций наблюдений определяется в прибрежных водах объемом и характером поступающих стоков и гидролого-химическими условиями, в открытой части – в основном циркуляционными системами, наличием бароклина и т.п.

Для получения *эпизодической* информации наблюдения проводятся в локальных районах при обследовании шельфовой зоны во время изыскательских работ.

Сетка станций наблюдений, состоящая из разрезов, должна начинаться от источников загрязняющих веществ (устья рек, города, поселки, промышленные комплексы, предпроливные районы) и заканчиваться в относительно чистых или слабо загрязненных районах (это обычно удаленные от берега открытые районы моря). Сетка станций наблюдений должна охватывать в соответствии с современным районированием либо всю акваторию моря (Азовское), либо значительную его часть (Черное), либо прибрежную зону (открытые моря).

При определении местоположения станций наблюдений за специфическими загрязняющими веществами необходимо учитывать их распространения, объем сбросов, скорость деструкции, форму их нахождения в естественных условиях и физико-химические свойства.

К примеру: Ртуть встречается локально в отдельных загрязненных районах моря, приуроченных к районам сброса, а также в стрижнях циркуляционных систем. Локальное распространение ртути связано со сравнительно небольшими объемами ее сброса, быстрой коагуляцией и выпадением на дно соединений ртути при солёности ниже 10‰.

Нефть распространена практически повсеместно. Это связано, во-первых, со значительными объемами ее сброса, во-вторых, с тем, что все углеводороды разлагаются чрезвычайно медленно, и, в-третьих, с тем, что наличие скачка плотности значительно препятствует осаждению тяжелых фракций нефти в нижние слои моря и на дно.

3.3 Принципы деления станций наблюдений по категориям

Станции по составу и частоте наблюдений разделяются на три категории. В основу деления положены важность района моря в культурно-оздоровительном и рыбохозяйственном отношении и уровень загрязнения водного объекта в районах поступления сточных вод. Категорийность станций также определяется срочностью и объемом наблюдений, количеством определяемых загрязняющих ингредиентов и показателей среды.

Станции I категории (единичные контрольные станции) характеризуют обычно ограниченные участки.

Они располагаются в районах, постоянно подверженных интенсивному загрязнению, и в районах моря, имеющих большое оздоровительное и рыбохозяйственное значение (порты и припортовые акватории, места сброса городских сточных вод и сточных вод промышленных и сельскохозяйственных комплексов, районы переработки и добычи полезных ископаемых, замыкающие створы устьев рек, районы курортов, промысла и нереста рыбы и т.п.) В районах поступления сточных вод может наблюдаться загрязнение воды, которые в десятки, а в отдельных случаях и в сотни раз превышают ПДК по какому-либо ингредиенту или в 10 и более раз фоновых уровни загрязнения в данном море.

Станции I категории предназначены для оперативного контроля над состоянием загрязнения моря в районах курортов, рыбных промыслов и для выявления высоких уровней загрязнения моря в местах поступления сточных вод.

Станция II категории (сетка станций, состоящая из разрезов) охватывает значительные акватории моря, устья рек и другие районы, имеющие большое хозяйственное значение (курортные зоны, рыбопромысловые районы и районы, где поступают и могут распространяться сточные воды). Кроме того, такие станции могут быть расположены на трассах интенсивного судоходства. Наблюдения на станциях II категории проводятся для получения штормовой и систематической информации в целях контроля загрязнения морских и устьевых вод и исследования сезонной и годовой изменчивости.

Станции III категории располагаются в части моря, где не предусмотрены станции I и II категорий и где отмечаются более низкие уровни загрязнения или относительно чистые воды. Наблюдения на станциях III категории организуются для получения систематической информации об уровнях загрязнения с целью изучения их сезонной и годовой изменчивости и для определения элементов баланса химических веществ и т. п. При необходимости наблюдения на станциях I и III категорий могут быть использованы для штормовой информации.

При определении категорийности станций наблюдений следует учитывать состояние загрязнения района наблюдений. В случае необходимости возможно изменение местоположения и категорийности станций. Категорийность станций наблюдений может корректироваться в зависимости от динамики уровней загрязнения морской среды, а также в связи с повышением новых объектов контроля.

3.4 Организация наблюдений

Наблюдения за загрязнениями и химическим составом вод проводится по сокращенной или полной программе в зависимости от категории станции.

Сокращенная программа. Сроки наблюдений – один раз в декаду (в середине каждой декады).

Состав наблюдений: нефтепродукты, растворенный кислород, рН и один-два загрязняющих ингредиента, характерные для района наблюдений. Одновременно проводятся визуальные наблюдения за состоянием загрязнения поверхности моря.

Горизонты отбора проб: при глубине до 3м проба отбирается с одного горизонта (поверхность); при глубине до 10м – с двух горизонтов (поверхность и у дна); при глубине до 25м – с трех горизонтов (поверхность, 10м, и у дна).

Полная программа. Сроки наблюдений – один раз в месяц (в середине месяца). В этом случае наблюдения по сокращенной программе во второй декаде не проводятся.

Состав наблюдений:

– загрязняющие вещества (нефтепродукты, хлорорганические пестициды, тяжелые металлы, фенолы, детергенты, а также загрязняющие ингредиенты, специфические для данного района).

– показатели среды (растворенный кислород; сероводород H_2S ; концентрация водородных ионов рН; нитритный азот NO_2 ; нитратный азот NO_3 ; аммонийный азот NH_4 ; общий азот, фосфор фосфатный, общий фосфор, кремний).

– элементы гидрометеорологического режима (соленость, температура воды и воздуха, скорость и направление течений и ветра, прозрачность, цвет).

Горизонты отбора проб такие же, как и при сокращенной программе.

При организации наблюдений за концентрацией загрязняющих веществ через речные системы в море необходимо учитывать следующие обстоятельства:

а) *независимость* формирования стока загрязняющих веществ от формирования речного стока, в связи с чем, наблюдения за их концентрациями должны быть систематическими в течение всего года;

б) *возможность* пространственно-временной разрывности полей загрязняющих веществ по длине рукава с уменьшением их концентрации до 1 ПДК и ниже, в связи с чем, систематические наблюдения должны проводиться достаточно часто.

При организации наблюдений за контролем загрязняющих веществ на замыкающем гидростворе устьевой области реки необходимо руководствоваться следующим: при ширине реки до 50м, проба воды отбирается на одной вертикали (на стрежне); при ширине 50-500м – на трех вертикалях, при ширине 500-1000м – на четырех вертикалях; при ширине >1000м – на пяти вертикалях.

Средняя концентрация загрязняющего вещества по живому сечению реки определяется как средняя взвешенная величина из концентраций на всех горизонтах и вертикалях.

Приток (или отток) загрязняющих веществ при водообмене через проливы рассчитывается аналогичным образом, при этом концентрацию загрязняющих веществ определяют в предпроливном районе.

При анализе годовой характеристики притока и оттока загрязняющих веществ указываются месяцы (сезоны, годы) с минимальным, максимальным притоком загрязняющих веществ и указываются причины этих явлений: увеличение (уменьшение) загрязнения смежной акватории, увеличение сброса загрязняющих веществ введение в строй новых очистных сооружений, аномальные гидрометеорологические условия, аварийные ситуации.

На станциях I категории наблюдения проводятся по сокращенной программе два раза в месяц (в первой и третьей декадах), по полной программе – один раз в месяц (во второй декаде).

На станциях II категории наблюдения проводятся по полной программе один раз в месяц (во второй декаде). В период ледостава наблюдения проводятся один раз в квартал.

На станциях III категории наблюдения проводятся по полной программе один раз в квартал.

Внеочередные наблюдения за опасными и особо опасными явлениями проводятся в трех случаях, когда:

1) *в результате* выполнения очередных наблюдений отмечено увеличение содержания какого-либо загрязняющего вещества в 10 и более ПДК, что относится к опасным (ОЯ) или особо опасным явлениям (ООЯ);

2) *получена* информация о катастрофических разливах загрязняющих веществ, или их залповых сбросах, о массовой гибели рыбы или других морских животных;

3) *по визуальным* наблюдениям выявлено покрытие не менее одной трети поверхности прибрежной части моря и береговой полосы нефтяной или масляной пленкой.

Цели внеочередных наблюдений заключаются:

- в установлении пространственного распространения высоких уровней загрязнения;
- в определении динамики и снижения высоких уровней загрязнения до фоновых в результате процессов самоочищения и перемешивания;
- в передаче штормовой информации в соответствии с инструкцией.

Если известны источник и канал поступления загрязняющих веществ, то наблюдения организуются на сетке станций, охватывающей весь район высокого загрязнения, если не были установлены при выполнении очередных наблюдений, то они должны быть установлены во время первой внеочередной съемки. После их установления определяется программа дальнейших наблюдений, которые схематически представляются следующим образом.

А) Состав наблюдений. В состав наблюдений входят загрязняющие вещества, вызывающие ОЯ (опасные явления) или ООЯ (особо опасные явления), соленость, кислород, рН и стандартный комплекс гидрометеохарактеристик. В случае загрязнения поверхности моря должны быть организованы в установленном порядке через УГМС (метеослужба) визуальные авианаблюдения. Одновременно проводятся наблюдения с берега или корабля.

Б) Размещение сетки станций наблюдений. После первой полной съемки сетка станций наблюдений должна быть сокращена до трех станций на каждом разрезе (одна у берега, вторая в зоне максимальных концентраций загрязняющего вещества, третья – за внешней границей зоны высокого загрязнения).

В) Частота наблюдений и отбора проб. Рекомендуется проводить наблюдения и отбирать пробы на сокращенной сетке станций через каждые пять суток до момента снижения концентраций загрязняющего вещества до значений, которые не подпадают под категории ОЯ или ООЯ. Если высокие уровни загрязнения сохраняются продолжительное время (больше одного месяца), то внеочередные наблюдения прекращаются.

Сведения об ОЯ и ООЯ помещаются в бюллетени, обзоры и справки о состоянии загрязнения моря (района) и используются для расчета концентрации загрязняющих веществ.

3.5 Рекогносцировочные обследования

Сетка станций наблюдений может изменяться в зависимости от динамики уровня загрязнения моря и при появлении новых источников загрязнения. Для выбора местоположения новых станций необходимо предварительно провести рекогносцировочные обследования.

Рекогносцировочные наблюдения начинаются с подробного изучения материалов по характеристике гидрологического режима водного объекта, источников загрязнения, условий, при которых имели место аварийные сбросы загрязняющих веществ. После детального ознакомления с имеющимся материалом проводятся рекогносцировочные обследования. В районе, подлежащем изучению, организуется съемка на станциях разрезов. Основной разрез начинается у источников загрязнения, направлен от источника в море и оканчивается за пределами самого района загрязнений. Параллельно основному разрезу слева и справа от него проводятся еще два разреза. Система разрезов образует сетку станций.

Наблюдения должны отражать состояние загрязнения вод при характерных для каждого района гидрометеоусловий (сгоне или нагоне, минимуме или максимуме стока, приливе или отливе). При равномерном режиме сброса сточных вод рекогносцировочные наблюдения необходимо проводить один-два раза в сезон.

Вопросы для самоконтроля:

1. Перечислите основные цели и задачи системы наблюдений за загрязнением морских вод.
2. Назовите основные требования к выбору районов и станций наблюдений.
3. В чем заключается принцип деления станций наблюдений по категориям?
4. Приведите различия между сокращенной и полной программой наблюдений.

ТЕМА 4: СИСТЕМА САПРОБНОСТИ ВОДОЕМОВ И ЕЕ ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ

План лекции:

- 1) Основные источники загрязнения водоемов;
- 2) Система сапробности водоемов;
- 3) Зоны сапробности;
- 4) Организмы-индикаторы загрязнения;
- 5) Дальнейшее развитие системы сапробности (работы В. Сладчека).

4.1 Основные источники загрязнения водоемов

Интенсивное развитие промышленности, сельского хозяйства, рост народонаселения служат причиной загрязнения водоемов, в них сбрасываются индустриальные, сельскохозяйственные и бытовые стоки.

Под загрязнением водоемов понимается ухудшение их экономического значения и биосферных функций в результате антропогенного поступления в них вредных веществ.

Наиболее подвержены загрязнению пресные воды, но весьма интенсивно происходит загрязнение морей и океанов. Например, в океан ежегодно попадает с атмосферными осадками, стоками и из воздуха тысячи тонн ДДТ. Этот ядовитый пестицид накапливается в гидробионтах и попадает в пищу человека. Ежегодно в океаны и моря сбрасывается более 2,5 млн.т нефти.

Необходимо назвать еще одну форму загрязнения – антропогенное эвтрофирование водоемов (eu-хорошо, trofe-пища, т.е. богатые пищей), в результате чего происходит нарушение режима внутренних водоемов – рек, озер, водохранилищ. Выражается оно в интенсивном развитии фитопланктона, главным образом сине-зеленых водорослей («цветение» воды), интенсивном зарастании прибрежных мелководий высшей водной растительностью, вследствие чего ухудшается качество воды (дефицит кислорода, неприятный вкус и запах и т.п.). Все эти изменения вызваны повышенным поступлением в водоемы, наряду с другими соединениями, основных биогенных веществ – азота и фосфора – из источников, связанных с деятельностью человека: это городские и промышленные стоки, стоки с сельскохозяйственных угодий. Например, со стоками с полей в водоемы может попадать до 20-40% внесенного с удобрениями азота и свыше 1,5 % фосфора.

В настоящее время воздействие человека на природу стало сравнимо со стихийными явлениями. Так, реки за десятилетия искусственно преобразуются больше, чем их меняют естественные процессы за десятки и даже сотни тысяч лет.

Загрязнение, эвтрофикация и термофикация водоемов, забор из них больших объемов воды и многие последствия гидростроительства отражаются не только на водопользовании, но и на биосферной роли водных экосистем.

Загрязняющие вещества принято делить на 3 основные группы: 1) органические нетоксичные; 2) минеральные и органические токсические (включая радиоактивные); 3) смешанные.

К органическим нетоксичным загрязнениям относятся фекальные стоки, отходы лесосправа, целлюлозные волокна в сбросах бумажных комбинатов и другое. Они могут вызывать гибель гидробионтов через ухудшение кислородного режима, образование сероводорода, или вследствие механического воздействия. Например: волокна целлюлозы, присутствующие в стоках целлюлозно-бумажных фабрик, осложняют питание фильтраторов, засоряя их отцеживающие аппараты. Опускаясь на дно, волокна целлюлозы и другие твердые компоненты загрязнений, погребая под собой население дна, порой, исключая развитие бентоса. Сильное подавление его вследствие механических помех, наблюдается в реках, по которым проходит сплав больших количеств леса.

Из минеральных веществ, сбрасываемых в воду, особенно ядовиты для гидробионтов цианиды, соединения мышьяка, свинца и меди. Например, As_2O_3 смертелен для рыб в концентрации 10-20 мг/л, а для планктонных рачков, в частности *Daphnia* и *Cyclops*, в количествах 0,25-2,5 мг/л. Соединения свинца губительны для планктонных ракообразных в концентрации свыше 0,5 мг/л, для рыб их ток-

сическая доза несколько выше и обычно составляет 10-150 мг/л. Столь же ядовиты для гидробионтов соединения меди, в частности медный купорос, вызывающий гибель водорослей, планктонных ракообразных и бентосных животных в дозах от 1 до 100 мг/л.

Менее вредны для гидробионтов различные неорганические кислоты и щелочи, смертельные концентрации которых обычно выражаются в граммах на 1 литр.

Из *токсических органических* загрязнений, сбрасываемых в водоемы, наиболее вредны для гидробионтов синтетические моющие средства, фенол, креозот и нафтеновые кислоты, смертельные дозы которых обычно составляют 10-100 мг/л. Особенно опасны феноловые кислоты.

Во многих странах наблюдается тенденция к увеличению использования гербицидов, по сравнению с другими группами пестицидов.

При обработке пестицидами лесных и сельскохозяйственных угодий с помощью авиации от 25 до 75% этих препаратов разносится ветром на огромные расстояния, в сотни и тысячи километров. Среди применяемых пестицидов преобладают чрезвычайно стойкие хлорорганические соединения (ДДТ, ГХЦГ и др.), аккумулирующиеся в тканях организмов. Весьма вредны для гидробионтов синтетические моющие средства – детергенты. Они подобно пестицидам отличаются большой биохимической стойкостью.

Чрезвычайную опасность, прежде всего для человека, представляет поступление в водоемы радионуклидов вместе с отходами атомных судов, электростанций, некоторых производств.

Наконец, одной из своеобразных форм загрязнения водоемов является термальное загрязнение в результате сброса в водоемы нагретых вод, прошедших через системы водяного охлаждения тепловых и атомных электростанций и промышленных предприятий. В США для этих целей используется 4 млн. м³ пресной и морской воды в минуту. Обычно температура этих вод на 5-13⁰С выше, чем природных, что приводит к существенному изменению термического режима водоема, уменьшению их насыщенности кислородом, смешению гидрологических сезонов.

4.2 Система сапробности водоемов

Способность организмов обитать в загрязненных органическими веществами водах называется сапробностью, а сами организмы, обитающие в загрязненных водах, обозначаются как сапробные организмы.

Оценка степени загрязнения водоемов основывалась на учете количества присутствующего в воде органического вещества в его разных формах. В соответствии с этим, ботаником Р. Кольквитцем и зоологом М. Марсоном была создана система биологического анализа качества вод. Система сапробности касается таких вод, в которых присутствующие органические вещества влияют на качество воды и, прежде всего, на кислородный режим. Это значит, что система сапробности не является универсальной, и что она отражает только часть вариантов, встречающихся в природных и сточных водах.

Некоторые гидробиологи понимали важность этой проблемы и стремились ее решить. Профессор В. И. Жадин предложил «строить шкалу сапротоксических организмов», в которой должна учитываться не только загрязненность органическими, но и токсическими веществами. Н. С. Строганов после критики различных процессов водной токсикологии предложил термин «биогидрохимическая область» касающийся не только природных особенностей водоемов без участия человека, но и загрязнений, поступающих прежде всего от промышленных предприятий. Систему сапробности надо включить в общую схему качества воды.

4.3 Зоны сапробности

Р. Кольквитц и М. Марсон для оценки степени загрязнения водоемов органическими веществами – сапробности (Sapros-разложение) установили 4 зоны загрязнения: поли-α-мезо-; β-мезо и олигосапробную. Большой вклад в дальнейшее развитие и обоснование системы сапробности внесли ученые Г. И. Долгов, Я. Я. Никитинский, А. С. Разумов, Н. С. Строганов и ряд других. Особенно зна-

чителен их вклад в познание и ревизию индикаторных организмов в поверхностных и сточных водах, и главным образом, в очистительных сооружениях.

Полисапробная зона. Характеризуется обилием сложных биохимических соединений. Свободный кислород почти отсутствует, и поэтому биохимические процессы носят восстановительный характер. Полисапробные водоемы характеризуются наличием в воде неразложившихся белков, присутствием значительных количеств сероводорода и углекислого газа, метана, аммиака. Основу населения составляют сапрофитные бактерии, численность которых достигает многих сотен миллионов клеток в 1мл воды.

Многочисленны бесцветные жгутиковые и грибы. Из более высоко организованных форм здесь встречаются олигохеты *Tubifex tubifex* и личинки мухи *Eristalis tenax*. Число видов, обитающих в полисапробной зоне, невелико, но развиваются они в огромных количествах.

В мезосапробных зонах загрязнение выражено слабее: неразложившихся белков нет, сероводорода и углекислого газа немного, кислород присутствует в заметных количествах.

α -мезосапробная зона. По характеру биохимических процессов близка к полисапробной. В результате распада органических соединений в воде в больших количествах содержится аммиак, аминокислоты и амидокислоты.

Основную группу качественно бедного населения составляют сапрофитные бактерии, количество которых достигает многих десятков миллионов клеток в 1мл воды. Большое распространение имеют бесцветные жгутиковые, грибы, инфузории. В этой зоне встречаются коловратки, некоторые представители зеленых и сине-зеленых водорослей. В донных осадках в больших количествах обитают олигохеты из семейства *Tubificidae* и личинки комара *Chironomus plumosus*.

β -мезосапробная зона. Она отличается от предыдущей преобладанием окислительных процессов над восстановительными. Благодаря интенсивному фотосинтезу многочисленных растений летом воды бывают перенасыщены кислородом. Преобладают такие продукты минерализации органических веществ, как аммонийные соединения, нитриты и нитраты. Содержание органических веществ ничтожно. Население отличается большим видовым разнообразием. Численность сапрофитных бактерий составляет лишь 20-30 млн. клеток в 1 мл воды. В водах этой зоны многочисленны коловратки, низшие ракообразные, насекомые, моллюски и рыбы.

Олигосапробная зона. В олигосапробной зоне сероводород отсутствует, углекислого газа мало, количество кислорода близко к величине нормального насыщения, растворенных органических веществ практически нет. Эта зона полностью свободна от загрязнений и обычно перенасыщена кислородом. Население наиболее разнообразно в видовом отношении, но количественно значительно беднее, чем в предыдущих зонах. Иногда выделяют еще катаробные воды, в которых количество растворенного кислорода выше нормального, свободной углекислоты и сероводорода нет совсем.

4.4 Организмы-индикаторы загрязнения

Как было показано выше, каждая зона сапробности характеризуется определенными физико-химическими чертами, поэтому каждой зоне свойственны специфические группы организмов. Одни виды развиваются только в загрязненных, полисапробных водах, другие могут существовать лишь в чистых, богатых кислородом бассейнах. Различное отношение гидробионтов к степени загрязнения водоема обуславливается двумя основными причинами: потребностью организма в органических веществах как в пище; степенью выносливости организмов, способностью их существовать в загрязненных водах. Организмы характерные для зон различной сапробности, получили название показателей или индикаторов сапробности. Первые списки организмов-индикаторов были составлены Кольвитцем и Марсоном. К настоящему времени число таких растений и животных превышает 2500 видов. Индикаторная роль гидробионтов характеризуется не только фактом нахождения или отсутствия их в водоеме, но и степенью количественного развития, вследствие чего характеристика сапробности вод должна даваться с учетом не только видового состава организмов, но также их численности и биомассы. Система оценки загрязнения водоемов по степени сапробности в настоящее время становится явно недостаточной, поскольку она не учитывает присутствия в воде токсических веществ. В связи с этим целесообразно принятие и экспериментальное обоснование трех шкал оценки загрязне-

ния водоемов: по степени сапробности, токсобности и сапротоксобности. Под токсобностью принимается свойство организмов существовать в водах, содержащих то или иное количество токсических веществ минеральной или органической природы и способность использовать часть этих веществ себе в пищу или сорбировать их на поверхности (внутри) своего тела. Водоемы, или их зоны, загрязненные в такой степени, что существование гидробионтов исключается полностью, обозначаются как гиперттоксобные.

Надежными показателями полисапробных зон являются многие бактерии (*Sphaeroticus natans*, *Triolysococcus guses* и др.) и грибы. Сообщества нитчатых бактерий, грибов и простейших, развивающихся при сильном органическом загрязнении, образуют слизистые обрастания. Некоторые исследователи называют такие биоценозы «грибом» сточных вод.

К индикаторам α -мезосапробных вод относятся некоторые виды синезеленых водорослей (*Oscillatoria*), простейшие (*Cladomonas fruticulosa*, *Podophrya*) коловратки (*Brachionus plicatilis*, *Philodina*), личинки двукрылых (*Chironomus plumosus*, *Culex pipiens* *Eristalis tenax*).

В β -мезосапробной зоне индикаторами являются простейшие (*Tintinidium flaviatile*), коловратки (*Keratella cochlearis*), личинки двукрылых (*Endochironomus*, *Polipedium*), а из растений – ряска малая и тредольная, роголистник темно-зеленый.

В числе индикаторов олигосапробных вод можно назвать наиболее характерных из водорослей *Melosira italica*, *Draparnaldia glomerata*, коловратки *Notholea longispina*, ветвистоусые рачки *Daphnia longispina*, личинки паденок и веснянок, моллюск *Dreissena polymorpha*, стерлядь, голянь и форель.

По отношению к степени загрязнения вод органическими веществами у организмов наблюдается значительная экологическая пластичность. Поэтому гидробионты, как индикаторы используются лишь при массовом развитии их в водоеме.

Организмы-показатели токсобного и сапротоксобного загрязнения почти не изучены. Пока известны лишь немногие виды, способные выдерживать высокие концентрации токсических веществ. Например, личинки некоторых двукрылых способны развиваться при концентрации хрома до 25 мг/л, меди – до 2,2 мг/л, цианидов – до 3,2 мг/л.

4.5 Дальнейшее развитие системы сапробности (работы В. Сладечека)

Система Кольквитца–Марссона была разработана применительно к условиям загрязнения вод средней Европы в начале века. В настоящее время характер и степень загрязнения водоемов изменились, в основном за счет интенсификации антропогенного воздействия. Это явилось причиной расширения "классической" классификации в двух основных направлениях:

- появление новых зон "чище" олигосапробной и "грязнее" полисапробной;
- выделение дополнительных зон на принципиально новой классификационной основе.

Дальнейшее развитие учения получило расширение количества градаций сапробности в области чистых и сточных вод. Это направление отмечено в работах Томаса Шрамек-Хушека, Зелинки, Сладечека и других.

Наиболее широкая ревизия "классической" системы была выполнена В. Сладечком. Владимир Сладечек из Химико-технологического института в Праге предложил универсальную общую биологическую схему качества воды.

Все типы вод можно представить в виде круга, который делится на квадранты. Левая половина круга представляет сточные воды, правая – несточные воды. Нижняя половина – природные и сточные воды, которые: соответствуют понятию сапробности, верхняя половина – воды, для которых нельзя применить понятие сапробности, это воды асапробные.

Большие буквы обозначают главные группы качества воды; маленькие буквы – степень сапробности. Стрелка показывает направление биологической очистки и самоочищения.

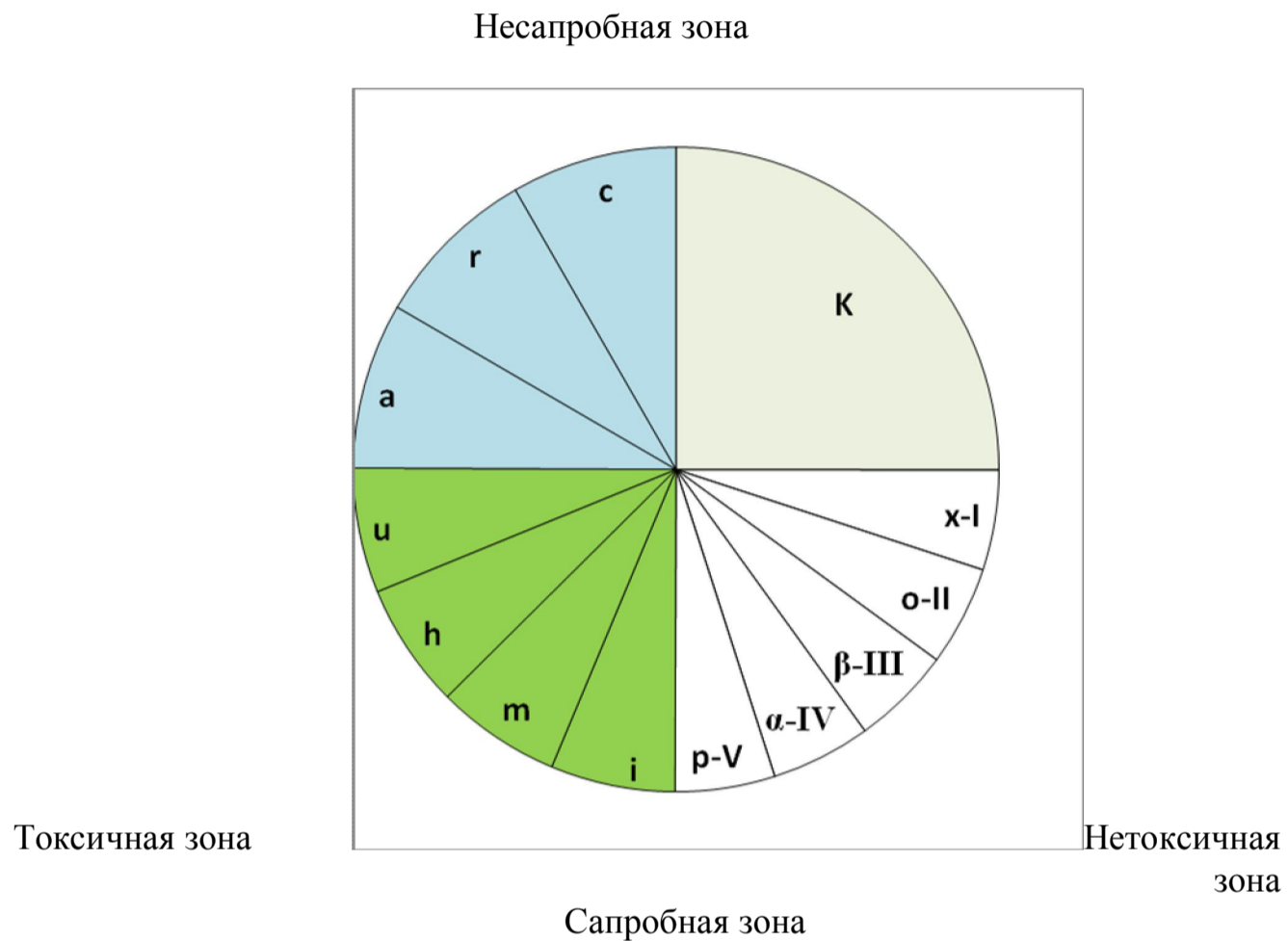
1. Катаробность (К): наиболее чистые грунтовые воды, минеральные воды или вода, которая была искусственно подготовлена в качестве питьевой воды.

2. **Лимносапробность (L):** более или менее загрязненные поверхностные или грунтовые воды. Сюда включена почти целая система сапробности в основном понятии Колквигца и Марсона после некоторых изменений. В настоящее время мы можем различить пять степеней сапробности: χ -ксеносапробность, o -олигосапробность, β -мезосапробность, α -мезосапробность и p -полисапробность.

3. **Эвсапробность (E):** сточные воды, содержащие органические вещества, которые подвергаются биохимическим процессам разложения. Среди них можно различить четыре степени: i -изосапробность (развитие инфузорий, преобладание цилиат над флагеллятами), m -метасапробность (развитие бесцветных жгутиконосцев, преобладание флагеллят над цилиатами), h -гиперсапробность (отсутствие простейших при развитии бактерий и грибов), u -ультрасапробность (абиотическая степень – наиболее концентрированные сточные жидкости).

4. **Транссапробность (T):** сточные или поверхностные воды, которые не подчиняются понятию сапробности и не подвергаются биохимическому разложению. Здесь присутствуют принципиально три степени качества воды: a -антисапробность с токсическими веществами; r -радиосапробность с радиоактивными веществами и c -криптосапробность, где влияют физические факторы, например высокая или низкая температура, присутствие некоторых минеральных суспензий и т.д.

Общая биологическая схема качества воды.



Катаробная категория

k – катаробность

Лимносапробная категория

χ – ксеносапробность

o – олигосапробность

β -мезосапробность

α-мезосапробность
Эвсапробная категория
 i - изосапробность
 m - метасапробность
 h - гиперсапробность
 u - ультрасапробность
Транссапробная категория
 a - антисапробность
 r - радиосапробность
 c - криптосапробность

В кругу находится стрелка, показывающая направление биологической очистки и самоочистки. Нельзя предполагать, что каждая сточная вода должна проходить последовательно по всем степеням, которые мы различаем. Очистительные сооружения значительно сокращают этот процесс, который заканчивается достижением примерно α-мезосапробной степени. Обратное направление стрелки указывает на повышение загрязнения и количества органических веществ.

Отдельные степени сапробности характеризуются биологически – присутствием или отсутствием организмов, во многих случаях биоиндикаторов. Зная условия жизни биоценозов, мы можем судить об общих свойствах биотопа. Очень трудной работой является определение связи биологических, бактериологических и химических результатов анализов.

В приведенной схеме находятся четыре степени, которые являются или могут быть абиотическими. Это – катаробность, ультрасапробность, антисапробность и криптосапробность. В каждом из этих случаев можно найти причину, вызывающую отсутствие организмов.

Система сапробных организмов Кольквитца и Марсона включена в группу «Лимносапробность». Качество воды расчлняется дальше на 13 степеней, охарактеризованных биологическим путем и поставленных в связь также с бактериологическими и химическими свойствами воды.

Для статистической значимости результатов необходимо, чтобы в пробе содержалось не менее 12 видов индикаторных организмов одной зоны сапробности. Вместо частоты встречаемости h можно использовать абсолютную численность, однако перевод абсолютной численности в частоту встречаемости h обусловлен трудоемкостью вычислений.

Заключение о степени загрязненности воды дают обычно по системе баллов от одного до шести с точностью до одной сотой. В ультрасапробной зоне индекс сапробности равен 7,51-8,5, в гиперсапробной - 6,51-7,5, в метасапробной - 5,51-6,5, в изосапробной - 4,51-5,5, в полисапробной зоне индекс сапробности равен 4,00-3,51, в α-мезосапробной зоне 3,50—2,51, в β-мезосапробной зоне 2,50-1,51 и в олигосапробной зоне 1,50—0,51, ксеносапробной – 0-0,50.

Относительная частота встречаемости (h) оценивается следующим образом (по В. Сладечку):

Соотношение значений относительного обилия и частоты встречаемости организмов	
Встречаемость	Количество экземпляров одного вида, % от общего количества
Очень редко	<1
Редко	2-3
Нередко	4-10
Часто	11-20
Очень часто	21-40
Масса	41-100

Вопросы для самоконтроля:

1. Основные группы загрязняющих веществ. Назовите компоненты органических, минеральных и смешанных загрязнений.
2. Система биологического анализа качества воды (система сапробности).
3. Приведите характеристику зон сапробности по Р. Кольквитцу и М. Марсону.
4. Какие организмы являются индикаторами полисапробной, альфа-, бетамезосапробных зон?
5. Сущность системы определения качества воды по В. Сладечку.

Литература: [2; 4; 13; 14]

ТЕМА 5: САМООЧИЩЕНИЕ ВОДОЕМОВ. РОЛЬ ГИДРОБИОНТОВ В ПРОЦЕССАХ САМООЧИЩЕНИЯ

План лекции:

- 1) *Проблема загрязнения водоемов;*
- 2) *Минерализационная работа гидробионтов;*
- 3) *Очищение воды от нефти и нефтепродуктов;*
- 4) *Самоочищение сточных вод;*
- 5) *Биологические факторы самоочищения от патогенных микроорганизмов;*
- 6) *Минеральные вещества в сточных водах;*
- 7) *Накопление радионуклидов компонентами водных экосистем как фактор самоочищения водохранилищ;*
- 8) *Самоочищение воды от растворенных синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ).*

5.1 Проблема загрязнения водоемов

Развитие промышленности, широкое внедрение в быт продуктов химического производства, рост городов, быстрое загрязнение естественных водоемов – все это поставило ряд стран перед необходимостью серьезно заниматься проблемой чистой воды. По подсчетам американских ученых, в 2000 г. запасов пресных вод населению США хватит только лишь на 30 минут. За это время воду практически невозможно очистить. Возникает проблема в поиске путей борьбы с загрязнениями и познании механизмов самоочищения.

Большое внимание изучению вопросов самоочищения уделялось еще в 30-е годы XX столетия. Под руководством профессора А. Н. Сысина и С. Н. Строганова с 1937 по 1939 гг. были проведены три Всесоюзные конференции, посвященные загрязнению и самоочищению водоемов. Итогом конференций была известная книга профессора С. Н. Строганова «Загрязнение и самоочищение водоемов» (1939). В предисловии профессора А. Н. Сысин писал «Руководить процессами самоочищения, содействовать им, использовать их и вместе с тем сохранять и развивать эти природные качества водоемов – вот те конечные задачи, которые стоят перед нами».

Проблема загрязнения водоемов – одна из главнейших технических, эколого-биологических и социальных проблем современности. Первыми по значению в охране водоемов от загрязнений стоят мероприятия по ограничению и предупреждению поступления в водную среду сточных вод – основного источника химических и биологических загрязнений.

Вместе с тем одним из перспективных направлений в решении проблемы чистой воды является изучение естественных факторов самоочищения с целью возможной направленной стимуляции их действия.

5.2 Минерализационная работа гидробионтов

Попав в воду, загрязнители постепенно исчезают из нее в результате разрушения, накопления в организмах, сноса и захоронения в донных отложениях.

Например, Днепр у Смоленска сильно загрязнен бытовыми стоками, а в 55 км ниже города вода реки уже отвечает требованиям ГОСТа, р. Свислочь самоочищается в 70 км ниже Минска.

Работами многих исследователей доказано, что чистая вода формируется под влиянием гидробионтов, и лишь небольшая часть загрязнителей исчезает без участия водных организмов.

Гидробионты прodelьвают огромную минерализационную работу, переводя в процессе дыхания органические соединения в минеральные, изымают из воды, накапливая в своем теле, огромные количества вредных веществ, в частности радионуклидов, и способствуют осаждению (транзиту) вредных взвесей на дно. Чем больше консументов и редуцентов имеется в водоеме и чем энергичнее в них протекают обменные процессы, тем больше органического вещества подвергается биологическому окислению, и, следовательно, энергичнее идет процесс очищения водоемов.

Поскольку в зонах сильного загрязнения наблюдается дефицит кислорода, биологическая минерализация органических веществ здесь усиливается в случае присутствия фотосинтезирующих растений.

Самоочищение водоемов с менее полной минерализацией органических соединений и отмиранием аллохтонной микрофлоры осуществляется в основном адаптированными комплексами планктонных (преимущественно одноклеточных) организмов – микрофлорой, простейшими и др. Интенсивно разрушая органические вещества, бактерии преобразуют их в вещество своего тела. В то же время ограниченному их размножению препятствуют представители простейших. Поедая бактерии, они концентрируют органическое вещество и в свою очередь становятся жертвами живых организмов, обитающих в водоеме и определяют сущность самоочищения от разных загрязнителей.

Насколько энергично происходит очистительная деятельность гидробионтов, показывают исследования С. И. Кузнецова. По его данным, весь цикл преобразования азота в озере летом из веществ минерализации до преобразования снова в живое вещество заканчивается на протяжении двух суток.

Чем выше газообмен гидробионтов, тем ценнее они как минерализаторы. Объем очистительной работы, выполняемой ими, усиливается вследствие использования ими органических веществ на рост. Например, грибок *Leptomitus lacteum* извлекает из воды на площади 1 км² за 18 дней около 120 т органического вещества, из которых минерализует около 80 т, а 40 т использует на рост.

На полях орошения число личинок *Chironomus plumosus* может достигать 90 тыс. экз. на 1 м² и тогда количество изымаемого ими органического вещества достигает примерно 250 г/м², из которых около 100 г используется на построение тела личинок и около 150 г минерализуется.

Работа гидробионтов-минерализаторов проходит особенно эффективно в случае достаточной аэрации и перемешивания воды, когда лучше обеспечивается принос организмам пищи и кислорода, а также эффективнее происходит удаление вредных продуктов собственного обмена веществ.

В силу этого энергичнее всего протекает минерализация органического вещества в реках и больших озерах, подверженных сильному перемешиванию, и слабее – в небольших стоячих водоемах со слабым перемешиванием вод.

Степень очистки вод от органических загрязнений хорошо характеризуется уменьшением количества кислорода, потребленного для окисления всех находящихся в ней органических веществ.

Часто о снижении степени загрязнения судят по изменению величины биохимического потребления кислорода, именуемой БПК. Помимо полного БПК, различают суточное, трехсуточное и пятисуточное, обозначаемые как БПК, БПК₃ и БПК₅, которые отражают биохимическое потребление кислорода за то или иное число суток.

По тому, сколько кислорода потребляет вода на биохимическое окисления находящихся в ней органических веществ, можно судить о степени загрязнения водоема. В слабозагрязненных водоемах БПК обычно составляет 0,5-1,0 мг/л О₂, в то время как возле мест сброса промышленных и бытовых стоков может подниматься до 40 мг/л О₂ и более.

По данным профессора О. Г. Миронова (1975) самоочищение водной среды имеет много общего для пресных и морских водоемов. Прежде чем говорить о самоочищении, необходимо уточнить само по-

нятие этого явления, т.к. в настоящее время в него вкладывают разное содержание. Изучение загрязнения и самоочищения водоемов начато биологами в связи с повышением загрязнения водной среды и прямой угрозы для здоровья человека. Почти одновременно с биологами начали исследования медики. Затем на эту проблему обратили внимание разные специалисты: физики, химики, географы и др. Это привело к трактовке процессов загрязнения и самоочищения с ведомственных позиций.

Энциклопедия термин «самоочищение» объясняет как «постоянно наблюдаемое в водоемах уменьшение концентрации загрязнения, иногда до полной его ликвидации» Однако такое объяснение понятия не совсем точно передает суть, потому что уменьшение загрязнения может осуществляться за счет разбавления, оседания на дно и т.д. Материалы Римской конференции, посвященные морским загрязнениям, подчеркивают, что «ставка на физическое разбавление загрязнений большой массой в океане недопустима с биологической, токсикологической и медицинской точек зрения».

Наиболее правильно рассматривать самоочищение как часть общеприродного процесса круговорота веществ и передачи энергии в водную среду. Этот процесс, созданный самой природой, существовал до появления антропогенного фактора, и задача биологов состоит в том, чтобы использовать его для разработки систем защиты водной среды.

Поскольку в самоочищении принимают участие биологические, химические и физические факторы, важную роль играет исследование каждого из этих факторов отдельно и их взаимосвязь. Проведение таких работ позволяет сделать вклад в изучение процесса трансформации вещества и энергии в водной среде и как составная часть этого процесса, самоочищение дает важные практические результаты.

Санитарная гидробиология призвана решать биологические аспекты проблемы чистой воды. Отходы, которые образуются в результате деятельности человека в конечном итоге попадают в море. Получается это как следствие сброса сточных вод, приносимых реками. Это привело к катастрофическому загрязнению отдельных районов моря и площади их расширяются. Мощные течения зон конвергенции и дивергенции, миграции морских организмов приводят к переносу загрязнений на большие расстояния и глубины.

Говорить о естественном самоочищении можно лишь в том случае, если тот или иной вид загрязнения разлагается до простых соединений и тем самым вливается постепенно в общий круговорот веществ и поток энергии в океане.

Через ограниченность наших знаний работы в данном направлении связаны с большими трудностями.

Из биологических, химических и физиологических факторов основная роль в самоочищении принадлежит биологическому фактору. Академик В. И. Вернадский считал, что «не существует химической силы, которая действует постоянно, а поэтому и более могущественной за своими конечными результатами, чем живые организмы. Микроорганизмы являются основными редуцентами отложений, поступающих в море. Во многих морских акваториях интенсивность загрязнения значительно превышает и самоочистные возможности».

5.3 Очищение воды от нефти и нефтепродуктов

Одним из основных токсикантов является нефть и нефтепродукты. Возможность Мирового океана превращать углеводород в углекислоту и воду относится, вероятно, ко времени возникновения жизни на планете. В состав тела организмов входят разные формы углеводорода, многие из них идентичные углеводородам нефти. При разложении гидробионтов после их смерти осуществляется разрушение углеводорода. Минерализации подлежит также и нефть, которая попала в море. Таким образом, в морской среде в процессе эволюции задолго до появления человека, сложился механизм естественного самоочищения и как отдельный случай его трансформация углеводорода.

Основную роль в разложении нефти и нефтепродуктов играют микроорганизмы, которые окисляют углеводород. Бактерии этой группы широко распространены в природе. Они выделяются с поверхностных и глубинных слоев тропических, умеренных и полярных широт разных морей и океанов.

Численность нефтеокислительных микроорганизмов в море низкая. Это является свидетельством о небольших потенциальных возможностях. Для нормальной «работы» бактерий необходимо

наличие биогенных соединений, в частности азота, фосфора, кислорода и некоторых микроэлементов. Значительную роль играет агрегатное состояние нефтяного загрязнения, которое повышает поверхность контакта ее с микроорганизмами. Нефтяные остатки, находящиеся в море, покрываются пленкой, которая полностью изолирует нефть от дальнейшего влияния микроорганизмов. Затем, на бактериальной пленке начинают развиваться инфузории и другие организмы.

Подобные конгломераты способны длительное время существовать в океане и переноситься течением на тысячи миль.

Рядом с микроорганизмами в самоочищении участвуют другие гидробионты, простейшие, фильтраторы, водоросли и т.д. Роль их пока оценить трудно. К примеру, известна большая стойкость к нефтяному загрязнению мидий и их возможность связывать в плотные остатки эмульгированную нефть.

Изучение роли гидробионтов в самоочищении открывает широкие перспективы для целевого их использования в борьбе со стоками, в частности нефтью и нефтепродуктами.

Для этого необходимы дальнейшие разработки в этом направлении. Например, поиски в разных районах Мирового океана нефтеокислительных организмов, выделение наиболее активных штаммов и изучение их свойств, проведение комплекса исследований с целью построения различных систем биологической очистки.

На основе исследований разрабатываются планы научно-промышленного испытания разных вариантов гидробиологического метода. Дальнейшая реализация планов может идти в двух направлениях:

1) Использование систем биологической очистки, обеспечивающей максимальное уменьшение попадания нефти в море.

2) Борьба с нефтью, которая попала в море и разработка мероприятий в отношении оздоровления акваторий. Создание биологических барьеров, ограничивающих морские подводные хозяйства.

В ближайшее время основные усилия необходимо сосредоточить на первом направлении. Это позволит быстро внедрить разные варианты биологического метода.

Основным источником загрязнения океана является танкерный флот, который сбрасывает в море много млн. т нефти. Танкер грузоподъемностью 100 тыс. т содержит в балластной воде около 1 тыс. т нефтепродуктов, которые обычно сбрасываются в море. В настоящее время порты оснащаются специальными очистными сооружениями, куда танкер сдает балластную воду. Однако, остаточное количество нефтепродуктов в балластной воде достаточно высоко и составляет десятки тысяч мг/л, что в сотни и тысячи раз больше допустимых концентраций.

Более тщательная очистка очень дорога. Это делает целесообразным использование биологического метода для очистки балластных вод, и особенно нефтеокислительных микроорганизмов.

Создание микробиологической промышленности открывает широкие перспективы в этом направлении. Правильно подбирая организмы других трофических уровней, можно достичь полной очистки. Это позволит значительно сократить загрязнение морской среды такими высокотоксичными соединениями как нефть и нефтепродукты.

По данным О. Г. Миронова и А. А. Лыбидь (1975) наблюдения в природе и лабораторные эксперименты показали, что наиболее интенсивное разрушение нефти микроорганизмами в воде осуществляется при температуре выше 20°C. В связи с этим значительный интерес представляют данные о нефтеокислительных микроорганизмах в морях с низкой температурой воды. Распределение нефтеокислительных организмов в поверхностном горизонте разных районов неравномерное. Следует отметить, что, невзирая на зимний период и наличие льда в Балтике, количество нефтеокислительных организмов в районах загрязнения в портах доходило до 100 тыс. кл/мл. Сравнение полученных данных с материалами по Черному и другим южным морям свидетельствуют о зависимости численности бактерий от интенсивности нефтяного загрязнения.

Рост микроорганизмов на каждом виде нефтепродуктов разный, больше всего культур растет на мазуте. Такой характер роста микроорганизмов свидетельствует о преобладании в углеводном загрязнении морской воды компонентов сырой нефти.

В акваториях, которые постоянно загрязняются нефтью, наблюдается высокая численность и видовое разнообразие нефтеокислительных бактерий. Это противоречие можно объяснить тем, что

нефть слагается из многих тысяч групп углеводорода. Отдельные виды бактерий обычно могут окислять только определенную группу углеводородов или даже какую-либо одну.

5.4 Самоочищение сточных вод

О. Н. Трунова считает, что первыми по значению в охране водоемов от загрязнения стоят мероприятия по ограничению и последующему предупреждению поступления в водную среду сточных вод – основного источника химических и биологических загрязнений. Одним из перспективных направлений в решении проблемы чистой воды является изучение естественных факторов самоочищения с целью возможной стимуляции их действия.

Невзирая на большое число законодательных положений об охране водных ресурсов во всех странах мира и широкое внедрение в практику предупредительных мероприятий по борьбе с кишечными инфекциями, вода и водоисточники во многих случаях не только продолжают оставаться потенциальной угрозой для здоровья населения, но и часто являются активным фактором переноса инфекции.

Значительное усиление загрязнения воды и почвы патогенными микроорганизмами и вирусами наблюдается последние два десятилетия. Это объясняется не только улучшением и совершенствованием методов индикации патогенных микроорганизмов в объектах окружающей среды, но и повышением уровня сброса в водоемы сточных вод, которые содержат большое количество патогенных микроорганизмов.

Вода открытых водоемов, загрязненных сточными водами содержит сальмонеллы и шигеллы. В неочищенных сточных водах содержатся не только патогенные микроорганизмы, но также вирусы клеточной группы, а из очищенных стоков даже при высокой эффективности очистки от клеточной палочки (около 90%), выделяются патогенные энтеробактерии.

Опасными в эпидемиологическом отношении становятся и моря. Данные по исследованию морских аэрозолей в некоторых точках северной части Средиземного моря и Атлантического океана показали, что многочисленные микроорганизмы переносятся морскими аэрозолями и, таким образом, могут стать причиной инфекционных заболеваний. Заражение микроорганизмами возможно как при непосредственном контакте из загрязненной морской воды, так и при употреблении в пищу инфицированных морских продуктов.

Эпидемиологическая опасность усиливается тем, что патогенные микроорганизмы могут длительное время сохранять жизнеспособность в морской воде. Так, туберкулезная палочка может жить в морской воде до 1 года и 7 месяцев. Фекальный стрептококк живет 41-49 дней, а сальмонеллы и дрожжеподобные грибы – до 2-х месяцев.

Выживание аллохтонных микроорганизмов в воде безусловно зависит от их концентрации. Скорость отмирания аллохтонной микрофлоры в морской воде зависит не только от наличия в ней биологических факторов самоочищения, но и в значительной мере от гидромеханического режима акватории (перемешивание, разбавление, скорость глубинных течений, приливов и т.п.).

Факторы, способствующие длительному выживанию патогенных микробов в водной среде, очень разнообразны. На первом месте следует учитывать условия образования и длительность сохранения во внешней среде спорных форм микробов. Время сохранения жизнедеятельности спор в почве (а также и опасность их попадания в воду) исчисляются десятками лет.

Известно о длительном сохранении в рыбе и раках холерных вибрионов. Морские моллюски и ракообразные могут быть годами заражены разными видами патогенных бактерий (сальмонеллы, шигеллы, стафилококки) вследствие сброса в море хозяйственно-бытовых сточных вод.

Шведские ученые установили, что устрицы в морской воде, где находился вирус полиомиелита, инфицировались и могли быть переносчиками вируса. Если учесть, что некоторые моллюски употребляют в пищу в сыром виде, то наличие у них энтеровирусов может приобрести в соответствующих условиях характер эпидемической опасности.

5.5 Биологические факторы самоочищения от патогенных микроорганизмов

Эти факторы можно разделить на 3 группы:

- 1) антибиотические – вещества фитопланктона, зоогидробионтов, микробов-антагонистов;
- 2) паразитические – лизирующее действие бактериофагов;
- 3) бактериотрофические – бактериотрофическая активность Protozoa Metazoa

В естественных условиях водной среды живая масса бактериофитопланктона находится в сложных условиях биологических взаимоотношений, разнообразность и глубина которых изучены недостаточно.

Количественные взаимоотношения микроорганизмов и водорослей в водоемах могут быть разными. Поэтому на современном этапе исследований больше обращают внимания на последствия, которые обуславливают разные типы взаимоотношений.

Некоторые авторы считают, что чаще всего большому количеству водорослей отвечает и максимум микробного населения. Причиной этого являются питательные вещества, которые накапливаются в связи с посмертным аутолизом клеток водорослей и используются бактериями

В то же время иногда наблюдается явление, когда максимальному развитию фитопланктона соответствует небольшое количество бактерий. Причины гибели микрофлоры в культурах водорослей выяснены недостаточно. Некоторые исследователи считают, что отмирание микрофлоры происходит в связи с резким изменением реакции среды (в сторону оснований), вызванным развитием водорослей.

По мнению М. М. Гасилиной (1963) взаимоотношения между бактериями и водорослями в водоемах слагаются следующим образом: отмирание водорослей приводит к массовому развитию бактерий, живые водоросли являются антагонистами, так как выделяют вещество типа антибиотиков и фитоницидов. В период массового развития водорослей в результате ассимиляции углекислоты протофитами рН водной среды может достигать 10,5-11,0 и более. Такое резкое изменение рН приводит к быстрому отмиранию патогенных бактерий. Большинство исследователей считает, что гибель патогенной микрофлоры обусловлена веществами, которые выделяют водоросли в окружающую среду. Эти веществ, по их мнению, обладают антибиотической активностью.

Имеются факты (Гуревич, 1965) о выделении в водную среду антибиотических веществ представителями высшей водной растительности и фитобентоса.

Микробы-антагонисты патогенной микрофлоры выделяются из самых разных водоисточников. Чаще всего микробы со свойствами антагонистов находятся в иле рек, озер, водохранилищ с большим содержанием органических веществ. Доказано, что в дистиллированной кипяченой и чистой колодезной воде бактерии группы Enterobacteriaceae выживают от 100 дней до 1,5 года, а в стерильной даже несколько лет.

Патогенные бактерии в смеси с сапрофитами, которые находятся в воде, гибнут быстро. Установлено, что в речной воде регулярно присутствуют споровые палочки *Bac. Mesentericus*, *Bac. Mucoides*, которые являются антагонистами возбудителей дизентерии.

Многие из исследователей связывают бактерицидность морской воды с деятельностью микробов-антагонистов. По данным С. Н. Красильниковой (1961) из 326 культур гетеротрофных бактерий, выделенных из вод Мирового океана, 27 (около 10%) оказались антагонистами.

М. А. Мессинева рассматривает самоочищение как сложный физико-химический процесс, направление и результаты которого определяются соотношением скорости поступления загрязнений и скорости их деструкции. При благоприятном соотношении биологическое равновесие не нарушается, качество воды в водоеме остается таким же. Превышение количества загрязнений, которые поступают сверх возможности водоема к самоочищению, приводит к необратимым нарушениям биологического равновесия, и как следствие, к ухудшению состава и качества воды.

Известно, что ведущая роль в самоочищении водоема принадлежит микроорганизмам. Однако, рассматривать эти процессы как чисто микробиологические было бы ошибочным.

В деструкции сложных органических соединений и в использовании продуктов их минерализации принимает то или иное участие весь биоценоз организмов, обитающих в водоеме. Водоросли и автотрофные бактерии накапливают энергию, необходимую для осуществления сложного цикла преобразований. Гетеротрофные бактерии и грибы осуществляют гидролиз высокомолекулярных полимеров, которые содействуют окислительно-восстановительным процессам и реакциям брожения.

Направление и скорость этих процессов зависят от условий жизни микроорганизмов: от физико-химических обстоятельств, необходимых для жизнедеятельности, соотношения основных биогенных элементов и микроэлементов. Интенсивность микробных процессов не зависит от количества клеток микроорганизмов.

Активность процесса самоочищения воды, главным образом, обусловлена жизнедеятельностью водной микрофлоры. В связи с этим значительный интерес представляет распределение бактерий, в особенности гетеротрофных, в воде и донных отложениях, в зависимости от интенсивности развития сине-зеленых водорослей, образующих «цветение» воды в пресных водоемах.

Численность гетеротрофных, в том числе спорообразующих бактерий повышается в придонных пробах воды, достигая максимальных величин в почве дна. Преобладание неспорообразующих гетеротрофных бактерий свидетельствует о наличии большого количества доступных для микроорганизмов органических веществ.

В соотношении численности бактерий и водорослей в большинстве случаев наблюдают прямую коррелятивную зависимость.

Подобная прямая зависимость в распределении бактерий и водорослей отмечена в придонных слоях воды, но здесь содержание организмов в 10 и более раз превышает их численность в поверхностных слоях воды.

На численность бактерий в воде и почве дна влияет, наряду с другими факторами, количество водорослей и их физиологическое состояние.

При совместном развитии водорослей и бактерий между ними при определенных условиях могут быть разнообразные взаимоотношения: метабиоз – взаимопозитивное влияние; антагонизм – угнетение водорослями бактерий или наоборот. Чаще наблюдается угнетение водорослями бактерий, которые размножаются.

Существуют разные взгляды на механизм ингибирования водорослями размножения бактерий: выделение водорослями в среду антибиотических веществ, негативное влияние на бактерии высоких показателей рН вследствие интенсивного фотосинтеза водорослей, конкуренция за органические питательные вещества (Гусева, 1952г.). При интенсивном фотосинтезе водорослей и элодеи в воде быстро расходуются соли азота и фосфора, повышается рН и увеличивается концентрация кислорода.

Экспериментально установлено, что внесение биогенов содействует быстрому разрушению фенолов. Таким образом, угнетение водорослями при деятельности фенол-разрушающих бактерий, и, наверное, бактерий, которые разрушают глюкозу, осуществляется в результате конкуренции между бактериями и водорослями. Последние являются более мощными потребителями необходимых биогенных соединений.

5.6 Минеральные вещества в сточных водах

В сточных водах, которые поступают в водоем, находятся разные по составу вещества, как органические, так и минеральные.

Гетеротрофные бактерии чутко реагируют на присутствие в воде не только органических, но и минеральных веществ, интенсивность развития этих микроорганизмов зависит от концентрации соединений, которые находятся в воде.

Известно, что небольшое количество минеральных веществ чаще всего стимулирует развитие гетеротрофных организмов, а при повышении их концентрации наблюдается или торможение, или их интенсификация.

Минеральные вещества, действие которых на процессы самоочищения определяли в экспериментах, делят на две группы: ядовитые и неядовитые.

Соли аммония, натрия и магния следует отнести к неядовитым веществам, по той причине, что небольшие концентрации их не изменяют процессы самоочищения. В концентрациях более 20, 50 и 100 мг/л наблюдается интенсивное снижение количества O_2 в водоеме.

Соли меди, никеля, кадмия и цинка ядовитые. Даже доли миллиграмма этих веществ в воде угнетают действие бактерий, особенно в первые часы и дни после их внесения. Цинк вредно влияет

на процессы самоочищения. Исследования подтвердили, что концентрация цинка 5 мг/л очень сильно угнетает процессы самоочищения. Для питьевой воды предельно допустимая концентрация – 1 мг/л.

Н.П. Линник и А.А. Лещинская (1987г.) считают, что актуальным стал вопрос о соотношении разных форм металлов в водной среде, которые могут стимулировать или угнетать развитие гидробионтов. Данные об общем составе тяжелых металлов в водоемах чаще всего малопригодны для оценки их экологического состояния.

Экспериментальными исследованиями последних лет установлено, что свободные ионы металлов (при некоторых концентрациях, что превышают ПДК) являются более токсическими для водных организмов, чем ионы, связанные в комплексные соединения – особенно с органическими веществами естественного происхождения (например, гумусовые и белководородные соединения, полипептиды, органические вещества - продукты метаболизма).

Как правило, комплексы металлов с указанными веществами, даже при концентрациях, значительно превышающих ПДК, не обладают токсическими свойствами, или же они значительно ослаблены.

Доступность соединений металлов для гидробионтов зависит от формы или нахождения в водной среде.

В отличие от различных органических загрязнителей, которые подлежат в той или иной степени процессам деструкции, тяжелые металлы постоянно присутствуют в водных системах при любых обстоятельствах.

Металлы, в зависимости от химических соединений и условий среды, могут находиться в природных водах в виде частиц разной степени дисперсности, в частности, в виде суспензий и коллоидов, простых и сложных гидратированных катионов и анионов, низко- и высокомолекулярных соединений. Все это обуславливает их миграционную возможность в водной экосистеме и различное влияние на физиологические функции биологических объектов. Большая часть тяжелых металлов переносится водой в составе взвешенных частиц.

В условиях естественных водоемов токсиканты действуют не на отдельные особи, а на популяции и биоценозы – компоненты сложных экосистем. Гидробионты - чувствительные индикаторы на токсичность водной среды, реагируют на концентрацию токсикантов от нескольких микрограмм до нескольких миллиграмм на литр.

5.7 Накопление радионуклидов компонентами водных экосистем как фактор самоочищения

Донные грунты.

В биогеохимической судьбе радионуклидов грунты пресноводных водоемов играют важную роль.

Обладая большой сорбционной массой и емкостью поглощения, грунты осаждают основную часть попадающих в водоем излучателей, и частично выводит их из биологического круговорота.

Проведенные после аварии на ЧАЭС исследования показали, что в днепровских водохранилищах активно протекают процессы самоочищения водных масс от радионуклидов по длине каскада.

Наиболее значительным фактором самоочищения вод от цезия-137 являются процессы седиментогенеза. Для стронция-90, обладающего низкими сорбционными свойствами и большой подвижностью, по-видимому, более существенную роль в выведении его из воды на дно играют процессы массообмена при прямом контакте с верхним слоем донных грунтов. Вследствие процессов осадконакопления, а также сорбционного закрепления части обменных форм радионуклидов между донными отложениями и водой, диффузия перестает быть определяющей для вторичного радиоактивного загрязнения вод.

Радиоактивное загрязнение вод каскада водохранилищ определяется, в первую очередь, величиной выноса радионуклидов с загрязненных территорий.

В послеаварийные годы отчетливо прослеживается тенденция к снижению. В связи с этим велика роль грунтов в процессе самоочищения воды от различных, в том числе радиоактивных веществ.

Поскольку большинство радионуклидов концентрируется преимущественно в верхних слоях грунтов, загрязнение последних радионуклидами приводит к повышенному облучению бентосных форм водных организмов.

Установлены закономерности распределения цезия и стронция по отдельным компонентам пресных водоемов. От 60 до 95% общего содержания цезия связано с донными осадками. Стронций распределяется в основном равномерно в водной толще, биоте и донных отложениях.

В распределении радионуклидов по слоям иловых отложений выявлены следы перекрытия (захоронения) слоя, радиоактивность которого сформирована интенсивным поступлением радионуклидов в 1986г. и следы диффузного распределения радионуклидов. На отдельных участках залегания диффузный процесс может привести к «вторичному» загрязнению водных масс.

Уровни накопления и распределения цезия-137 в донных грунтах зависят от его концентрации в воде, механического, минералогического и химического состава грунтов, что определяет их поглотельную и фильтрационную способность. Как показали исследования вертикального распределения в грунтах цезия-137, грунты не только сорбируют, но и фиксируют цезий-137, в силу чего основное количество его аккумулируется поверхностным слоем дна.

В 1990 – 1997г.г. в донных отложениях Запорожского водохранилища зарегистрированы цезий-137, цезий-134, калий-40. Основным интерес представляет цезий-137 и стронций-90, которые являются долгоживущими радионуклидами и в значительной степени формируют радиоактивности донных отложений. Удельное содержание калия-40 в грунтах также значительно, но он является естественным радионуклидом и его содержание зависит от состава материнских пород и других природных условий и не связано с результатами антропогенного загрязнения.

Что касается стронция-90, то содержание его в грунтах колебалось от 4,8 Бк/кг до 7,5 Бк/кг; минимальные величины наблюдались летом, а максимальные – осенью.

Сопоставление данных о содержании цезия-137 в грунтах водохранилища в до- и послеаварийный периоды показало, что в исследуемые периоды времени прослеживается четкая тенденция к увеличению его содержания, а также коэффициентов накопления.

Взвеси.

Взвешенные в воде неорганические и органические вещества играют важную роль в самоочищении водной массы водоема от радионуклидов, при этом специфика накопления радионуклидов взвесьями зависит от их состава, в частности, от относительного содержания во взвесьях минеральных частиц, клеток бактерио- фито- и зоопланктона.

Водные растения относятся к наиболее активным биотическим компонентам экосистемы водоема, как обладающие способностью переводить радионуклиды из миграционного состояния в депонируемые формы с последующим длительным выведением их из круговорота.

Поглощение стронция-90 и цезия-137 тесно связано с усвоением гидробионтами макроэлементов Са и К, химических аналогов этих радионуклидов. Поступление последних в растительные клетки зависит от интенсивности метаболических процессов в них.

В летний сезон года, период наибольшей физиологической активности всех органов растения, величина коэффициента накопления у макрофитов возрастает.

Наблюдаются различия в коэффициентах накопления у родственных видов растений, принадлежащих к одной систематической группе одного и того же водоема: рдест пронзеннолистный (250), гребенчатый (84) и разнолистный (300), рогоз узколистый (425) и широколистный (250), что также может отнестись за счет неодинакового содержания калия в этих растениях и различной реакцией растений на изменение $t^{\circ}C$, pH, O_2 и другие факторы среды антропогенного происхождения.

Коэффициенты накопления стронция-90 у водных растений определяются и их экологической спецификой, а именно, степенью погруженности и укорененностью. Так, по данным, относящимся к периоду их максимального развития (лето), представители экологических групп по накоплению у них радионуклида составили убывающий ряд: погруженные, укорененные – погруженные, укорененные с плавающими листьями - погруженные неукорененные – полупогруженные.

Анализ данных о сезонной динамике накопления стронция-90 свидетельствует о том, что КН (коэффициенты накопления) этого радионуклида возрастали от весны к лету и достигали максималь-

ных значений в июле – августе, возможно, в связи с усилением темпа роста и обмена у растений в это время. Осенью КН снижаются.

Водные растения, обладающие высокими коэффициентами накопления, могут быть использованы в качестве биоиндикаторов радиоактивного загрязнения водной среды, особенно в случаях низкой концентрации загрязнения.

Таковыми индикаторными видами могут быть нитчатые водоросли, рдест, уруть, роголистник.

Моллюски. В радиологических исследованиях особое внимание привлекли моллюски как весьма перспективные гидробионты с точки зрения распределения и миграции радионуклидов в водоемах, что связано с такими особенностями экологии и жизнедеятельности моллюсков, как высокая биомасса доминирующих видов, фильтрация воды, участие в трофической цепи, ведущей к человеку. В этих исследованиях установлены пределы колебания содержания стронция-90 в раковинах некоторых моллюсков и удельный вес этого радионуклида в общей радиоактивности моллюсков.

Наибольшее содержание стронция-90 отмечено в раковинах живородки, а наименьшее – в раковинах беззубки и перловицы. По удельному весу в общей радиоактивности моллюсков выделялась максимальными величинами живородка речная, а также беззубка, перловица обыкновенная.

Полученные данные в 1991 – 1999г.г. представляют большой теоретический и прикладной интерес, характеризуя динамику накопления радионуклидов в раковинах моллюсков Запорожского водохранилища в первое десятилетие после аварии на ЧАЭС.

Существует мнение, что радионуклиды поступают в организм моллюсков из водной массы. Это характерно для фильтраторов (беззубка, перловица, дрейссена) по отношению к стронцию-90. Такая же зависимость отмечена и для стабильного, нерадиоактивного изотопа стронция.

Рыбы. Обладая высокой накопительной способностью относительно радионуклидов и, являясь существенным компонентом пищевого рациона человека, рыбы занимают одно из центральных мест в водной радиоэкологии при изучении миграции радионуклидов из водоема в организм человека.

Содержание стронция-90 и цезия-137 в скелетах рыб в период с 1994 – 1999г.г. колебалось в зависимости от вида рыб.

Различия в содержании этих элементов, по-видимому, связаны с характером питания рыб.

Наибольшее содержание стронция-90 у леща может быть обусловлено тем, что взрослые особи леща питаются эпифауной, т.е. организмами зообентоса, сидящими на поверхности грунта (моллюски, ракообразные).

Цезий-137 в большей степени накапливается в мышечной ткани сазана вследствие того, что он питается инфауной, т.е. организмами, закапывающимися в донных грунтах (хинономиды, олигохеты).

Обращает на себя внимание тот факт, что при значительных колебаниях содержания исследованных радионуклидов в костной ткани у разных видов рыб (примерно 24 раза разница) размах видовой способности к накоплению радионуклидов оказался значительно меньше (от 388 до 894 – коэффициенты накопления).

Таким образом, можно сделать вывод о примерно равном значении исследованных видов рыб в самоочищении водной массы водохранилища как от стронция-90, так и от цезия-137.

5.8 Самоочищение воды от растворенных синтетических поверхностно-активных веществ(СПАВ)

Большинство СПАВ способны подвергаться биохимическому окислению с участием водной микрофлоры, являющейся важнейшим биологическим фактором очищения водоемов и биохимической очистки загрязненных природных и сточных вод в биологических очистных сооружениях.

В водных растворах распад различных видов СПАВ происходит за 1 – 120 суток, поэтому при неблагоприятных условиях (зимой) растворенные СПАВ могут распространяться в воде на сотни километров.

СПАВ обладают эмульгирующим действием на некоторые загрязнители водной среды, например, на гексан, толуол, бензол, гептиловый эфир, нефть, пестициды, замедляя процесс естественного самоочищения водоема от них. С другой стороны, некоторые СПАВ в концентрации от 1 мг/л до 50 мг/л стимулируют развитие сапрофитной микрофлоры. Изменяя проницаемость мембран клеток, они

способствуют усвояемости микробными клетками пищевых веществ, содержащихся в воде, косвенно повышая тем самым их самоочистительную активность.

В лабораторных экспериментах установлено, что скорость деструкции СПАВ в воде водохранилища находилась в положительной корреляции с численностью аэробных гетеротрофных бактерий.

Вопросы для самоконтроля:

1. В чем заключается процесс минерализации органических соединений гидробионтами.
2. Дайте определение понятию «самоочищение водоемов».
3. Опишите механизм самоочищения воды от нефтепродуктов.
4. Эпидемиологическая опасность загрязнения сточными водами. Назовите основных возбудителей инфекций, содержащихся в водной среде.
5. Какими группами организмов принадлежит ведущая роль в самоочищении водоемов.
6. Назовите минеральные вещества, присутствующие в сточных водах. Ядовитые и неядовитые вещества.
7. Какова роль донных грунтов, водных растений и животных в накоплении радионуклидов.

Литература: [11; 14]

ТЕМА 6: ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД. МЕТОДЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ. РЕАКТОРЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

План лекции:

- 1) *Основные методы очистки сточных вод;*
- 2) *Методы биологической очистки сточных вод;*
- 3) *Современные станции очистки сточных вод;*
- 4) *Классификация реакторов, применяемых в очистке сточных вод;*
- 5) *Биореакторы для очистки сточных вод*
- 6) *Биосорберы;*
- 7) *Фильтр-биореактор с загрузкой из стеклоершей;*
- 8) *Системы биологической очистки сточных вод на установке BIOTAL;*
- 9) *Антропогенная эвтрофикация. Методы борьбы с «цветением» водоемов.*

6.1 Основные методы очистки сточных вод

Очистку сточных вод осуществляют с использованием физико-механических, физико-химических и биологических методов.

Сначала сбрасываемые воды подвергаются физико-механической очистке, во время которой из жидкости удаляют нерастворимые компоненты загрязнения, такие как волокна, жиры, смолы, нефть и т.д. В одних случаях они удаляются путем фильтрации, в других – осаждением тяжелых компонентов или флотацией легких. Для фильтрации применяются различные решетки, сита, эффективность работы которых повышается путем нанесения на них слоя из волокнистой массы. Такие сита, в частности, применяются в текстильной, целлюлозно-бумажной и др. отраслях, стоки которых содержат большое количество волокнистых веществ. Для осаждения тяжелых фракций применяют различного рода отстойники, для удаления легких фракций – различного рода ловушки, представляющие собой систему вертикальных отсеков, в которые сточная вода поступает сверху, а выходит снизу. В верхней точке ловушки накапливаются легкие продукты, такие, как масла, нефть и др., которые по мере необходимости удаляются.

Физико-химическая очистка сточных вод, главным образом, производится путем реагентной коагуляции вредных компонентов, нейтрализацией кислот и щелочей, биохимическим окислением с помощью хлора, электрохимическим методом анодного окисления и фильтрованием через ионообменные материалы. В качестве коагуляторов чаще всего применяются сернокислые алюминий и же-

лезо, а также гашеная известь. В результате обработки воды этими веществами происходит связывание различных соединений и осаждение их на дно.

Для нейтрализации кислот обычно используют известковое молоко, удаление фенолов осуществляется с помощью хлора. Такие компоненты загрязнений, как ртуть, медь, никель, цинк и др. извлекаются путем пропускания воды через фильтры из ионообменных материалов, и в результате реакций обмена остаются в связанном состоянии на фильтрах. Высокая степень очистки вод от органических веществ может обеспечиваться фильтрацией жидкости через слой активированного угля.

6.2 Методы биологической очистки сточных вод

Биологические методы очень эффективны для очистки бытовых, а также производственных стоков, содержащих органические вещества. Биологические методы основаны на тех же процессах биохимического распада органического вещества, которые происходят в природе: для очистки стоков используется деятельность различных групп организмов.

Биологические методы очистки можно разделить на две основные группы: I – воспроизведение процессов биохимического распада органических веществ в почве (поля орошения, поля фильтрации, биологические фильтры, аэрофильтры); II – воспроизведение этих процессов в водной среде (биологические пруды, аэротэнки, метатенки).

Поля фильтрации и поля орошения представляют собой систему мелких бассейнов площадью 2 – 5 га. В них поступают стоки предварительно освобожденные от грубых взвесей. Очистка стоков осуществляется фильтрацией через почву за счет деятельности ее микробного населения. В процессах очистки участвует слой грунта толщиной 1,5 – 2,0 м. Поступление воды на поля орошения происходит круглосуточно и круглогодично. Почвенная фильтрация освобождает воды от бактерий на 98 – 99 %.

Индустриальная очистка стоков происходит на биологических фильтрах, аэрофильтрах, аэротэнках, реакторах – сооружениях, занимающих небольшие площади.

Биофильтры – резервуары, заполненные пористым и шероховатым материалом (чаще всего шлак). Через него фильтруется поступающая сверху сточная вода, предварительно освобожденная от взвеси. Во всей толще воды развиваются различные микроорганизмы, образующие мощную биологическую пленку.

Главным действующим началом при биологической очистке являются микроорганизмы, использующие в качестве питательных веществ и источников энергии растворенные органические и минеральные соединения, содержащиеся в сточных водах. Из остатков разрушенных молекул органических загрязнений микроорганизмы черпают вещества, необходимые для размножения и увеличения биомассы активного ила и биопленки. Они разлагают эти вещества до углекислого газа и воды и создают в процессе минерализации соли азотистой, азотной кислот и др.

В процессе очистки микроорганизмы активного НПА или биопленки, контактируя с органическими веществами сточных вод, разрушают их при помощи различных ферментов. Из пленки биофильтра, окисляющего бытовые сточные воды, были выделены следующие ферменты: протеазы, гидролизующие белки, карбогидразы, гидролизующие углеводы, эстеразы, гидролизующие жиры. Ферменты, участвующие в процессе очистки промышленных сточных вод, еще недостаточно изучены.

Способ биологической очистки часто применяется для доочистки промышленных сточных вод после обработки их физико-химическими методами. При наличии очень концентрированных сточных вод иногда используют предварительно анаэробное брожение с последующей доочисткой в аэробных условиях.

Кроме активного ила и биопленки, органические загрязнения разрушаются сапрофитными анаэробными адаптированными комплексами бактерий, выделенными из почвы актиномицетами и др.

Помимо бактериальной флоры в биопленке весьма разнообразны и многочисленны водоросли. Среди них ведущая роль принадлежит диатомовым – донным и эпифитным формам. Преобладающее развитие сине-зеленых водорослей свидетельствует обычно об ухудшении работы биофильтров. Из более крупных организмов здесь присутствуют нематоды, олигохеты, низшие ракообразные, личинки

насекомых. Биопленка играет роль основного активного агента в очистке воды. Процессы очистки идут в 2 фазы: I – растворенные и коллоидные вещества стоков адсорбируются микроорганизмами; II – происходит окисление и минерализация этих веществ тоже с помощью микроорганизмов.

Аэротенки представляют собой закрытые резервуары, в которых процесс очистки стоков происходит по тому же принципу, что и самоочищение в водоемах, но с большей интенсивностью, т.к. здесь толща воды постоянно аэрируется. Размеры аэротэнков значительны: длина несколько десятков метров, ширина 1,5 – 2,0 м, глубина – 2 – 4 м. В аэротенки помещается большое количество крупнопористого материала: шлак, кокс, щебень. На поверхности его развивается обильная бактериальная флора, много простейших и др. организмов. Все они образуют хлопьевидные скопления, называемые активным илом, который играет основную роль в процессах очистки воды. Взвеси, удаляемые из сточных вод, для дальнейшей переработки поступают в так называемые метатенки – закрытые бассейны, содержащие значительное количество активного ила. Распад органического вещества происходит в анаэробных условиях в результате деятельности бактерий, при этом выделяются как продукты распада различные газы (метан, кислород, сероводород, углекислота).

Биологические пруды представляют собой проточные или непроточные мелководные бассейны глубиной 0,6 – 1,5 м.

Очистка стоков происходит в условиях, наиболее близких к процессам самоочищения в природных водоемах. Время пребывания стоков в прудах колеблется в летний период от 3-х до 20 дней при условии их интенсификации культурой протококковых водорослей: при этом выбираются такие виды водорослей, которые при внесении их в пруд в минимальном количестве вызывают массовое развитие (виды *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus*, *Chlorella* и др.)

Очистка сточных промышленных вод биопленкой (в биофильтрах, аэрофильтрах) и активным илом (в аэротэнках) получила широкое распространение. Однако между количеством сбрасываемых и очищаемых сточных вод наблюдается большой разрыв. Это объясняется рядом причин: дороговизной очистных сооружений, чрезвычайным разнообразием производственных стоков и поэтому отсутствием эффективных методов очистки.

Проблему ограждения природных водоемов от загрязнения сточными водами можно решить различными путями:

- совершенствованием технологии производства, в результате чего сокращаются потери различных соединений;
- введением на предприятиях оборотного водоснабжения, при котором осуществляется внутризаводская очистка стоков и происходит многократное использование воды в производстве;
- разработка сухих методов производства;
- внедрение в производство эффективных и комплексных методов очистки стоков.

6.3 Современные станции очистки сточных вод

Сточные воды предприятий по переработке с/х продукции, химико-фармацевтической и микробиологической отраслей промышленности, мойке автотранспорта и др. производств характеризуются высокими концентрациями загрязнения по БПК 1500 – 5000 мг/л и более, что требует особого подхода к выбору технологии их очистки.

Традиционные методы очистки в аэротэнках утрачивают свою популярность ввиду больших расходов электроэнергии на аэрацию и высоких капитальных затрат, а также острых экологических проблем, связанных с обработкой и удалением постоянно образующихся больших масс избыточного активного ила.

Применение активных биотехнологий аэробной и анаэробной очистки, а также физико-химических процессов в реакторах, позволяет уменьшить значения вышеназванных главных технико-экономических и экологических показателей в 3 – 5 раз и практически свести их до минимума.

В настоящее время за рубежом и в нашей стране успешно эксплуатируются сотни различных био- и физико-химических реакторов для очистки производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод.

Аэробная и анаэробная обработка сточных вод в реакторах рассматривается как наиболее перспективный метод очистки концентрированных сточных вод с загрязненностью по БПК более 1000 мг/г. К ним относятся сточные воды и жидкие отходы практически всех отраслей: крахмалопаточной, спиртовой, сахарной, коньячной, винодельческой, пиво- и сыроваренной, молочной, мясной, переработке фруктов, овощей, а также сточные воды животноводческих ферм, микробиологическо-фармацевтической и некоторых производств химической промышленности.

В основе процесса анаэробной очистки лежит биохимическое превращение в бескислородных условиях органических веществ загрязнений сточной воды в биогаз (смесь 70% метана и 30% углекислого газа). От 1 кг ХПК, удаленных загрязнений образуется около 0,5 м³ биогаза, который является прекрасным топливом, что важно для Украины, не имеющей в достаточных количествах энергоносителей.

Производительность современных конструкций анаэробных биореакторов достигает 115 – 130 кг ХПК/м³ сут., что в 10 – 15 раз выше производительности аэротэнков. Это обеспечивается поддержанием в анаэробных биореакторах больших доз (20 – 60 г/л) высокоактивного анаэробного ила, который образует устойчивые плотные флоккулы (гранулы диаметром 1 – 5 мм).

Реакторы выполняются из железобетона или металла и не содержат нестандартного оборудования, которое требует заводского изготовления. Компактность, полная герметичность и небольшие габариты био- и физико-химических реакторов позволяет устанавливать их не только на площадке очистных сооружений, но и на территории предприятий и даже, в ряде случаев, внутри производственных помещений.

Процесс очистки прост в управлении и может быть полностью автоматизирован. Количество необходимых контролируемых параметров минимально, например, для аэробных биореакторов – это t⁰, pH и ХПК очищенного стока.

Большим преимуществом для сезонных производств (сахарная, крахмальная) является свойство биореакторов сохранять биологическую активность без подачи новых порций воды на очистку.

Характерной особенностью технологии является исключительно малый прирост ила, например, для анаэробного – это не более 5 – 10 % от массы удаленных при очистке загрязнений. В то же время при очистке сточных вод в аэротэнке, только количество циркулярного (возвратного) ила составляет по объему 30 – 50 % от расхода очищаемой воды.

Кроме того, анаэробный ил после биореакторов практически стабилен (он не разлагается при открытом хранении, не распространяет неприятных запахов), легко обезвоживается. За рубежом сбыт гранулированного ила (избыточного) для первичного запуска новых биореакторов приносит большую прибыль.

Реакторная очистка на локальных станциях высококонцентрированных сточных вод на предприятиях, расположенных в черте населенных пунктов улучшает условия работы перегруженных коммунальных очистных сооружений.

При реконструкции действующих перегруженных сооружений аэробной биологической очистки (аэротэнки, биофильтры) производственных сточных вод использование аэробно-анаэробных биореакторов позволяет с минимальными дополнительными затратами многократно повысить производительность станции.

Общая себестоимость аэробно-анаэробной технологии в биореакторах значительно ниже традиционной одно- или двухступенчатой аэробной очистки, а надежность и качество очистки стока выше. На Украине новая биотехнология внедрена на Ивано-Франковском заводе тонкого органического синтеза, Днепродзержинском ПО «Азот», Черниговском ПО «Химволокно», Автостоянке ВС Украины, а также на ряде птицефабрик и животноводческих комплексов при очистке сточных вод в поселках городского типа и районных центрах.

6.4 Классификация реакторов, применяемых в очистке сточных вод

Реактор – это аппарат, в котором происходят различные процессы – реакции (биохимические, химические, ядерные, физико-химические и др.). Реактор – от англ. reactor, re – против, actore – действующий.

Биологический реактор – это аппарат для проведения биохимических реакций (процессов) в аэробной или анаэробной среде при заданной t^0 , давлении, рН и других факторов с помощью специальных микроорганизмов.

Предлагаемая классификация реакторов, применяемых в очистке сточных вод, не претендует на абсолютную полноту, т.к. развитие реакторов лежит только в начале своего пути. С каждым годом растет не только их число, но и разнообразие конструкций и различных процессов, происходящих в них. Так, появились реакторы, в которых в одной части происходят биохимические процессы в анаэробных условиях, а в другой части – в аэробных условиях. Изменяются их формы, появляются комбинированные сооружения, создаются новые виды загрузки.

По методу очистки сточных вод реакторы делятся на:

- 1) Биологические;
- 2) Физико-химические;
- 3) Химические.

I. Биологические реакторы, в свою очередь, классифицируются по следующим признакам:

1. По подаче воздуха:

- a) аэробные;
- b) анаэробные;
- c) аэробно-анаэробные.

2. По иммобилизации микроорганизмов в аппарате:

- a) с прикрепленными микроорганизмами на загрузке;
- b) с плавающей микрофлорой;
– в рабочем объеме;
– в рабочем слое;
- c) комбинированные.

3. По конструктивным особенностям:

- a) с прикрепленной насадкой;
- b) с вращающейся насадкой;
- c) с псевдоожиженным слоем.

4. По конструктивно-технологическим признакам:

- a) биофильтры;
- b) биосорберы;
- c) биотенки;
- d) фильтр – биореактор;
- e) флототенки.

5. По другим признакам:

- a) по виду загрузки (плоская, объемная и др.);
- b) по форме реактора (конические, цилиндро-конические, пирамидальная и др.);

II. Физико-химические реакторы бывают:

- a) химические (реакторы нейтрализации) и др.;
- b) электрохимические (плазмохимические) и др.;
- c) физические (реактор-смеситель) и др.;

6.5 Биореакторы для очистки сточных вод

1. Аэробно-анаэробный биореактор с иммобилизованной микрофлорой на прикрепленной загрузке и со свободноплавающими микроорганизмами в рабочем слое.

Биореактор, разработанный российско-украинской фирмой «Комплект - экология» применяется для очистки сточных вод от органических загрязнений при переработке стоков гостиниц, ресторанов, жилых домов, школ, больниц, а также пищевой, овоще – и мясоперерабатывающей промышленности.

Биореакторы могут устанавливаться на станциях биологической очистки с производительностью от 120 до 55000 м³/сутки. Такая станция построена в г. Озерске (Россия), включает в себя блок механической очистки, блок емкостей ВКВ – 60000·911 (биореактор), вспомогательные помещения.

Биореактор состоит из контейнеров – модулей и представляет собой прямоугольный металлический резервуар, разделенный внутри перегородками, образующие многоступенчатые аэротенки. Все ступени аэротенка оборудуются пластмассовой загрузкой, которая крепится в средней части биореактора и иммобилизует на себя микрофлору.

В нижней части биореактора активный ил находится во взвешенном состоянии. Аэрация осуществляется придонными аэраторами. Процесс очистки СВ осуществляется биоценозом микроорганизмов в восстановительных условиях, постепенно переходящих в окислительные. Оба процесса происходят одновременно. Прикрепленный биоценоз микроорганизмов последних камер характеризуется формированием богатого и разнообразного видового состава простейших, которые являются регулятором прироста активного ила. Избыточный активный ил не имеет достаточно высокую степень минерализации, поэтому хорошо обезвоживается. Он вывозится в мешках и используется как органическое удобрение. Прирост ила в 3 – 4 раза меньше, чем у аэротенков такого класса. Небольшое количество взвешенных веществ в сбрасываемом очищенном стоке составляют гидробионты 2-го и 3-го трофических уровней. При сбросе они не нарушают естественный баланс водоема, включаясь в трофические системы (хищные коловратки, олигохеты, сосущие инфузории) – представители 3-го трофического уровня являются отличным кормом для рыб; бактериядные инфузории, нематоды, коловратки - представители 2-го уровня усиливают бактериальную очистку в планктоне, перифитоне, тем самым улучшая санитарное состояние водоемов.

Эффективная технология, сочетающая аэробные и анаэробные процессы, использующая как взвешенный в нижней части биореактор, так и прикрепленный в средней части активный ил, биосорбцию, фильтрацию, позволяет обеспечить стабильное качество очистки воды.

При длительных перерывах в подаче СВ или электроэнергии биореактор быстро (в течение нескольких суток) входит в оптимальный режим работы.

Станция с применением таких биореакторов имеет следующие достоинства:

1. Высокая степень очистки СВ.
2. Простота и надежность в эксплуатации.
3. Компактность (занимаемая площадь 34 – 95,2 м²).
4. Возможность к расширению.
5. Чистый биологический процесс.
6. Минимальные затраты на подключение.
7. Отсутствие запаха.
8. Высокая устойчивость к колебаниям нагрузок.
9. Минимальное количество избыточного активного ила.
10. Низкое энергопотребление (3,2 – 14,1 кВтч).
11. Не требуется квалифицированного обслуживания.

2. Аэробные и анаэробные биореакторы «БРИЗ».

Фирмой «Бионик» разработана гибкая технология биологической очистки сточных вод, удовлетворяющая требованиям водоема рыбохозяйственного назначения. Преимущество этой технологии заключается в использовании на I стадии анаэробного окисления, которое, в отличие от аэробного, не требует значительных затрат энергетических, и не сопровождается большим приростом активного ила.

В анаэробном биореакторе происходит биологическая деструкция органических загрязнений сообществом взвешенных и иммобилизованных на волокнистой загрузке типа «ВИЯ» микроорганизмов и осветление частично очищенной сточной воды в верхней части аппарата.

Загрузка представляет собой капроновый текстурированный шнур (масса 60 г на 1 погонный метр, длина бахромы – 100 мм), намотанный по спирали – многограннику на крючки кольцевых рамок, которые одеваются на отводящий трубопровод реактора.

Для интенсификации протекания окислительных процессов предусмотрено рециркуляционное перемешивание насосом. После 1-ой ступени окисления сточная вода подается на анаэробный биореактор

2-ой ступени, где происходит дальнейший процесс анаэробной переработки загрязнений микроорганизмами, дополнительное осветление воды и уплотнение избыточной биомассы. Очищенная вода подается на фильтрацию и обеззараживание.

Биореакторы представляют собой вертикальные колонные аппараты с соотношением высоты к диаметру (3 – 6):1 с коническим днищем, герметически съемной крышкой. Корпус металлический, изготовлен из стали, теплоизолированный.

Реакторы рассчитаны на 20 лет эксплуатации. Простота эксплуатации обеспечена возможностью полной автоматизации работы аппаратов. Установка компактна и необходимая площадь для размещения сооружений не превышает 9×5 м при производительности 25 м³ в сутки.

Существует второй вариант технологической схемы очистки СВ с расходом от 25 м³ до 50 м³/сутки. Предназначен для небольших поселков, промышленных объектов с автономной очисткой сточных вод, где уровень эксплуатации более квалифицирован.

Схемой предусмотрена аналогичная 1-ая ступень анаэробной очистки СВ, 2-ая ступень представляет собой тот же аппарат «БРИЗ», но работающий в аэробном режиме с рециркуляцией сточных вод. Эффективность процесса второго варианта соответствует эффективности первого варианта, но существуют экономические различия. При одинаковом качестве очищенной СВ замена анаэробного биореактора 2-ой ступени на аэробный приводит к увеличению прироста ила ~ в 4 раза. Кроме того, потребляемая энергия возрастает примерно в 20 раз в случае применения воздуходувок. Преимущество II схемы определяется компактностью размещения аэробного биореактора, меньшей удельной площадью.

В обоих случаях достигаются требования к водоемам рыбохозяйственного назначения, т.е. концентрация загрязнений в очищенной СВ равны:

БПК_п = 3 мгО₂/л; взвешенные вещества – 3 мг/л; ПАВ = 0,5 мг/л.

Анаэробные методы обработки предпочтительней аэробных из-за низких энергозатрат, прироста биомассы и потребности в биогенных элементах. Значительным преимуществом является получение биогаза и связанной с ним возврате энергии. Следует также отметить возможность анаэробной обработки сточных вод с концентрацией по ХПК до 75 – 100 кг/м³.

Одним из ключевых факторов анаэробного процесса является температура. Считается, что скорость роста микробной популяции и, соответственно, ее активность, удваиваются при повышении t⁰ рабочей среды на каждые 10⁰С. Эта зависимость наблюдается в диапазоне t⁰ = 35 – 37⁰С (мезофильный режим), в котором работают большинство анаэробных биореакторов. Установлено, что чем интенсивнее процесс метанообразования, тем меньше прирост биомассы, и наоборот. Так как потребность в азоте ниже, чем при очистке в аэробных условиях, многие производственные сточные воды могут быть обработаны без биогенной подпитки.

Кроме вышеназванных биореакторов применяют и целый ряд других:

а) Анаэробный биореактор со свободноплавающей микрофлорой в рабочем объеме.

Процесс анаэробного разложения органических веществ происходит в рабочем объеме микроорганизмами, которые поддерживаются во взвешенном состоянии с помощью механического перемешивания. Данная технология успешно применяется на сахарных заводах в Германии, и спиртовых заводах в США.

б) Анаэробный биореактор со свободноплавающей флорой в рабочем слое.

Процесс анаэробного окисления органических веществ происходит при движении через уплотненный и частично гранулированный слой анаэробной микрофлоры, находящийся в нижней части реактора. Данная технология применяется на ряде пивоваренных заводов во Франции и Индии.

в) Анаэробный биореактор с прикрепленной микрофлорой на неподвижной загрузке. Анаэробное разложение органических веществ СВ осуществляется по мере движения сточной жидкости снизу вверх или сверху вниз через слои инертной загрузки (гравий, пластмассовая крошка, стекло), покрытой биопленкой. Для успешной работы реактора необходимо, чтобы удельная поверхность загрузки была не ниже 100 м²/м³.

Реактор данного типа, являющийся, по существу, аэробным фильтром, применяется на молочных заводах Франции, сахарных заводах Германии и Бельгии.

г) Аэробный биореактор с прикрепленной микрофлорой на подвижной загрузке.

В данном соотношении разложение органических веществ осуществляется при помощи микроорганизмов, иммобилизованных на вращающуюся загрузку (насадку) – роторные, дисковые биофильтры. Роторный биофильтр представляет собой непрерывно вращающийся барабан, полупогруженный, сетчатый, заполненный насадкой из тонкостенных пластмассовых колец диаметром 20 – 60 мм, предназначенный для очистки бытовых и производственных сточных вод молочных, мясо- и овощеперерабатывающих предприятий.

д) Анаэробные биореакторы с иммобилизованной микрофлорой на закрытой насадке.

Данный биореактор применяют для очистки СВ в производстве казеина. Аэробные процессы очистки производств стоков на предприятиях пищевой промышленности противопоказаны из-за опасности загрязнения воздуха микробными аэрозолями. Биореактор размером 4×4×4 м установлен на фундамент, внутри разделен на секции.

е) Биореакторы с прикрепленной микрофлорой на псевдооживленной загрузке.

Для очистки высококонцентрированных производственных сточных вод ($XPK > 6000 \text{ мг/л}$), а также повторно используемых оборотных сточных вод с различным составом и разной концентрацией загрязнений, эффективно применение реакторов с псевдооживленным (кипящим) слоем инертной загрузки с иммобилизацией на ней организмов. Эта загрузка, благодаря *движущемуся снизу вверх потоку сточных вод*, поддерживается в состоянии псевдооживления, то есть в таком состоянии, когда сила гидравлического сопротивления зернистого слоя восходящему потоку оживающего агента, становится равной весу всех его частиц.

В качестве загрузки используют кварцевый песок, активированный уголь, кусочки лавы, стекла, гранулированные полиэтилен, полистирол, газонаполненный алюмосиликат, не вступающий в реакцию с загрязненными веществами. Природа и характер загрузки влияют на минимальную скорость оживления, которая возрастает с увеличением диаметра частиц и ростом разности плотностей между твердыми частицами загрузки и сточных вод. Установка данного типа сочетает как бы свойства реакторов со свободноплавающей микрофлорой в рабочем слое и реакторов с неподвижной загрузкой. Реактор по высоте как бы разделен на две зоны: в нижней зоне функционирует био пленка, прикрепленная к загрузке и заполняющая свободное пространство: в верхней зоне формируется слой гранулированного ила – плотный слой, через который осуществляется фильтрация воды, тем самым ее осветление.

Реакторы не подвержены заиливанию, даже при высоких концентрациях взвешенных веществ в СВ.

Основные технические показатели процесса очистки аналогичны показателям биореакторов со свободноплавающей микрофлорой, однако область применения значительно шире.

Биореакторы имеют следующие достоинства:

1. Высокая окислительная способность $XPK = 20 - 70 \text{ кг/м}^3 \text{ сутки}$.
2. Высокая концентрация активного ила в реакторе до 40 мг/л.
3. Аппараты компактны, не требуют больших производственных площадей.
4. Не подвержены заиливанию.

Однако, несмотря на все достоинства, возникают затруднения в создании и поддержании однородного псевдооживленного слоя. Это вызвано меняющейся гидравлической крупностью частиц загрузки в процессе обрастания его биомассой, а также колебаниями температур, расхода и состава поступающей на очистку сточной воды, необходимостью строго калиброванного загрузочного материала.

Из всех типов сооружений биологической очистки Биореакторы с псевдооживленной загрузкой позволяют достичь наиболее высоких скоростей изъятия загрязнений, эффективности и производительности за счет высокой концентрации активной биомассы, развитой поверхности контакта интенсивного протекания массообменных процессов во взвешенном слое мелкозернистой загрузки.

Реакторы, работающие с псевдооживленной загрузкой, могут применяться для физико-химических методов очистки производственных сточных вод: для реагентной обработки, коагуляции, ионного обмена, фильтрации и т.д. Тогда в реакторах применяются активные загрузки, такие, как цеолит, активированный уголь, железосодержащий порошок.

Несмотря на достоинства анаэробных биореакторов, а именно:

– анаэробный ил наиболее стоек к переменному воздействию количества и качества исходной воды;

– анаэробная очистка не требует предварительного разбавления стоков перед очисткой, имеет малый прирост активного ила;

Это единственный метод очистки сточных вод, который в какой-то степени позволяет вернуть затраты на очистку СВ, при этом возможно генерировать горючий газ, который можно использовать.

Невозможно исключить основного недостатка – область применения анаэробного способа очистки ограничена определенным диапазоном содержания органических соединений, которые в итоге оказывают влияние на содержание анаэробного ила в зоне реакции. Анаэробный ил не имеет низкие седиментационные свойства, он в традиционных сооружениях биоочистки не может образовывать хлопья, обладающие достаточной гидравлической крупностью, способной выделиться из иловой смеси в осадок, поэтому наблюдалось низкое его содержание в зоне реакции. Эту проблему пытались решить использованием подвижной загрузки, находящейся в псевдоожидании, что дало возможность получить гранулированный анаэробный ил, и, следовательно, уменьшить вынос его из сооружения.

6.6 Биосорберы

Биосорбер – сооружение биологической очистки хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод, работающий на принципе псевдооживления слоя активированного угля, который представляет собой инертный носитель для микроорганизмов. Основным признаком материала, определяющим его в качестве носителя для микроорганизмов, является способность его к адсорбции и развитая поверхность контакта.

Биосорбер представляет собой аппарат, который включает в себя не только постадийное разделение анаэробной иловой смеси, но и уплотнение ила, формирование плотных гранул и возврат их без разрушения в зону кипящего слоя. Отличительной особенностью биосорбера является то, что цилиндрический корпус его разделен вертикальной коаксиальной перегородкой на сообщающиеся между собой внутреннюю и внешнюю камеры, заполненные загрузкой, находящейся в подвешенном и неподвижном состоянии. Верхняя часть биосорбера снабжена зоной флокуляции ила. Во внутренней камере движется поток рециркулируемой и очищенной воды, а во внешней – только очищаемой. Для неподвижной загрузки используют кварцевый песок диаметром 1,2 – 1,7 мм, для подвижной – активированный уголь марки АГ – 3.

Биосорберы имеют диаметр 1,5 – 2,2 и 3 м, высоту от 4,8 до 18,6 м, объем реакционной зоны 8,4 – 131,3 м³. Эксплуатация установки показала высокую надежность и устойчивость процесса при значительном колебании содержания органических веществ. Есть и другие модификации биосорберов, но их мы рассматривать не будем.

6.7 Фильтр – биореактор с загрузкой из стеклоершей

Для доочистки биологически очищенных сточных вод эффективны скорые песчаные фильтры с загрузкой из стеклоершей.

Сточные воды по трубопроводу через щитовой затвор поступают в резервуар. Специально вынесенный за перегородку барботер для аэрации связан с проводом подачи воздуха и обеспечивает в резервуаре циркуляцию водного потока, который проходит через контейнеры со стеклоершами. Этот поток вовлекает поступающие СВ в циркуляцию, снабжает биомассу гидробионтов, прикрепленных на стеклоершах, кислородом и питанием (вынесенным из вторичных отстойников активным илом и растворенными в воде органическими веществами).

При зацикливании ершей их отмывают подачей воздуха. Для создания циркуляционных потоков и насыщения дочистенных СВ кислородом воздуха необходимо до 2-х м³ воздуха в 1 час на 1 м³ объема фильтра-биореактора.

6.8 Системы биологической очистки СВ на установке BIOTAL

Установка ВЮТАЛ предназначена для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод жилых и общественных зданий, промышленных сточных вод небольших производств, бензозаправочных станций, автомоек и т.д.

ВЮТАЛ – реализация ряда новых, охраняемых патентами, технических решений, позволивших комплексно решить проблемы малых очистных сооружений. Объем очищаемых сточных вод составляет от 1 до 200 м³/сутки. Установка ВЮТАЛ производительностью до 10 м³/сутки изготавливается серийно из ударопрочного и долговечного пластика.

ВЮТАЛ устанавливается под землей, заглублена в землю, или в отдельно стоящем здании.

Главные отличия технологии ВЮТАЛ от имеющихся на рынке систем биологической очистки:

- не требуется ассенизационная машина для отвоза продуктов очистки;
- установка производит в результате процесса очистки два конечных продукта, пригодных для непосредственного использования:
 - а) техническую воду, пригодную для использования во вторичном водообороте;
 - б) минеральные удобрения в форме обезвоженного избыточного активного ила;
- установка изготовлена из полипропилена, который химически не активен, не подвержен коррозии, имеет малые габариты и вес;
- управление процессом очистки производится с помощью компьютера, что позволяет оптимизировать все процессы, обеспечивает автоматическое переключение установки в I, а затем во II режим экономии, при отсутствии притока СВ, и форсированный режим при поступлении СВ в количестве, превышающем норму;
- при отключении электроэнергии установка продолжает работать как многоступенчатый отстойник и, по-прежнему, обеспечивает очистку сточных вод от жиров и поверхностных нечистот. При появлении электропитания установка переходит в нормальный режим работы;
- не происходит выделение метана и отсутствует неприятный запах;
- за счет особенностей технологии установка выдерживает сброс стоков с высокой концентрацией химических веществ (марганец, хлор и т.д.), применяемых для промывки систем очистки питьевой воды;
- в установках проводится автоматическое дозирование дезинфицирующего раствора (при необходимости);
- съемные элементы установки позволяют при ремонте (после 10 – 15 лет работы) не откачивать очищаемые СВ из установки.

6.9 Антропогенная эвтрофикация. Методы борьбы с «цветением» водоемов

Для борьбы с антропогенной эвтрофикацией водоемов существует два подхода: I – устранение причин эвтрофикации; II – устранение последствий этого явления.

Как известно, причиной эвтрофикации является избыточное поступление биогенов с водосборной площади или со сточными водами, в результате чего происходит чрезмерное развитие водорослей – «цветение» водоемов.

Для устранения причин эвтрофикации удаляют биогены из стоков в процессе их очистки. Для достижения этой цели система двухступенчатой очистки дополняется третьей ступенью, т.е. из прошедших обычную биологическую очистку вод различными способами. Удаляют биогенные элементы, главным образом, фосфор. Этот элемент осаждают обычно солями алюминия и железа. Трудность этой обработки состоит в необходимости снижать содержание биогенов до очень низких концентраций.

Для защиты водоемов от загрязнений, в основном стоками с с/х угодий, применяют меры лесозащитного и агротехнического характера. По берегам многих водохранилищ создают лесные полосы, препятствующие размыванию почв и попаданию биогенных элементов в воду.

Химические методы заключаются в том, что в водоемы вносят те или иные альгициды: медный купорос, хлор и др. Однако все эти методы в настоящее время используются мало. Временный эффект их действия, трудность правильной дозировки, часто наблюдаемое повторное «цветение», опас-

ность токсического действия альгицидов на другие организмы – все это затрудняет широкое применение химических методов.

Биологический метод заключается во вселении в водоемы растительноядных рыб, таких, как, тиляпия (*Tilapia aurea*), белый амур (*Stenopharyngodon idella*), белый толстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*) и др. Тильпия поедает водоросли, цветковые растения, детрит, белый амур потребляет водную растительность, а белый толстолобик питается фитопланктоном. Однако растительноядные рыбы не могут играть решающей роли в борьбе с «цветением», т.к. в состав своего тела они переводят лишь незначительную часть корма, а большая часть переходит в форму, которая облегчает дальнейшую деструкцию, и, следовательно, регенерацию биогенов; они вновь включаются в биотический круговорот и могут стимулировать развитие водорослей.

К механическим методам относится прямое изъятие из водоема водорослей в период их цветения, удаление зарослей цветковых растений с помощью машин – косилок и др. Необходимы дальнейшие поиски методов борьбы с «цветением» воды.

Вопросы для самоконтроля:

1. Назовите основные методы очистки сточных вод.
2. Поля фильтрации, биологические пруды, биофильтры и аэротенки, их устройство.
3. Современные станции очистки. Аэробная и анаэробная очистка сточных вод.
4. Как разделяют реакторы по методу очистки. Классификация биологических реакторов.
5. Принцип действия аэробно – анаэробного биореактора.
6. Назовите основные достоинства и недостатки биореакторов.
7. Биосорбенты, их отличительная особенность от других типов биореакторов.
8. В чем заключаются основные отличия технологии BIOTAL.
9. Какие методы борьбы с цветением водоемов вы знаете.

Литература: [1; 7; 10; 12]

ТЕМА 7: ТЕХНИЧЕСКАЯ ГИДРОБИОЛОГИЯ. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ, ПОНЯТИЯ И МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ГИДРОБИОЛОГИИ

План лекции:

- 1) *Основные проблемы технической гидробиологии;*
- 2) *Биологические исследования как основа для разработки и повышения эффективности средств защиты от обрастания;*
- 3) *Необрастающие краски и биологический контроль их токсичности;*
- 4) *Использование ультразвука.*

7.1 Основные проблемы технической гидробиологии

Техническая гидробиология занимается проблемами изучения биологии и экологии организмов, причиняющих вред гидротехническим сооружениям и флоту, и разрабатывает методы борьбы с ними. Корпус судов и части гидротехнических сооружений находятся под водой и подвергаются воздействию многих организмов. Сверлящие растения и животные разрушают деревянные и бетонные сооружения. Различные организмы, ведущие прикрепленный образ жизни, образуют обрастания на корпусе судов, водоподающих устройствах, решетках турбин, приборах, находящихся под водой. Масса этих обрастаний может достигать десятков кг на 1 м² поверхности.

Обрастание судов, гидротехнических сооружений с давних времен причиняло огромный ущерб человечеству, а иногда и бедствия. Уникальные дорогостоящие приборы, аппаратура и сооружения, в связи с обрастанием, преждевременно теряют свои качества, а иногда полностью выходят из строя. Тем не менее, большая научная и практическая проблема обрастания лишь сравнительно недавно приобрела самостоятельность и стала предметом всестороннего изучения.

Одновременно развиваются исследования в области изыскания способов и средств защиты от обрастания.

Большое практическое значение проблемы и отсутствие теоретических предпосылок привели к возникновению многочисленных «открытий» и спекулятивных предложений, которые в ряде случаев тормозили развитие исследований.

В настоящее время в области изыскания средств защиты эмпирика уступила место фундаментальным исследованиям. В результате достигнуты определенные успехи, позволившие значительно снизить вредное действие обрастаний, однако проблема обеспечения длительной защиты кораблей, подводных приборов и оборудования еще далеко не решена.

Под термином «обрастание» имеется ввиду сообщество растительных и животных организмов (начиная от микробов и кончая высокоорганизованными представителями типа хордовых), которые в отличие от постоянно живущих в море бентосных форм поселяются на любом находящемся в море предмете, т.е. всегда как бы возникают заново. Однако следует заметить, что само явление обрастания включает в себя большой комплекс не только биологических, но и химических и физических процессов, имеющих свой закономерный ход в специфических условиях различных морей и океанов и, без изучения которых проблема защиты не может быть решена.

Единственно возможными были и пока остаются способы химической и физической защиты, т.е. исключительно средства технические, разработкой которых, в основном, были заняты специалисты химического и технического профиля. При этом большей частью не принималось во внимание, что обрастание – явление биологическое и без глубокого понимания сущности и деталей его развития в общей системе окружающей среды бороться с обрастанием бесполезно.

Продолжающийся быстрый технический процесс, расширение масштабов и областей использования Мирового океана, как источника биологических, минеральных и энергетических ресурсов, создание специальных подводных устройств и систем промышленного и военного значения; применение оборудования и приборов для обеспечения связи выдвигают все новые и новые требования в смысле защиты от обрастания и биологического повреждения материалов. Специфичность требований и условий эксплуатации в каждом отдельном случае приводит к изысканию специальных средств защиты, созданию совершенно новых необрастаемых покрытий, отличающихся и по длительности действия, и по эксплуатационным качествам. Учитывая все вышеизложенное, наряду с изучением частных эколого-биологических вопросов, касающихся самих организмов обрастания, большое значение приобретают всесторонние физиолого-биохимические исследования, необходимые для установления характера и степени влияния на организмы тех или иных воздействий, а также выяснения взаимодействия организмов, окружающей среды и применяемых средств защиты.

7.2 Биологические исследования как основа для разработки и повышения эффективности средств защиты от обрастания

Изучение обрастаний, т.е. сообщества растительных и животных организмов, дает возможность последовательно проследить все фазы развития ценоза с момента его возникновения до желаемого этапа развития и в зависимости от поставленной задачи даже направлять и дозировать условия, а также в нужный момент их контролировать.

Поскольку исследования обрастаний имеют не только познавательный и теоретический интерес, но связаны с большой, практически важной проблемой – изысканием и разработкой средств защиты от этих организмов – изучение обрастаний выходит далеко за рамки обычного гидробиологического исследования, требует детальных кратковременных и длительных стационарных наблюдений в самых разнообразных океанологических условиях. Для проведения такого рода исследований Черное море представляет прекрасный полигон для различных исследований, связанных с проблемой обрастания.

Хотя видовой состав обрастаний в Черном море значительно беднее, чем в других морях с нормальной соленостью, по интенсивности обрастания оно занимает одно из первых мест.

Как показали многолетние стационарные наблюдения, несмотря на хорошо выраженные биологические сезоны в Черном море, процесс обрастания практически идет в течение почти всего года,

но состав и интенсивность его имеют свой помесичный ход для каждого вида с максимумом в теплые месяцы и минимумом зимой.

Размах колебаний численности обрастателей, особенно в прибрежных и сравнительно мелководных районах, чрезвычайно велик, и период возрастания и убывания ее в отдельные годы может значительно перемещаться в ту или иную сторону. Так, например, в одни годы максимальная численность осевших баянусов наблюдалась в июне и составляла всего несколько тысяч экземпляров на 1 м^2 , в другие – превышали 1000000 экз/м^2 . количество оседающих мидий в разные годы также может отличаться в десятки и сотни раз.

Причину такой неравномерности следует искать, с одной стороны, в биологических циклах воспроизводства и развития отдельных видов, а с другой стороны – очевидно в циклических колебаниях гидрометеороусловий.

Для развития обрастания большое значение имеет плотность первоначального поселения. Как отмечали Барнес и Повл, чрезмерная густота поселения приводит к вымиранию большей части осевших особей, т.е. увеличивает их смертность. Таким образом, нельзя прогнозировать величину обрастания, исходя из количества первоначально прикрепившихся личинок, особенно в период их интенсивного оседания, т.к. увеличение густоты поселения до известного предела стимулирует жизнедеятельность обрастателей, а после достижения оптимальной величины – подавляет ее.

В этих случаях, чем больше первичное оседание, тем меньше общий вес обрастания. Общий вес организмов, оседающих в стационарных условиях в районе Севастополя в течение одного месяца от 1 до 600 г/м^2 . Вес годового обрастания на 1 м^2 поверхности в тех же условиях может достигать 100 кг/м^2 и более.

Замечено, что циприс – последняя личиночная стадия баянусов, осуществляющая процесс оседания, и прикрепления к субстрату – предпочитает и в большем количестве заселяет нижнюю затененную или черную поверхность предмета, находящегося в море. Круглогодичными многолетними наблюдениями установлена четкая зависимость состава, количества, размеров и общего веса обрастания от положения обрастаемой поверхности по отношению к странам света. Максимальное оседание и общая численность обрастателей, особенно в летние месяцы, отмечены на пластинках, ориентированных на восток.

Если принять это количество за 100%, то на пластинках, ориентированных к северу, общая численность обрастателей составляет 75%, к югу – 9%, и к западу – 6%. Различия в весе обрастания достигают 70%.

Исследования развития обрастаний в Черном море в 12 – 15 милях от берега при общей глубине в пункте исследований около 100 м показали, что наибольшая плотность оседания наблюдается на горизонте до 15 м. На глубине 8 – 10 м вес годового обрастания превышает 20 кг/м^2 . С возрастанием глубины плотность поселения и, соответственно, общий вес обрастания падают, и на глубине 70 – 80 м бывают очень незначительными. Вместе с уменьшением поселения с глубиной уменьшается также интенсивность роста организмов, очевидно как следствие более низких температур, и возможного недостатка пищи и пр.

Однако состав и плотность поселения обрастателей зависит не только от глубины погружения, но и от состава и характера донного биоценоза, над которым размещены опытные образцы, т.е. от имеющейся в этих местах резервации родительских форм.

Материалы стационарных ежемесячных и годовых наблюдений за формированием и развитием обрастаний в различных акваториях Черного моря (район Грузии, Болгарии) показывают, что режим обрастания в разных районах и даже микрорайонах имеет свои специфические черты, определяемые биологическими особенностями организмов и комплексом абиотических и биотических условий. В целом же процесс обрастания подчиняется общим сезонным и годовым закономерностям развития жизни в водоеме.

Хотя обрастание – явление биологическое, но в силу специфической направленности проблемы, диктуемой необходимостью изыскания средств борьбы с организмами, при изучении обрастаний возникают направления и методы, обычно не применяемые исследователями моря, в большинстве случаев стремящимися к увеличению воспроизводства организмов, повышению продуктивности.

7.3 Необрастающие краски и биологический контроль их токсичности

Основным способом защиты от обрастания является применение так называемых необрастаемых красок, содержащих преимущественно закись меди, окись ртути и др.

Эффективность необрастаемых красок определяется:

- 1) составом, количеством и специфичностью действия входящих в них ядов;
- 2) степенью их растворимости в окружающей воде (что зависит от $\%$, t^0 , и многих других причин);
- 3) скоростью выщелачивания ядов, зависящей от структуры краски, растворимостью самих ядов и пленкообразующей основы, способности основы служить пищей, а, значит, разрушаться микробами морской воды, открывая доступ к глубже лежащим зернам яда.

При разработке противообрастаемых лакокрасочных средств защиты большое значение имеет предварительный биологический контроль эффективности входящих в краску компонентов – ядов, а затем и всего состава краски в целом. Для каждой ткани, а тем более для личинок обрастателей и их различных стадий развития существует определенная доза раздражителя, при которой может быть получен наибольший эффект. Таким образом, выбор яда и установление оптимальной дозы, обеспечивающей максимальный эффект, а отсюда – рациональное и экономное расходование его, является весьма существенным и важным при решении проблемы борьбы с обрастаниями.

Многие микроэлементы в естественной концентрации действуют как биологический фактор, жизненно необходимый для организма, участвуя в образовании высокоактивных в биологическом отношении ферментов, гормонов, витаминов, а также в ряде физиологических функций. Вместе с тем повышение концентрации микроэлементов способно оказывать токсическое действие, приводящее, в конце концов, к гибели организма вследствие блокирования ферментивных систем, денатурации белков и т.д.

При этом следует иметь в виду, что один и тот же яд может действовать различно на организмы не только разных систематических групп, но даже на отдельные стадии развития одного и того же вида организма, тем более взятого в разные сезоны года или из разных географических районов.

При испытании разрабатываемых или внедряемых средств защиты от обрастания, следует исходить из чувствительности к ним личиночных стадий обрастателей, против которых непосредственно будет направлено действие этих средств.

Предприняты попытки использования в качестве индикаторов токсичности противообрастаемых красок не только водных животных, но и растительные организмы, но этот метод не получил распространения, т.к. отношение их к одним и тем же ядам различно. В качестве тест-объекта для испытания эффективности красок некоторыми исследователями используется культура сенной палочки (*Bacillus subtilis*). Ряд веществ, не только сдерживающих развитие бактерий, но даже обладающих сильными бактерицидными свойствами, могут не оказывать никакого действия на настоящих обрастателей, и наоборот – ядовитые для микроорганизмов вещества могут быть безвредны для микробов – обрастателей.

Таким образом, встал вопрос об изыскании такого объекта биоконтроля, который по ряду признаков и показателей соответствовал бы истинным обрастателям и гарантировал бы круглогодичные биологические испытания.

Среди других, предлагаемых для этой цели организмов, первоначально первое место заняли широко распространенные пресноводные ветвистоусые рачки дафнии (*Daphnia*), которые можно иметь в неограниченном количестве круглый год. Однако эвригалинность дафний дает возможность проводить испытания при солености не выше 6‰.

Более подходящим тест-объектом оказался рачок артемия (*Artemia salina*), живущий в пересоленных водоемах. Огромное количество яиц, продуцируемых артемией, допустимость длительного хранения их в сухом виде, хорошо отработанная методика получения из них в любое время свободноразвивающихся личинок всегда одного (или любого) возраста и размера, возможность проведения испытаний в морской воде любой солености показывает, что данный объект биоконтроля вполне может быть рекомендован для использования, т.к. обеспечивает возможность круглогодичных лабораторных исследований независимо от биологических процессов в море.

Совершенно очевидно, что биологический контроль испытываемых образцов следует обосновывать не только какими-то средними за ряд лет, но и конкретными данными о процессе обрастания, начиная с момента появления личинок, учитывая при этом особенности биологии и режима обрастания даже в условиях микрорайона одного и того же стенда.

При проведении сравнительных стендовых испытаний эффективности противообрастающих лакокрасочных средств необходимо иметь ввиду следующее:

- 1) условия испытания должны быть возможно более близкие к тем, которые могут быть встречены в эксплуатации;
- 2) испытываемые образцы должны быть ориентированы всей своей поверхностью по направлению к преобладающему течению, приносящему личинок обрастателей и не должны экранировать друг друга;
- 3) испытываемые образцы должны находиться на относительно равной глубине, не менять ориентацию к свету, течениям.
- 4) Испытания должны проводиться в наиболее жестких условиях обрастания, рядом с мощными естественными обрастаниями или обросшими предметами.

Испытание сравнительной эффективности различных схем краски требует соблюдения полного единообразия условий его проведения для всех образцов, в том числе и контрольных, и самого строгого учета особенностей биологии и режима обрастания непосредственно в момент испытания.

Развитие микрообрастаний, т.е. появление первичной бактериально-диатомовой пленки, с большей или меньшей интенсивностью происходит в течение всего года, и может предшествовать, происходить одновременно и даже отставать от оседания личинок макрообрастателей. Осевшие в результате адсорбции клетки микроорганизмов затем прикрепляются к поверхности – субстрату биологическим путем – с помощью выделяемого ими слизистого или клеящего вещества. Сила сцепления бактерий и диатомовых даже с гладкой стеклянной поверхностью значительна.

Способность морских бактерий повреждать пленкообразующую основу красок, а также различные органические материалы, имеют большое значение.

7.4 Использование ультразвука

Широкое использование ультразвука во многих областях науки, техники, медицины, промышленности не могло остаться вне внимания исследователей, связанных с проблемой обрастания.

Первые попытки исследовать биологическое действие ультразвука на морские организмы начаты в ИнБЮМе в 1949 году с использованием для этой цели медицинской аппаратуры. Однако слабое терапевтическое действие не могло обеспечить успех экспериментов, но наметило дальнейшие пути исследований.

Исследование ультразвуковых волн в ряде областей связано с их способностью вызывать мгновенные разрывы животных и растительных клеток и структур.

Однако это происходит лишь тогда, когда интенсивность колебаний достаточна для образования кавитационных пузырьков в озвучиваемой жидкости.

Механизм воздействия ультразвуковых волн является функцией многих причин и в первую очередь интенсивности и частоты колебаний, чувствительности организма, его вида, возраста, стадии развития и т.д.

Ультразвуковые колебания могут вызвать смерть организма, связанную с разрывом тела или другими заметными внутренними или внешними повреждениями, либо, не сопровождаясь внешними морфологическими изменениями, воздействуют лишь на нервную систему или вызывают какие-то внутриклеточные сдвиги физико-химического порядка при сохранности оболочки клетки.

Установлено, что под действием ультразвуковых волн происходит «расшатывание» внутриклеточных комплексов, что приводит к повышению активности некоторых ферментов и увеличению выхода других биологически активных веществ.

Многообразие проявления биологического действия ультразвуковых волн определяется не только их частотой и интенсивностью, значительную роль здесь играют структура и строение живого организма, его функциональное состояние.

Ультразвуковой метод защиты от обрастания принципиально отличен от общепринятых химических методов, при которых происходит более или менее быстрое отравление организма, либо в результате очень высокой концентрации токсинов, создаваемой необрастаемой краской, либо, главным образом за счет постепенного накопления в теле прикрепляющихся личинок-обрастателей, таких концентрированных ядов, которые приводят к летальному эффекту.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что понимают под термином «обрастание». Способы защиты от обрастания.
2. Какие особенности обрастания в Черном море.
3. Чем определяется эффективность необрастаемых красок.
4. Назовите основные требования к стендовым испытаниям эффективности противообрастаемых средств.
5. Механизм воздействия ультразвуковых волн на организмы – обрастатели.

Литература: [3; 5; 13]

ТЕМА 8: ПОВРЕЖДАЮЩИЕ БИОЦЕНОЗЫ В ВОДНОЙ СРЕДЕ. ОСНОВНЫЕ ОБРАСТАТЕЛИ. МЕХАНИЗМ ОБРАСТАНИЯ

План лекции:

- 1) *Морское и пресноводное обрастание;*
- 2) *Основные обрастатели;*
- 3) *Отношения организмов внутри сообществ. Механизм обрастания;*
- 4) *Экология и распределение обрастателей;*
- 5) *Характеристика обрастателей по климатическим областям Мирового океана;*
- 6) *Качественный и количественный состав обрастаний морей СНГ.*

8.1 Морское и пресноводное обрастание

Обрастание – это сообщество животных и растений, обитающих на твердом субстрате. Обычно в нем преобладают прикрепленные организмы, а подвижные обитают среди них, используя их в качестве пищи и убежища. Обрастание антропогенных субстратов не отличается от обрастания природных. Обрастание встречается во всех водах, как морских, так и пресноводных, и на любых глубинах, где есть твердый субстрат. Однако состав воды, скорость ее движения, освещенность, загрязнение и др. факторы влияют на видовой состав обрастания. Организмы – обрастатели морей, солоноватых и пресных вод в большинстве случаев различные. Количество пищи оказывает влияние в первую очередь на обилие обрастания и меньше на его состав.

Обрастание приносит большой вред человеку тем, что оно может значительно (до 50 %) снизить скорость хода судов, усиливает коррозию металла и бетона в воде, уменьшает просвет водопроводов, подающих воду на предприятия. Обрастание свай, причалов и эстакад может на 10 – 20 см увеличить их диаметр. Поселяясь на минах, буях и др. плавучих объектах, обрастатели могут увеличивать их на массу до такой степени, что они опускаются на глубину и их действие прекращается.

Точные приборы, помещаемые в воду на длительное время, также обрастают, что отрицательно сказывается на их работе.

Обрастание неводов и сетей, стоящих в воде недели или даже дни, утяжеляет их и может приотопить; к тому же рыбаки, вытаскивая сети, ранят себе руки.

Морское обрастание делится на прибрежное, глубоководное и океаническое. прибрежное состоит из большого количества видов и имеет, как правило, большую биомассу, исчисляемую, в среднем, кг на м², а иногда и десятками, до 100 – 150 кг/м². В нем преобладают двустворчатые моллюски (митилиды, устрицы и др.), из усоногих раков – баянусы, мшанки, полихеты, гидроиды и др.

Глубоководное обрастание отличается от первого небольшим числом видов и малой биомассой, порядка десятков и сотен г/м². Однако, это на порядок и более выше, чем встречается на мягких субстратах. Здесь из усоногих преобладают Scalpallidae.

Океаническое обрастание встречается во всех океанах, кроме районов, покрытых льдом, и большинства внутренних морей. Состав обрастателей ограничен. Здесь преобладают усоногие раки из Lepadomorpha (Lepas, Conchoderma), которые составляют более 90% всего океанического обрастания, несколько видов мшанок, водорослей, крабов и полихет. Биомасса невелика, около 100 – 200 г/м², но возникает это обрастание чрезвычайно быстро.

На границе соленой и пресной вод существует солоноватоводное обрастание. Оно имеет большое значение в обрастании судов. В солоноватых водах число видов обрастателей невелико. Это представители двустворчатых моллюсков – Dreissensidae, гидроиды Cordylophora, усоногие раки – Balanus, мшанки. Биомасса может быть очень велика, т.к. реки несут много пищи для этих фильтраторов. Обрастатели на судах переносятся в другие водоемы и являются самыми широко распространенными видами.

Пресноводное обрастание обычно меньше морского и по числу видов, и по биомассе, но в некоторых случаях, когда оно представлено, например, дрейссенами, может оказывать значительное воздействие. Кроме дрейссен в пресноводном обрастании встречаются мшанки, простейшие, губки, водоросли, грибы и подвижные формы – олигохеты, личинки хирономид и ручейников. Биомасса обрастания, состоящего из дрейссен, может достигать нескольких кг/м², в остальных случаях порядка десятков – сотен г/м².

Основные обрастатели – сидячие организмы, второстепенные – подвижные. В разных условиях преобладают различные виды и группы их. Обрастатели встречаются практически во всех типах животных и ряде типов водорослей. Число видов макрообрастателей, обнаруженных на антропогенном субстрате в настоящее время составляет более 3000, а на природном – более 20 000, хотя, как говорилось выше, потенциально все вторые могут оказаться в числе первых. Особенно опасны обрастатели – эврибионты, которые распространены очень широко, дают большую биомассу и, как правило, стойкие к защите от обрастания.

8.2 Основные обрастатели

Наиболее часто в обрастании встречаются следующие группы организмов.

Бактерии встречаются всюду в обрастании. Они первыми появляются на чистой поверхности, помещенной в воду. Особенно большую роль играет бактериальная пленка вместе с низшими водорослями в начале развития обрастания. Для оседания личинок некоторых *макрообрастателей* необходимо присутствие первичной пленки, для других это безразлично. Слизистая первичная пленка, состоящая из бактерий и водорослей, может накапливать яды; иногда она содержит яда в 1000 раз больше, чем морская вода. Микроорганизмы могут использовать в пищу масляную основу лакокрасочных покрытий, разрушать покрытия своими метаболитами, способствовать выделению токсинов из основы благодаря изменению активности воды пристеночного слоя, экранировать токсины покрытий от макрообрастателей.

Грибы (Mycota) обитают не только в наземной, но и водной среде, как в пресных водоемах, так и в морях и океанах. Среди них имеются виды, участвующие в обрастании, а есть виды и группы видов, препятствующие развитию обрастания – комменсалы и паразиты таких обрастателей, как усоногие раки, устрицы, мидии, губки и др. организмы. Среди них встречаются паразиты водорослей и водных растений (зостера). Некоторые виды грибов разрушают дерево сами, а кроме того, служат пищей некоторым древоточцам.

В опытах Н.Я. Артемчук (1981) на Черном море грибы обрастали металлические конструкции и способствовали коррозии металла. На металле было выделено много видов, относящихся к классам Deteriomycetes, Ascomycetes и низшим грибам Zygomycetes. Известны случаи, когда грибы портили лакокрасочные покрытия и смазочные масла. Они также способны расщеплять нефть и нефтепродукты, делая их доступными для бактерий. Тем самым они уменьшают загрязнение воды как в пресных водоемах, так и в морях и океанах.

Таким образом, хотя грибы никогда не являются руководящими формами в обрастании, они играют определенную, довольно многообразную роль в нем, как и в других пресноводных и морских биоценозах.

Водоросли – всегда встречаются в обрастаниях как морских, так и пресноводных, если имеется достаточная степень освещенности. От количества света зависит присутствие и обилие разных групп водорослей. Так, диатомовые, зеленые и синезеленые водоросли преобладают на небольшой глубине, а красные, и, особенно, бурые встречаются глубже, доходя до глубины десятков метров. Глубина погружения их зависит от возможности проникновения солнечных лучей, на что косвенным образом влияет загрязнение воды. Обычно водоросли распределяются довольно четко очерченными поясами на любых твердых предметах. Обилие их негативно сказывается на обрастании животными, которые в тех же районах и на той же глубине преобладают в затененных местах.

Губки (Spongia) редко играют руководящую роль в обрастании антропогенных субстратов в морях и океанах, за исключением некоторых старых причалов и молов. В пресных же водах они являются одними из основных обрастателей, часто встречающихся на сваях, буях, в водоводах.

Кишечнополостные (Hydroidea) очень часто встречаются в обрастаниях, но биомасса их редко бывает велика и поэтому к руководящим эта группа не относится, если исключить обрастание рифообразующим кораллами. Гидроиды растут быстро и могут появляться через несколько дней или недель после начала заселения субстрата. В это время биомасса гидроидов может превышать биомассу других организмов. Они преобладают в морском обрастании в холодных и умеренных водах, часто встречаются на днищах судов и в водоворотах.

В тропиках гидроиды реже участвуют в обрастании, но в районах олиготрофных могут встречаться обрастания, состоящие из кораллов, растущих достаточно быстро и благодаря мощному известковому скелету, дающему большую биомассу. Однако кораллы очень чувствительны к загрязнению и в гаванях и на судах они практически не встречаются. Поэтому их нельзя отнести к обрастанию, приносящему вред человеку. Скорее наоборот, поселения человека и возникающая вокруг этих поселений эвтрофикация губят кораллы, но положительно сказываются на многих других обрастателях.

Полихеты (Polychaeta) играют значительную роль в морском обрастании, особенно сидячие (Sedentaria). Бродячие полихеты (Errantia) так же, как и другие подвижные черви – олигохеты, турбеллярии, нематоды, встречаются среди прикрепленных обрастателей, но играют небольшую роль по сравнению с ними.

Известковые домики сидячих полихет плотно прирастают к субстрату, иногда друг к другу и они могут удерживаться даже при быстром токе воды. Например, такие полихеты, как *Spirorbis borealis* и другие могут обрастать не только днище судов, но встречаются и на винтах, где скорость может быть настолько высокой, что другие организмы селиться там не могут.

Часто обитают они и в морских водоводах, на сваях, буях и других гидротехнических сооружениях. Однако полихеты редко являются руководящими формами. Правда, такое наблюдалось в Краснодарском заливе вскоре после вселения туда полихеты *Mercierella*, но через несколько лет этот вид стал там малочисленным, а в холодные годы исчезает почти полностью.

Мшанки (Bryozoa) часто встречаются в обрастании как в пресных, так и в морских водах. В пресных водах это представители немногих родов, образующие мягкие подушечки или кустики. В морях это в основном известковые мшанки, инкрустирующие тонкой известковой коркой или веточками чистые поверхности и нарастая на других обрастателях. Мшанки редко дают большую биомассу, но среди морского обрастания это одни из наиболее часто встречающихся групп. Число видов, известных сейчас из антропогенного обрастания, более 300, в действительности же их значительно больше. Мшанки часто встречаются как на судах, так и внутри водоводов. Быстрый ток воды, как и для многих других обрастателей, благоприятен для них. Важно также, что колониальность этих животных, так же как и гидроидов, благоприятна для поселения на твердом субстрате, так как из одной личинки может возникнуть большое сообщество, занимающее значительную площадь и дающее огромное количество половых продуктов. Это помогает мшанкам заселять плавник, нефтяные комочки, корабли, находящиеся в открытом океане, на которых они встречаются чаще, чем другие организмы.

Моллюски (Mollusca) почти всегда встречаются как в морском, так и в пресноводном обрастании, но это прежде всего двустворчатые моллюски (*Bivalnia*). Другие группы, например брюхоногие моллюски (*Gastropoda*), панцирные (*Logicata*) и другие, также иногда обитают среди обрастателей, но никогда не являются в нем руководящими формами.

Из двустворчатых моллюсков обрастателями являются далеко не все, а только те, которые могут плотно прикрепляться к субстрату биссусом, такие, например, как мидии (*Mytilidae*), или прирастать к нему, как устрицы (*Ostrea*).

Обрастание двустворчатыми моллюсками развивается позже развития быстрорастущих обрастателей (водорослей, гидроидов, мшанок, усоногих раков). Обычно только в многолетнем обрастании преобладают эти организмы. Но тогда образуется мощное обрастание толщиной до 10 см и даже больше, которое может давать биомассу часто до 100 кг/м².

Моллюски, прикрепляющиеся биссусом, не выдерживают очень сильного тока воды и обитают в основном в кормовой части судов. Прирастающие моллюски (некоторые устрицы) предпочитают места с быстрым током воды в природе и могут обитать и в носовой части корпуса. Но, как правило, устрицы сильнее, чем мидии, чувствительны к загрязнению, и поэтому реже встречаются в обрастании судов.

Двустворчатые морские моллюски и некоторые пресноводные (например, *Dreissena*) в развитии проходят стадию свободноплавающей личинки (велигер). Личинка некоторое время плавает в воде, а затем прикрепляется, чаще к шероховатой поверхности. Рост двухстворчатого моллюска довольно медленный, поэтому они, как правило, преобладают в заключительной стадии обрастания.

Стратегия этих организмов заключается в том, что они при любых условиях сохраняют способность к оседанию.

В морях из двухстворчатых моллюсков особенно большое значение в обрастании имеют *Mytilus edulis* (северные и дальневосточные моря), *M. galloprovincialis*, *Mytilaster lineatus* и *Ostrea edulis* (южные моря).

Митилиды и устрицы в обрастаниях могут давать биомассу свыше 100 кг/м². На днищах судов они встречаются чаще в районе кормы, и почти никогда не бывают в носовой части судна. Зато в морских *водоводах*, на сваях причалов, буях двустворчатые моллюски могут образовывать «шубу» толщиной в десятки сантиметров и вытесняют почти всех других обрастателей.

Ракообразные (Crustacea) почти всегда встречается в морском обрастании. Но если подвижные раки (*Amphipoda*, *Decapoda*, *Ostracoda*, *Isopoda* и др.) и попадают в нем, то, как правило, в небольшом количестве. Исключением являются корофниды, которые в некоторых условиях, например, при быстром течении и при обилии детрита, могут играть и руководящую роль.

Одной из основных групп в обрастании являются усоногие раки (*Cirripedia*). Они появляются в обрастании через одну – две недели и уступают, но не всегда, первенствующее положение моллюскам обычно не раньше, чем через 1 – 2 года. Хотя в некоторых тропических морях смена баянусов моллюсками может происходить значительно быстрее.

Особенно большое значение усоногие раки имеют в обрастании судов, т.к. не смываются током воды, и те виды, которые встречаются в обрастании, как правило, эврибионты. Они длительное время переносят загрязнение, опреснение и другие неблагоприятные факторы. Некоторые виды (*Balanus amphitrite*, *B. improvisus*) первыми садятся на поверхности, защищенные ядовитыми покрытиями.

Из усоногих раков в морях СНГ особенно важное значение имеют *Balanus improvisus*, *B. crenatus*, *Lepas anatifera*, *L. Beringiana*).

Все усоногие раки имеют несколько стадий свободноплавающих личинок - наутилусов и одну ползающую личинку – ципрису.

Насекомые (Insecta) встречаются в обрастании только в пресных водах и очень ограничено в солоноватых. Это личинки хирономид, эфемерид, симилид и ручейников. Количество экземпляров этих насекомых может быть велико, но основу обрастания чаще всего составляют водоросли, хотя на затопленных деревьях с корой отношение биомассы хирономид к общей биомассе эпифауны может достигать до 99 %.

Иглокожие (Echinodermata) встречаются только в морях и океанах на стационарных установках в густом обрастании.

В основном, это морские звезды (Asteroidea), редко представители других классов этого типа. Иглокожие регулируют численность основных обрастателей и в этом качестве даже могут полезны. Так, морские звезды выедают двусторчатых моллюсков, морские ежи – водоросли.

Оболочники (Tunicata) часто встречаются в полносоленых водах в обрастании стационарных объектов, реже в обрастании судов в морях и океанах. Одиночные асцидии играют небольшую роль в обрастании, но колониальные нередко могут покрывать значительные площади на судах, буях, сваях и различных подводных сооружениях.

8.3 Отношения организмов внутри сообществ. Механизм обрастания

Несмотря на то, что состав обрастания варьирует в зависимости от условий среды, развитие его подчиняется определенным законам. Вначале всегда образуется первичная пленка, состоящая из бактерий и низших водорослей.

Развитие первичной пленки происходит в 2 этапа: сначала поселяются бактерии при малом количестве диатомовых водорослей, затем формируется пленка из диатомовых водорослей. Количество бактерий зависит, по данным Ю.А.Горбенко (1977г.) от количества живых и мертвых диатомовых планктона, продуктами разложения и метаболитами, которыми они питаются, а также от величины растворенного органического вещества (РОВ) окружающей воды.

Опыты показали, что большинство обрастателей (балаюсы и др.) предпочитают оседать на поверхность, покрытую пленкой. Лишь некоторые организмы чаще оседают на поверхность без пленки. В некоторых случаях органическая пленка неодинаково влияла на оседание на стекле и пластике. Что касается защиты пленкой обрастания от ядов, то оказалось, что тонкая слизистая пленка накапливает яд и препятствует поселению макрообрастателей, тогда как толстая пленка мешает проникновению ядов и уменьшает их противообрастающее действие.

Отношения организмов внутри сообщества обрастания чрезвычайно сложные. Даже в сообществе в Азовском море между видами обрастателей было установлено около 40 топических (место-) и трофических связей. В Черном море для балаюсов были выявлены прямые зависимости

От мидий, мшанок, гетеротрофных бактерий перифитона, мертвых диатомовых и рН взвеси, РОВ, трансформированного перифитоном, карбонатов в перифитоне, живых диатомовых в планктоне, аллохтонных углеводов, HCO_3 и CO_2 и обратные зависимости от гетеротрофных бактерий и карбонатов взвеси. Для гидроидов – прямые зависимости от мертвых диатомовых планктона и рН воды, карбонатов на взвеси, O_2 , t^0 и CO_2 воды и обратная зависимость от РОВ и CO_2 воды.

Неоднократно отмечалось как облегчение оседания последующих обрастателей первыми, так и подавление первых последними. Например, гидроид Tubularia сгосса облегчает оседание мидии, тогда как мидия подавляется другими обрастателями. Гидроиды подавляют балаюсов; губки – балаюсов, асцидий, мшанок; гидроид Obelia отрицательно воздействует на балаюсов, но косвенно положительным образом – на асцидий, которые конкурируют с балаюсами. Было выявлено также, что на жестких грунтах колониальные виды побеждают одиночные в борьбе за место, т.к. их неограниченный пост позволяет непрерывно расширять площадь занятого субстрата, и кроме того, они менее чувствительны к эпibiонтам. Опыты с нарастанием колониальных животных (мшанок) друг на друга показали, что ни один вид не был победителем. Результаты взаимодействия одних и тех же видов между собой оказывались неодинаковыми при разных условиях.

Кроме конкуренции между видами большое значение имеет хищничество. Многие подвижные организмы обрастания поедают сидячих и вызывают изменение развития сообщества.

Одними из наиболее опасных для обрастателей организмов являются голожаберные моллюски, которые встречаются во многих прибрежных океанических обрастаниях. В Азовском море один голожаберный моллюск *Stiliger bellulus* поедает за сутки 100 взрослых гидрантов. В южной части Англии мелкие виды голожаберников выедают обрастания на ранних стадиях, а крупные виды, в основном дориды (голожаберники) – на поздних стадиях сукцессии. Иглокожие – морские ежи и звезды, а также крабы нередко вызывают значительное опустошение среди прибрежного обрастания. При этом

в защищенных от прибоев местах, хищников и растительноядных организмов бывает значительно больше и состав обрастания может существенно меняться.

И в открытом океане, и в прибрежных районах всегда можно видеть стаи рыб и отдельных рыбешек, выедающих обрастание. Больше всего они используют в пищу подвижные виды – полихет, крабов, гаммарид и др., но некоторые питаются и сидячими формами, например мелкими мидиями, иные поедают даже баянусов. Они не только значительно уменьшают численность обрастаний, но нередко меняют и процесс сукцессии. Так, при отсутствии выедания рыбами в районе Австралии опытовые пластины занимались асцидией *Penicipella vittiger*, которая подавляла развитие других асцидий, мшанок и губок.

По мере старения сообщества количество видов уменьшается. Индексом стадии развития и зрелости сообщества может служить отношение R/V (дыхание/биомасса). Однако скорость изменения индекса снижается в ходе сукцессии и через 8 месяцев больше не отражает степени развития обрастания.

Первые фазы развития сообщества обрастания контролируются абиотическими факторами, а последние фазы – биотическими. Это не всегда так. Чаще всего шторма, деятельность человека, хищники и др. факторы полностью или частично разрушают обрастание, и заселение начинается с начальной фазы или промежуточной фазы.

Борьба за доминирование в обрастании может быть успешной только тогда, если вид обладает постоянным высоким темпом пополнения, способностью заселять ранее занятый субстрат и быть многолетним., а также обладать способностью предотвращать последующие вторжения.

Наблюдение Дж. Османа (1977г.) показывают, что на глубине более 10 м на скалах население стабильное с меньшим числом доминирующих видов, чем на малых глубинах, где сообщество часто разрушается. Это показывают и данные Г. Лютера (1977г.), который установил, что *абиотические* факторы действуют на обрастание в верхних горизонтах литорали, тогда как в нижних горизонтах литорали и сублиторали преобладает действие *биотических* факторов. Правда, последние также изменяют течение развития биоценозов обрастания, причем настолько, что в обрастании не наблюдается постоянной устойчивости. При этом первые поселенцы обычно ограничивали или совсем исключали развитие других видов. При отмирании организмов их место занимали другие виды. Смена одних групп организмов другими в сообществах происходит, и в конце развития образуются характерные сообщества, не обязательно состоящие из определенных видов, но обязательно обладающие характерными свойствами – многолетним развитием и способностью отражать нашествия остальных обрастателей. Такими свойствами обладают *мидии*, *устрицы*, некоторые асцидии и губки. По-видимому, к ним можно отнести также рифообразующие шестилучевые кораллы.

Свойства самого субстрата могут влиять в том случае, если субстрат живой. Так, на водорослях селятся некоторые мшанки и полихеты, но отсутствуют баянусы. Связано это с выделением водорослями эктокринов, препятствующих поселению организмов, кроме некоторых видов, приспособившихся к ним. *Solidobalanus herperius* селится на моллюсках, крабах, а не на мертвом субстрате.

Хотя больших различий в обрастании неживого твердого субстрата нет, но шероховатый субстрат обрастает быстрее, чем гладкий, т.к. к нему охотнее прикрепляются личинки.

Для всех обрастателей, в том числе и усонюгих раков, большое значение имеет эксплуатационный фактор. Судно, много ходящее по морям, имеет другой состав и количество обрастания, чем судно, большую часть времени проводящее на стоянке. Усонугие раки встречаются даже на самых быстроходных судах, на которых исчезают почти все обрастатели, их количество в таком случае невелико. Больше баянусов на судах, ходящих умеренно, не слишком быстроходных, но достаточно много ходящих. На таких судах исчезают конкуренты вроде мидий, которые смываются током воды, но судно предоставляет возможность лучшего питания для баянусов и лепасов, которым требуется много пищи.

В морских водоводах баянусы также играют важную роль. Так, в г. Мариуполе на Азовском море баянусы на водоводах составляли около половины всего обрастания, сырая масса которого доходила до 12 кг/м². На буюх, сваях причалов баянусы встречаются в большом количестве, являясь почти всегда одной из основных групп обрастания.

Как и на судах, основное значение в этих случаях играет ток воды, омывающий обрастания.

Обильное поселение сидячих организмов связаны с их особенностью оседать стайно. Эти животные предпочитают оседать возле ранее осевших особей своего вида, что чрезвычайно важно для

вида, поскольку появляется возможность перекрестного оплодотворения. Механизм этого явления заключается в привлечении личинок «веществом стайности», выделяющимся тканями осевшей особи. Им является протеин кутикулы – артроподин. Это вещество циприсовидная личинка обнаруживает тактильно, ползая по субстрату в поисках подходящего места для прикрепления и наталкиваясь на уже осевших особей своего вида. Циприсовидные личинки *Semibalanus balanoides* быстро оседали в присутствии взрослых особей, тогда как в воде без них личинки жили больше месяца, не претерпевая метаморфоза.

Стайность при оседании усоногих раков позволяет им быстро создавать обширные поселения, что особенно важно, т.к. обрастание судов и гидротехнических сооружений развивается чрезвычайно быстро.

Другим важным свойством обрастателей является быстрота роста и начала размножения, особенно в теплых водах, и огромное количество отрождаемых личинок, часто связанное с неоднократным, иногда более 20, выметом личинок.

Так, *Balanus pacificus* в Южной Калифорнии дает в год в среднем 28 пометов, число экземпляров в кладке 15000, а в год – 420000 наутилусов. Как правило, на корпусах судов гидротехнических сооружений и внутри водоводов усонogie раки растут значительно быстрее и достигают больших биомасс, чем на природных субстратах. Обрастание на гидротехнических сооружениях достигает более 100 кг/м² и на 1 – 2 порядка превышает обрастание донных субстратов. Связано это, прежде всего с тем, что быстрый ток воды, омывающий судно или идущий внутри водоводов, дает обильное питание, и приток приносит много кислорода, что позволяет усоногим ракам увеличивать скорость роста, быстрее начинать размножение и увеличивать количество половых продуктов.

8.4 Экология и распределение обрастателей

Преобладание разных видов обрастателей в биоценозе зависит от следующих основных причин:

- 1) экологических условий;
- 2) продолжительности нахождения субстрата в воде;
- 3) свойства субстрата;
- 4) эксплуатационного фактора.

Экологические условия для основных обрастателей значат несколько меньше, чем для необрастающих животных, так как большинство обрастателей – эврибионты.

Они легко переносят значительные изменения t^0 , ‰, загрязнения и встречаются почти в любых условиях в морях и океанах.

Эврибионтность основных обрастателей, таких, как *Balanus amphitrite*, *B. improvisus*, *B. crenatus* и некоторых других позволила им не только широко расселиться в Мировом океане, но и дала возможность противостоять многим способам борьбы с обрастанием, таким, как большинство ядовитых красок, нагреванию воды и др. Они переносят их лучше, чем многие другие обрастатели, за исключением микроорганизмов. По этой причине борьба с усоногими раками сложнее, чем с большинством других организмов.

От продолжительности нахождения в воде субстрата зависит сукцессия обрастания. Скорость и направление развития биоценоза связаны с началом развития, доминирования определенных личинок обрастателей, воздействия на разных стадиях развития абиотических факторов.

Однако грубая схема сукцессии выглядит следующим образом:

I фаза – первичная пленка (бактерии + диатомовые водоросли + простейшие), длительность – от нескольких дней до 2 – 3 недель.

II фаза – быстро растущие, чаще колониальные обрастатели (усонogie раки, мшанки, актинии, полихеты);

III фаза – медленно растущие беспозвоночные (мидии, устрицы, асцидии).

8.5 Характеристика обрастателей по климатическим областям Мирового океана

По распределению обрастателей в морской среде грубо можно выделить три области, отличающиеся не только по фауне и флоре, но и по биомассе, и скорости развития обрастания. Такое деление позволяет применять более или менее действенные средства защиты судов и защиту в водоводах в определенные сезоны.

I. Холодноводная область, куда входят районы Арктики и Антарктики, которые в отношении обрастания могут быть охарактеризованы как наиболее бедные. Число видов здесь сравнительно невелико, срок оседания личинок и роста животных короткий. Руководящими формами обрастания в Арктике являются *Balanus crenatus* и *B. balanus*, некоторые виды гидроидов и мшанок. Практического значения обрастания этих районов почти не имеют.

II. Умеренная область с бореальным и нотальным районами значительно богаче по числу видов животных и растений, встречающихся в обрастаниях. Руководящие формы обрастания *Balanus improvisus*, *B. eburneus*, мидии, гидроиды, мшанки, асцидии. Сезон оседания и роста организмов длится 6 – 10 месяцев. Биомасса обрастания велика – в некоторых случаях она превышает 100 кг/м² за несколько лет развития. Суда, входящие в эти районы, всегда нуждаются в защите. Морские водоводы необходимо защищать большую часть года.

III. Тепловодная область с тропическими и субтропическими районами характеризуется огромным числом видов обрастателей и высоким темпом их роста. Оседание личинок продолжается в течение всего года. Руководящие формы – *Balanus amphitrite*, *B. tintinnabulum*, устрицы, асцидии, трубчатые черви, мшанки. Наиболее характерны для этих вод кораллы, но они не встречаются в опресненных и загрязненных местах, т.е., где обрастание является наибольшей помехой для деятельности человека. Биомасса обрастания может быть исключительно большой, особенно там, где преобладают кораллы. Но довольно часто биомасса обрастания оказывается даже меньшей, чем в бореальных и нотальных районах. В целом же тропическая область наиболее опасна в отношении обрастания, поэтому суда, заходящие в тропики, нуждаются в усиленной защите. Противообрастающие краски готовятся для таких судов специально и содержат больше ядовитого начала. Гидротехнические сооружения, в том числе и морские водоводы, нуждаются здесь в круглогодичной усиленной защите.

Разумеется, в каждой из этих областей существует много более мелких подразделений, связанных как с условиями, так и с видовым составом обрастателей. Но последнее имеет все меньшее и меньшее значение, так как руководящие формы обрастания распространяются все шире в Мировом океане. Особенно своеобразны в настоящее время обрастания Индийского океана, а также западного побережья Южной Америки. Но и эти отличия, возможно, с течением времени сотрутся.

Выделение более дробных подразделений встречает большие трудности, главная из которых, помимо слабой изученности некоторых районов, состоит в том, что обрастания судов могут сильно отличаться от обрастаний стационарных объектов, а стационарные сооружения в портах обрастают иначе, чем в открытом океане.

Изучая распределение организмов обрастателей на буйках вдоль атлантического и тихоокеанского побережья Америки, удалось показать, что руководящие виды постепенно сменяют один другой, часть форм заходит в смежные области. Зато сочетания таких видов характерны для каждой области.

Океаническое обрастание распространено несколько иначе. Оно более равномерное, состоит из немногих видов, главным образом, стебельчатых усоногих раков родов *Lepas* и *Conchoderma*. В их зарослях встречаются полихеты, мелкие крабы, амфиподы, но их обычно значительно меньше, чем лепатид.

Распределение океанического обрастания связано, прежде всего, с поверхностными течениями. Кроме того, значительное влияние на него оказывают t^0 и ‰ воды. Оно полностью отсутствует там, где поверхность воды большую часть года покрыта льдом. Чем холоднее вода, тем реже встречается океаническое обрастание и особи, как правило, мельче. В опресненных водах оно обычно не встречается.

Океаническое обрастание достигает своего расцвета в тропических и субтропических солесных водах. Правда, течения и суда нередко заносят лепатид в моря, им не свойственные, например, в Берингово или Черное, но там они быстро погибают.

В целом, распространение океанического обрастания совпадает с грубой схемой распространения прибрежного обрастания. Отличие только в том, что одно встречается у берегов, другое – в открытых водах. Кроме того, вся Арктика и наиболее холодная часть Антарктики свободны от океанического обрастания.

8.6 Качественный и количественный состав обрастаний морей СНГ

Большая протяженность в широтном и долготном направлении стран СНГ обуславливает большое разнообразие климатических условий; кроме того, большее или меньшее изолирование внутренних морей от океана и их пониженная соленость воды также сказывается на качественном и количественном составе обрастаний различных морей СНГ. Тем не менее, эти моря можно грубо классифицировать как по составу обрастания, так и по его обилию.

По составу обрастания моря СНГ можно разделить на четыре группы:

1. Арктические моря – море Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское. Все характеризуются полным или почти полным отсутствием литоральной фауны. Из сублиторальной фауны основные компоненты обрастания – усоногие раки *Balanus crenatus*, *B. balanus*, моллюск *Hiatella arctica*, гидроиды, мшанки, губки и асцидии. Для них характерны медленный рост обрастателей и короткий сезон оседания личинок. Практического значения обрастание в настоящее время не имеет.

2. Бореально-арктические моря – Баренцево, Белое, Берингово, Охотское и Северная часть Японского. Руководящие формы обрастания одинаковы – *Balanus crenatus*, *Semibalanus balanoides*, *Mytilus edulis*. Обрастание довольно значительное, но его развитие происходит сравнительно медленно, сезон оседания личинок длится от 6 до 9 месяцев.

3. Бореальные, солонатоводные моря – Балтийское, Черное, Азовское и каспийское. Руководящие формы обрастания – *Balanus improvisus* и *B. eburneus*, мидии. Биомасса обрастания значительна везде, кроме сильно опресненных районов. Высокий темп роста обрастателей, оседание личинок происходит в течение большей части года, иногда почти весь год.

4. Субтропические участки морей, в которых можно выделить южную часть Японского моря и район Батуми в Черном море. Для них характерно преобладание в обрастаниях сидячих полихет и мшанок, меньшее значение усоногих раков. Биомасса обрастаний сравнительно невелика. Темп роста обрастателей очень высокий, оседание организмов происходит почти весь год, в некоторых местах – круглый год.

Наиболее сильно и быстро обрастают суда в Черном и Японском море. И хотя по названной номенклатуре эти моря относятся к разным группам из-за видовых различий обрастателей, по обилию обрастаний они примерно равны, и суда, ходящие в этих морях, прежде всего нуждаются в защите.

Сравнение обрастания в морях СНГ с обрастанием в морях других стран, лежащих в тех же географических областях, не дают больших различий, ни количественных, ни качественных. Обрастания Средиземноморской подобласти Черного, Азовского и Каспийского морей сходны с обрастаниями Средиземного моря, хотя, из-за обилия пищи в этих морях, обрастание тут дает большую биомассу.

Характер обрастания в южных частях Японского и Черного морей близок к обрастаниям субтропической области обилием сидячих полихет и мшанок. Такое сходство даже отдаленных областей, имеющих более или менее близкие гидрологические условия, можно объяснить тем, что почти все руководящие формы обрастателей распространены очень широко и именно они дают основной фон в обрастании.

В морях первой группы нет необходимости защищать суда от обрастания, кроме особых случаев, когда на длительное время опускают в воду точные приборы. Против обрастания в морях второй группы защита необходима в течение 6 – 7 месяцев, а против обрастаний в морях третьей и четвертой групп – в течение 8 – 12 месяцев.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие виды морского обрастания Вам известны.

2. Какие группы организмов наиболее часто встречаются в обрастаниях.
3. Назовите основных представителей организмов – обрастателей из моллюсков и ракообразных.
4. Опишите механизм обрастания.
5. Роль абиотических и биотических факторов в процессе обрастания.
6. От каких основных причин зависит преобладание разных видов обрастателей.
7. Назовите представителей организмов – обрастателей разных климатических зон Мирового океана.
8. Организмы – обрастатели морей СНГ.

Литература: [3; 5; 13]

ТЕМА 9: МОРСКИЕ СВЕРЛИЛЬЩИКИ – ДРЕВОТОЧЦЫ И КАМНЕТОЧЦЫ. ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛИ, ОСОБЕННОСТИ ИХ БИОЛОГИИ

План лекции:

- 1) *История изучения;*
- 2) *Строение, биология представителей сем Teredinidae и Pholadidae (Bivalvia).*
- 3) *Древоточцы – представители других таксономических групп;*
- 4) *Основные представители древоточцев морей СНГ.*
- 5) *Разрушение каменных сооружений и бетона камнеточцами.*
- 6) *Камнеточцы морей СНГ.*

9.1 История изучения

Древоточцы встречаются почти во всех морях и океанах, кроме самых высокоширотных. Очень небольшое число видов в Австралии встречается в пресных водах. В теплых морях они представляют настоящее бедствие. В США они ежегодно наносят убыток в 200 млн. долларов.

О древоточцах известно очень давно. Уже во времена Марко Поло для защиты судов от древоточцев арабы использовали суда с многослойными деревянными обшивками, которые по мере разрушения накладывали одна на другую. В 1200 году флот крестоносцев был сильно поврежден «корабельным червем» - тередо. Позднее встречаются сотни упоминаний о вреде, причиняемом древоточцами, в том числе и в русских морях. В древние времена тередо называли «ужасом мореплавателей», впрочем, они иногда играли и положительную роль. Так, во время осады Севастополя в 1854 – 1855 г.г. корабли англичан и французов были сильно повреждены древоточцами.

В России первую работу о древоточцах написал более 250 лет назад анонимный автор. Называлась она «О морских червях», и в ней приводились рисунки и описания тередо, а также вред, причиняемый ими, способы борьбы.

М.В. Ломоносов в 1752г. издал «Проект рапорта о морских червях». Затем в этой области работали академик Паллас и ряд других ученых.

Планомерное исследование древоточцев было начато в 30-е годы XX столетия под руководством академика Л.А.Зенкевича (1934г.), много сделали Г.А. Булатов (1932, 1941), П.К. Божич (1939г.), Р.К. Пастернак (1957, 1960г.) и другие.

9.2 Строение, биология представителей сем. Teredinidae и Pholadidae (Bivalvia)

К морским древоточцам относятся прежде всего двустворчатые моллюски сем. Teredinidae и Pholadidae (Bivalvia), обитающие в разных районах. Особенно много их в тропической области.

Сем. Teredinidae включает наиболее опасных древоточцев, к которым относятся виды 15 родов подсемейств Teredinidae и Bankiinae.

Один из видов тередо имеет удлинённую червеобразную форму тела, небольшую раковину, расположенную на передней стороне. Две створки соединены связками. Между створками помещается нога, которая служит для прикрепления и осзания, кроме того она помогает при сверлении, закрепляя моллюска в определенном положении. Раковина покрыта зубчиками. Передние зубчики более крупные, клиновидные, направлены в стороны и назад. Сокращением задней приводящей мышцы передние края створок расходятся в стороны и скоблят дерево. Число движений в минуту 8 – 12. передние зубчики распиливают ход, а задние его расширяют.

Биология. Опилки поступают в пищевод. Передний желудок с многочисленными впячиваниями – это железы, содержащие целлюлолитические ферменты (целлюлозу и целлюбиазу), которые переваривают древесину. На теле имеются вводной и выводной сифоны, а также парные известковые образования – палетки, закрывающие входное отверстие в дереве. У Teredo navalis палетки ложковидные. Ход тередо в дереве выстлан известью. Ходы почти никогда не перекрещиваются. У большинства отмечен протандрический гермафродитизм, т.е. сначала они функционируют как самцы, а потом как самки. Некоторые – одновременные гермафродиты. Оплодотворение наружное или внутреннее. Из яйца развивается трохофора, затем личинка велигер, подобная личинкам других двустворчатых моллюсков.

Личинка плавает в воде 2-3 недели и постепенно превращается в великонху, которая оседает на дереве. Очевидно, личинки обладают химическими рецепторами, т.к. экстракт из дерева также вызывает их оседания.

Число личинок у одной особи Teredo navalis 0,5 – 1,5 млн., размножаются они в теплых морях 3 – 4 раза в год, таким образом, одна особь способна отродить до 6 млн. личинок в год, которые разносятся течениями вдоль берегов, но могут также переноситься через океаны. Осев на дерево, личинка покрывается чехликом, под защитой которого она начинает вбуравливаться в дерево. Входное отверстие около 0,3 мм. Существенно оно не увеличивается и в дальнейшем, хотя в толще дерева моллюск растет довольно быстро. Скорость роста зависит от вида и t^0 воды, но почти всегда она велика. Так в Черном море Teredo navalis через 4 месяца достигает длины 12 – 14 см, через год – до 35 см.

Большинство древоотцев обитает на малых глубинах, но представители рода Xylophaga могут жить и в батии, и в абиссали (найдены до глубины более 7000м). Ксилофаги в основном используют дерево как субстрат, но не как пищу. Они встречаются и в бамбуке, и в кокосовых орехах. Находили их также и в изоляции подводных кабелей связи, которую они могут повреждать. Эти двустворчатые моллюски относятся к сем. Pholadica. Размеры их не более 2 – 3 см. Тело почти полностью покрыто раковиной, передняя часть которой имеет клюв и скат с многочисленными зубчиками, служащими для сверления. Имеются сифоны, развитые в разной степени у различных видов. Как и терединидам, этой группе моллюсков свойственен гермафродитизм.

У них, по-видимому, отсутствует планктонная стадия или она очень короткая. Молодь ползает по грунту, часто прикрепляется на взрослых особей. У некоторых видов найдена целлюлаза. Питаются они отчасти деревом, а также планктоном и детритом.

Для ксилофаг характерна высокая частота популяций, быстрые темпы размножения и роста, раннее созревание, легкость расселения – все это приспособления вида к жизни на глубинах.

К роду Zachsisia (Bivalvia) относятся только два вида: (Z. Zenkewitchi и Z. lignani), живущие в корневищах морской травы филоспадикса. Вреду дереву они не причиняют, но повреждают морскую траву, дающую огромное количество детрита, которым питаются многие организмы. Внешне похожи на тередо, но раковина тонкая. Размножаются они с помощью карликовых самцов, обитающих в мантийных карманах самки (до 80 экземпляров самцов в одной самке).

Род Bankia близок к Teredo и внешне представители этих двух родов схожи между собой, отличаюсь более крупными размерами и палетками в форме колоска. Bankia setacea преобладает в Японском море у побережья Приморья. Южнее она встречается редко и здесь преобладает Teredo navalis.

Из сем. Pholadidae облигатными древоотцами являются представители подсемейства Xylophaginae и Martesiinae (Martesia и Lingopholas).

Фолаиды точат дерево и камни, поэтому они разбираются в разделе «камнеточцы».

9.3 Древооточцы – представители других таксономических групп

К морским древооточцам относятся некоторые ракообразные из сем. Limnoriidae, Sphaeromiidae и Corallanidae из отряда Isopoda и Cheluridae из отряда Amphipoda.

В настоящее время насчитывается более 20 видов и подвидов рода Limnoria и вид рода Paralimnoria, распространенных по всему Мировому океану. Они делают многочисленные небольшие ходы параллельно поверхности дерева. Разрушение более медленное, чем у моллюсков, но все же нередко ощутимое – диаметр свай может уменьшиться за год до 1,5 см.

Лимнорииды – мелкие рачки, в среднем до 2 мм в длину. Развитие яиц происходит в выводковой камере самки, которая может откладывать яйца по 12 раз в год. Питаются деревом и обитающими в нем грибами.

Из Sphaeromiidae в наших морях обитает Sphaeroma oregonensis. Она живет в ходах лимнориид и может расширять их, но сама, по-видимому, ходов не делает.

Cheluridae также живет в ходах лимнориид и большого вреда дереву не причиняет, хотя и считается сверлильщиком.

Corallana обитают на литорали тропических морей, в древесине мангров, в морских и солоноватых водах.

Наряду с терединидами и лимноридами, полихета Polydora ciliata делает ходы в поверхностных слоях древесины и иногда может вызывать значительные разрушения. Пробуравливание хода в дереве осуществляется, по-видимому, путем абразивного действия, выполняемого крепкими щетинками.

9.4 Основные представители древооточцев морей СНГ

Наибольшее заражение древооточцами наблюдается в Черном и Японском морях. В Черном море обитают три вида Teredo: T. navalis, T. utriculus, Lirodus pedicellata. Особенно многочислен первый вид. Встречаются здесь и ракообразные Limnoria и Chelura, но там, где тередо, лимнория и хелюра обитают вместе, дерево разрушается меньше, чем там, где живет только тередо, т.к. ходы рачков не дают поселиться терединидам. Особенно многочисленны древооточцы у Кавказского побережья. Здесь обшивка судна может быть источена за три летних месяца, а деревянная свая – за 1 – 2 года. Количество тередо, осевших за летний сезон на 1 см² может быть около 70. на Крымском берегу число оседаний за лето не больше 10 – 13 на 1 см², что связано с меньшей соленостью и более низкими t⁰ воды.

Для терединид условия жизни в Черном море более благоприятны, чем во многих других морях. На это указывают не только их изобилие, но и, как показано Р.К. Пастернак (1957г.) способы размножения. Если в Адриатическом море T. navalis и Lirodus pedicellata выращивают личинок до стадии великонха, то в Черном море они выпускают их на более ранней стадии – велигера.

Азовское море было свободно от древооточцев. Это объяснялось низкой соленостью, средняя многолетняя соленость которого 10,5 ‰. С зарегулированием стока Дона гидрологические условия изменились. Соленость достигла 14 ‰. В 50-х годах Р.К. Пастернак провела исследования экологии T. navalis и выяснила, что те условия, которые возникнут даже при небольшом осолонении Азовского моря будут благоприятны для тередо, т.к. он может существовать уже при солености в 12 ‰. Прогноз полностью оправдан. В 1958 – 1959г.г. П.И. Рябчиков и его сотрудники обнаружили терединид двух видов в Азовском море. T. navalis был найден вдоль всего южного побережья моря. Позднее он широко расселился по всему северному побережью.

Н.Н. Солдатова и др. (1967 г.) показали, что рост тередо в Азовском море значительно выше, чем в Черном. У 40-дневных моллюсков из Азовского моря масса на 70 % больше, чем у черноморских. Вероятно, это вызвано обилием планктона в Азовском море. В настоящее время соленость в море стабилизировалась, но если произойдет ее дальнейшее повышение, то возникнут еще более благоприятные условия для терединид и расширение их ареала в этом море.

Баренцево море считалось свободным от древоточцев, кроме широко распространенных рачков *Limnoria*, не встречающихся только в восточном Мурмане. Разрушение дерева лимнорией медленнее, но защита от этого древоточца необходима.

Японское море характеризуется сильным поражением древесины, которое вызывают *Bankia setacea*, обитающая севернее мыса Поворотного, и *T. navalis*, обитающий южнее этого мыса. *Bankia* – крупная форма, достигающая 70 – 80 см в длину. Размножается при 7 – 12 °С. Распространена в Северной Пацифике. Очень большие разрушения причиняет у Западных берегов Северной Америки, где она распространена до залива Аляска.

Встречается в Японском море, кроме южной части.

И тередо и банкия в различных районах моря и в разные годы могут быть более или менее опасны. В одних местах они разрушают сваи за 1 – 2 года, в других сваи могут стоять до 10 лет.

В балтийском море древоточцы встречаются только в проливах, ведущих в Балтику. Здесь обнаружен *T. navalis*, и разрушения, причиняемые им, довольно значительные. В море древоточцы могут заноситься с древесиной, жить здесь не могут.

9.5 Разрушение каменных сооружений и бетона камнеточцами

К камнеточцам относятся некоторые бактерии, водоросли, губки, усоногие раки, форониды, сипункулы, полихеты, мшанки, моллюски, морские ежи. Сверлильщики известны с палеозоя.

Одни из них протачивают ходы только в мягких породах, другие могут точить и твердые камни. Некоторые виды разрушают раковины моллюсков, усоногих раков, кораллы. Другие могут протачивать бетон, разрушая гидротехнические сооружения, а также пластические материалы (полистирен, поликарбонат, винил, акрилик). Так, ими были разрушены бетонные массивы в Панамском канале, бетонные чехлы свай в Сан-Франциско.

Колонны храма Сераписа, расположенного недалеко от Неаполя, проточены камнеточцами. Когда-то суша в этом районе опустилась, храм оказался под водой, новое поднятие суши подняло храм на поверхность, но колонны оказались поврежденными.

Двустворчатые моллюски (*Pholas*, *Martesia*, *Xylophada*) поселяются в обмотке подводного кабеля, разрушая его. При этом начинается утечка тока. Особенно это опасно для глубоководных кабелей, ремонт которых представляет большие трудности. Разрушение живых кораллов, моллюсков, усоногих раков обедняет фауну. Большие убытки приносят камнеточцы, сверлящие устриц. Для борьбы с вредителями, устриц приходится опускать в пресную воду.

Сверление может быть механическим, химическим и химико-механическим. Животные, сверлящие механически, обитают в любом субстрате, а сверлящие химически – только в известняке. Например, моллюски рода *Botula* сверлят чисто механически. Живут они в мягких, известковых породах. Животное прикрепляется биссусом, а истирание камня производит спинной поверхностью створок, которые движутся с помощью ретрактора биссуса и ретрактора ноги.

Моллюски родов *Pholas*, *Petricola* покрыты зубчиками, поворачиваясь в норке, сверлят ими стенки.

Некоторые фолადиды могут светиться, например, обитающий в Черном море *P. dactylus*. Светящаяся слизь выделяется через сифоны. С чем связано свечение этих живущих в норах животных, пока не ясно.

Усоногие раки рода *Lithothrya* имеют зубчики на табличках головы и чешуйках. По-видимому, с помощью этих зубчиков они протачивают ходы в мягких породах.

О химическом сверлении известно мало. Чаще оно сочетается с механическим. Разрушение известкового субстрата губкой *Clione* происходит так: проникают сначала отростки клеток, а затем целые клетки. Губки сверлят раковины, а также известковые субстраты, разрушая их поверхностный слой.

Мшанка *Penetrantia* выделяет фосфорные кислоты. Водоросли – фосфорную кислоту, растворяющую известняки, преобразуя углекислую известь в двууглекислую.

Сипункулиды сверлят мертвые кораллы, известняки, мангры. Твердые породы размягчаются выделениями эпидермальных желез. Механическая абразия осуществляется эпидермальными папиллами и утолщениями задних щитков.

Полихета Polydora выделяет кислоту, по-видимому, это продукт обмена.

Морские финики – моллюски рода *Lithophaga* – покрыты кожей, защищающей их от выделяемой кислоты. Они живут только в известковых породах. Лопастей переднего края мантии выделяют кислоту, разъедающую известь. Одни виды этих моллюсков сверлят без вращения, другие поворачиваются при сверлении.

Усоногие раки *Acrothoracica* сверлят отверстия в моллюсках, кораллах, известняках. Они имеют папиллы, выделяющие угольную ангидразу и щелочную фосфазу, которые размягчают субстрат, удаляемый затем зубчиками.

Некоторые морские ежи разрушают камни и скалы механически. Личинки поселяются в небольшом углублении, а после метаморфоза прибор вращает ежа в норке, иглы истирают поверхность норы, увеличивают ее размеры, позволяя животному расти. Другие ежи бурят норы с помощью игл и зубов. Наибольшая скорость бурения наблюдается у молодых ежей. Средняя скорость сверления 1 мм в месяц. Питаются ежи сине-зелеными водорослями, обитающими в породе.

9.6 Камнеточцы морей СНГ.

В Черном море камнеточцы довольно разнообразны. Здесь встречаются 8 родов сверлящих водорослей: три рода сине-зеленых, четыре – зеленых и одна – красная.

Из сверлящих губок в Черном море обычна *Clione vastitica*, разрушающая раковины устриц. Из полихет – *Polydora*. Из моллюсков-камнеточцев известны четыре вида: *Petricola lithophaga*, *Barnea candidus*, *Pholas dactylus*, *Gastrochaena dubia*.

В.Н Никитин (1951) обследовал у берегов Кавказа выходы мергелистых глин, источенных *Barnea* и *Pholas*. Оказалось, что на 1 м² было около 4000 ходов этих моллюсков. Глина, источенная камнеточцами, быстро разрушается. Размеры ходов у *Pholas* до 25 см, у *Barnea* – до 14 см, у *Petricola* – до 2 см. Фолаиды могут повреждать также дерево и бетон.

В Дальневосточных морях из камнеточцев известны моллюски *Barnea manilensis inornata*, *Penitella penita* и др. Здесь же, и в северных морях живет *Hiatella arctica*, обитающая в щелях скал и камней и делающая ходы, может быть отнесена к камнеточцам только с некоторой натяжкой.

Широкое распространение сверлящих организмов во всех морях и океанах и наличие сверлящих в целом ряде групп говорит о том, что сверление – одно из лучших приспособлений для защиты. Животные не только прячутся сами в норах, но и используют их для защиты потомства. Им удается сохранять популяцию при небольшом количестве половых продуктов. На литорали ходы защищают от волнения моря, прибоя и высыхания. Однако, сверление имеет и недостатки: лишение свободы движения, сложность нахождения подходящего субстрата, опасность зарастания ходов водорослями и животными.

Вопросы для самоконтроля:

1. Назовите основных представителей семейства терединид и фолаидид. Особенности их биологии.
2. Каких представителей древоточцев из ракообразных Вы знаете.
3. Назовите представителей древоточцев Азово-Черноморского бассейна.
4. Представители каких таксономических групп животных являются камнеточцами.
5. Какие камнеточцы встречаются в Азово-Черноморском бассейне и других морях СНГ.

Литература: [2, 13].

**ТЕМА 10: БИОЦИДЫ – СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ОБРАСТАНИЙ.
БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ ОСНОВНЫХ ЯДОВ
ПРОТИВООБРАСТАЕМЫХ КРАСОК**

План лекции:

- 1) *Требования к биоцидам, их классификация;*
- 2) *Моллюскоциды и другие противообрастающие агенты;*
- 3) *Средства борьбы с древоточцами;*
- 4) *Биологические механизмы действия основных ядов противообрастаемых красок;*
- 5) *Механизм действия медьсодержащих биоцидов на моллюсков;*
- 6) *Действие соединений тяжелых металлов на биоценоз обрастаний.*

10.1 Требования к биоцидам, их классификация

Одним из наиболее распространенных способов защиты материалов от биоповреждений является использование химических соединений (биоцидов), обладающих биоцидным действием.

Необходимость поиска способов защиты материалов от биоповреждений, в т.ч. и от обрастания, в современном понимании этой проблемы, была поставлена перед химиками и биологами только в 20 – 30-е годы XX века.

В общей системе средств борьбы с биоповреждениями материалов и повреждающими биоценозами в водной среде, ведущие место занимают химические средства.

Использование биоцидных веществ отличают высокая эффективность и разнообразие форм применения: соединения могут вводиться непосредственно в состав защищаемых материалов, наносится на их поверхность, служить присадками к пропиточным и консервационно-смазочным составам и компонентам воздушной или водной среды.

Общим требованием, предъявляемым к любому современному биоциду, является высокая активность против вредных биофакторов в сочетании с безопасностью в обращении и отсутствием отрицательного воздействия на окружающую среду.

Биоциды должны быть доступными и относительно дешевыми для того, чтобы их использование не влекло за собой ощутимого удорожания материала.

Поэтому, уже на начальных этапах разработки нового биоцида важно исходить из возможных потребностей в нем для конкретных областей применения и потенциальных возможностей химической и других отраслей промышленности. Важно также, чтобы применение биоцида не оказало влияния на физико-химические, физико-механические и другие свойства материала, не ускоряло его старения, не вызывало коррозию.

Помимо указанных общих требований к биоцидам предъявляют специальные требования, связанные с конкретными особенностями защищаемого материала.

Химические средства защиты от биоповреждений классифицируют по биологическому действию, назначению и объектам применения, химическому составу. По биологическому (биоцидному) действию к химическим средствам защиты от биоповреждений относятся:

1. Фунгициды – для защиты материалов и изделий от повреждения грибами;
2. Бактерициды – для защиты от гнилостных, слизиобразующих, кислотообразующих и других бактерий;
3. Альгициды и моллюскоциды – для защиты морских судов, гидротехнических сооружений, систем промышленного водоснабжения и мелиорации от обрастания водорослями и моллюсками;
4. Инсектициды – для защиты от повреждений термитами и др. насекомыми;
5. Гербициды – для защиты зданий, территорий обочин автомобильных дорог и насыпей, железных дорог – от высших растений;
6. Зооциды – для защиты от позвоночных животных, крыс и т.д.

Другие виды классификаций биоцидов по техническому назначению и применению, по химическому составу в рамках данной лекции мы рассматривать не будем.

10.2 Моллюскоциды и другие противообрастающие средства

Основное назначение моллюскоцидов и других противообрастающих агентов как средств защиты от биоповреждений – это предохранение подводной части корпусов морских судов, гидротехнических сооружений и других изделий, эксплуатирующихся в водной среде, от обрастания водными организмами: моллюсками, ракообразными, водорослями и т.д. Биоциды, используемые для этой цели, часто защищают и от водорослей, т.е. являются альгицидами и поэтому их объединяют общим понятием противообрастающие агенты.

Наиболее характерная форма применения биоцидов этой группы - противообрастающие лакокрасочные покрытия, реже биоцидами пропитывают готовые изделия (рыболовные сети, деревянные сваи) или вводят в состав материала (бетон для подводных сооружений).

В настоящее время в качестве биоцидных компонентов противообрастающих покрытий используют соединения меди, свинца, мышьяка и олова.

Соединения меди.

Многие соединения меди обладают необходимым комплексом биоцидных свойств и биологической активностью, достаточно высокой, чтобы их можно было использовать в составе противообрастающих покрытий.

На практике же применяется только оксид – закись меди. Все другие соединения по своей растворимости в воде, совместимости с другими компонентами покрытия, химической инертности и другим показателям не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к биоцидам для противообрастающих покрытий.

Оксид меди, Cu_2O . Кристаллическое вещество красного цвета (окраска может изменяться от желтой до малиновой в зависимости от чистоты препарата и степени его дисперсности), плотность 5,8 – 6,0 г/см³. Растворимость в морской воде при pH 8,1 равна 5,4 мг/л, хорошо растворим в водном растворе аммиака и в минеральных кислотах. Практически нерастворим в органических растворителях. Технический продукт содержит 94 – 96% оксида меди. Это наименее токсичный биоцид, используемый в противообрастающих покрытиях. (LD₅₀ 470 мг/кг для крыс).

Оксид меди – основной биоцидный компонент отечественных и зарубежных противообрастающих красок, предназначенных для защиты подводной части судов от обрастания. Содержание его в красках на виниловой основе составляет 30 – 50%. Получают его восстановлением солей двухвалентной меди различными неорганическими восстановителями в присутствии поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Органические соединения свинца используются в составе противообрастающих покрытий реже и в меньших количествах по сравнению с соединениями меди, мышьяка и олова.

Используются преимущественно галогениды и ацетаты ди- и триалкил (арил) свинца в качестве моллюскоцидов. Эти соединения, как правило, представляют собой кристаллические вещества, растворимые в органических растворителях и лишь незначительно растворимые в воде. Высокая токсичность для теплокровных животных ограничивают их использование.

Органические соединения мышьяка. Как уже отмечалось, некоторые гетероциклические мышьякорганические соединения проявляют высокую биоцидную активность по отношению ко многим живым организмам. Такие соединения, как 10-хлорфеноксарсин и бис (феноксарсин-10-ил) оксид находят применение в качестве эффективных антисептиков полимерных материалов. Эти соединения обладают мощным альгицидным и моллюскоцидным действием и считаются перспективными для использования в качестве компонента противообрастающих красок для морских судов при содержании 3 – 15% в сухом покрытии. Во многом сходные биоцидные свойства характерны для 10-хлор-5, 10-дигидрофенарсазина и бис (5, 10-дигидрофенарсазин-10-ил) оксида.

Органические соединения олова обладают широким спектром биоцидного действия на обрастатели, эффективны в низких концентрациях, сравнительно безопасны в обращении. Это один из перспективных противообрастающих агентов. К их числу относятся производные трибутил- и трифенилолова, такие, как гексабутилдистанноксан (или бистрибутилоловооксид, ТБТО) и др.

Противообрастающие лакокрасочные покрытия, содержащие низкомолекулярные соединения олова, имеют срок защитного действия, как правило, не более двух лет.

Продлить это срок оказалось возможным при использовании полимерных форм оловоорганических соединений – политриалкилстанилакрилатов и метакрилатов и их сополимеров с другими ор-

ганическими мономерами, которые имеют в главной цепи макромолекулы токсифорные триалкил-станнильные боковые группы.

При изучении механизма противообрастающего действия оловоорганических полимерных покрытий было установлено, что в результате гидролиза в морской воде происходит отщепление оловоорганических боковых групп, в результате на поверхности открывается новый молекулярный слой оловоорганического полимера. Таким образом, происходит равномерное высвобождение биоцида и постоянство его концентрации в пограничном слое. Средняя скорость растворения пленки полимерного покрытия зависит от многих факторов и составляет 7-9 мкм в месяц для скорости хода судов 12 – 15 узлов. Если толщина слоя противообрастающего покрытия 300 мкм, то его расчетный срок службы составит около 3 лет.

Применяются самополирующиеся противообрастающие краски для подводной части судов с маркой «SPC». Применение их позволяет защитить судно от обрастания на срок до трех лет и сократить расход топлива по сравнению с обычными противообрастающими покрытиями в среднем на 10 %.

По сравнению с органическими соединениями меди, ртути, мышьяка, оловоорганические биоциды обладают существенными преимуществами:

1. широким спектром биоцидного действия (активны по отношению к грибам, бактериям, насекомым, растениям и животным обрастателям);

2. способностью защищать различные материалы от биоповреждений (пластики, древесину, бумагу, ткани, бетон). Не вызывают коррозию при контакте с металлами.

3. меньшей токсичностью для теплокровных (в большинстве случаев), чем ртуть, свинец и мышьяк – органические соединения, и в отличие от перечисленных соединений постепенно разлагаются в окружающей среде до нетоксичного диоксида олова.

10.3 Средства борьбы с древоточцами

К отряду углеводородных фунгицидов можно отнести препараты на основе различных фракций каменноугольной смолы – дистиллята, получаемого при перегонке каменного угля в процессе коксования.

Один из важнейших препаратов этого типа – **креозот** – маслянистая жидкость темно-коричневого или черного цвета со специфическим запахом. Креозот широко применяется для защиты от разрушения микроорганизмами деталей открытых деревянных сооружений: опор линий электропередач, телефонных и телеграфных столбов, мостов, свай, эстакад, железнодорожных шпал, а также многих гидротехнических сооружений. Креозот является очень эффективным средством против морских древоточцев.

По масштабам производства и применения креозот занимает ведущее место не только среди антисептиков древесины, но и среди биоцидов вообще.

10.4 Биологические механизмы действия основных ядов противообрастаемых красок

Одним из важнейших вопросов проблемы обрастания в настоящее время является вопрос о механизме действия противообрастаемых красок. Морские обрастатели обладают большой устойчивостью к действию различных ядов, что обуславливает трудности борьбы с ними. Общепринятыми и наиболее широко используемыми ядами, входящими в состав противообрастаемых лакокрасочных средств защиты от обрастания, служат различные медные соединения, и, главным образом, закись меди. Достаточная растворимость, обеспечивающая необходимую концентрацию, высокая токсичность делают медь одним из главных и почти незаменимых пока компонентов неообрастаемых красок.

Вместе с тем медь входит в состав дыхательного пигмента (гемоцианина) ряда моллюсков, в т.ч. основного обрастателя в Черном море – мидии. Наличие малых количеств меди в отдельных случаях обеспечивает нормальное развитие и даже стимулирует рост и прикрепление.

Резистентность морских обрастателей к ядам различна у разных видов, и широко колеблется в зависимости от стадии развития, физиологического состояния, сезона, окружающих условий и т.п.

Известно, что медь в токсических концентрациях тормозит жизнедеятельность организмов и в основном действует на их дыхательную функцию.

Установлено, что организмы обрастания способны накапливать в своем теле медь, выщелачивающуюся из лакокрасочного покрытия, на которых они поселились. После достижения определенного избыточного уровня концентрация яда в теле обрастателя, нарушается обмен веществ и в результате неизбежно наступает смерть организма.

Устойчивость циприсовидных личинок, осуществляющих поиск и прикрепление, значительно выше таковой у свободноплавающих наutilusов, и что особенно важно – у свежесевших баянусов. Отравление личинок, пытающихся осесть или уже осевших баянусов, а, следовательно, предотвращение обрастания, имеет место даже тогда, когда скорость отдачи краской меди меньше общепринятой. В этих случаях играет роль не только повышенная чувствительность молодого баянуса, но также и те взаимоотношения, которые возникают между оседающим баянусом и поверхностью краски.

Дело в том, что в период метаморфоза, после сбрасывания циприсом хитиновой оболочки и до начала кальцификации, баянус остается почти «голым».

Вполне понятно, что в весьма ответственный и сложный в жизни баянуса момент метаморфоза все силы организма направлены на осуществление этого процесса и поэтому доза, летальная для метаморфизирующего баянуса значительно ниже летальной дозы для свободноживущего циприса.

Возможно, здесь имеет место не только непосредственное отравление ослабленного организма, но и то, что медь, видимо, может оказывать тормозящее действие на кальцификацию раковины.

10.5 Механизм действия медьсодержащих биоцидов на моллюсков

Важнейшей функцией организма, в первую очередь подверженной внешним воздействиям, является дыхание и соответствующие реакции энергетического обмена.

Основным субстратом энергетического обмена у беспозвоночных являются углеводы, в частности – полисахарид гликоген. Наиболее высокий уровень содержания углеводов у мидий наблюдается в гонадах, меньше, но значительные количества отмечены в гепатопанкреасе и мышцах.

В гонадах и мышцах углеводы почти полностью (на 90%) состоят из гликогена. Установлено, что в период размножения устойчивость мидий к ядам понижается, что связано со снижением содержания гликогена в их тканях в этот период. Было отмечено, что реакция беспозвоночных на воздействие токсинов во многом аналогична их реакции на условия гипоксии. Причины этого сходства заключаются в переходе организмов в том и другом случае на анаэробное дыхание.

При создании анаэробных условий и помещении мидий в растворы меди токсических концентраций наблюдается резкое снижение уровня дыхания с последующим полным его прекращением. Возникающий при этом кислородный долг ликвидируется в период восстановления в течение двух суток, при этом дыхание мидий в 2 раза превышает норму.

Исходя из сказанного, можно утверждать, что в случае воздействия токсических концентраций меди, как и при гипоксии, мидии переходят на анаэробное дыхание. При этом установлена способность мидий существовать в анаэробных условиях длительное время, что частично объясняет факт их устойчивости к воздействию ядов.

Анаэробная фаза дыхания начинается разложением гликогена. Основными путями его расщепления в организме является фосфоролитический и гидролитический, которые катализируются ферментами фосфорилазой и амилазой.

Таким образом, организмы, способные переключаться на анаэробный обмен, оказываются более стойкими к повреждающим воздействиям. Важно, что продолжительность существования разных организмов в анаэробных условиях различна.

Мидии проявляют высокую устойчивость к анаэробнобиозу, что связано с высоким уровнем запасов гликогена, и способностью к относительной изоляции от внешней среды с помощью плотно смыкающихся створок раковины.

К наиболее устойчивым организмам обрастания относятся также баянусы. Наличие твердой раковины и способность изолироваться от внешней среды также сближают баянусов по реакции на неблагоприятные воздействия с мидиями. Однако устойчивость баянусов к токсическим концентра-

циям меди примерно в два раза ниже, чем у мидий. Это связано, возможно, с меньшей массой тканей и более низким уровнем запасов гликогена.

10.6 Действие соединений тяжелых металлов на биоценоз обрастаний

Разрабатывая средства защиты, необходимо учитывать их влияние не только на животные, но и растительные организмы обрастания. При изучении воздействия ядов большое значение имеет выявление наименее устойчивых биохимических систем, определяющих последующее поведение организма.

Исследования показали, что к наиболее ранним проявлениям токсического воздействия тяжелых металлов (меди, ртути, цинка) относятся нарушение мембранного транспорта ионов, репродуктивных процессов и фотосинтетической активности водорослей.

Изменения в содержании пигментов отмечаются значительно позже, по истечении одних – трех суток.

Анализируя последовательность биохимических нарушений и их взаимосвязь, можно утверждать, что одной из первичных реакций водорослей является поражение протоплазматической мембраны, нарушение ее поглотительных и выделительных функций. В результате этого через 24 часа после начала действия происходит почти полное вытекание свободных аминокислот и калия.

Восстановление интенсивности фотосинтеза в свежей морской воде после действия меди и ртути происходило очень медленно и не достигало нормы даже через одни – трое суток. После действия цинка восстановление интенсивности фотосинтеза происходит быстрее.

Применение железа, одновременно с солями меди, ртути и цинка способствовало снижению токсического действия этих ядов.

Под влиянием меди, цинка и ртути повреждаются мембраны хроматофор, нарушается связь пигментов с липопротеидным комплексом, вследствие чего происходит выцветание хлорофилла и вытекание фикоэритрина в полость клетки, а затем наружу. Фикоэритрин активно взаимодействует с медью, и не изменяется под влиянием света. Таким образом, уменьшение содержания пигментов можно считать вторичным процессом, протекающим после нарушения мембранных структур.

Отмечено также действие меди на подвижность спор зеленых и бурых водорослей, снижение их способности к прикреплению и освоению субстрата.

Одно- двухчасовое действие меди и ртути в небольших концентрациях вызывает необратимое поражение осевших клеток. Под влиянием меди красные водоросли обесцвечивались на вторые, а зеленые – на третьи сутки; под воздействием ртути – через 5-10 часов.

Следует отметить, что проростки водорослей более чувствительны к сернокислой меди, чем взрослые экземпляры.

У красных водорослей после суточного пребывания в растворе меди наблюдается необратимый плазмолиз и расслоение преимущественно конечных клеток.

Красные, зеленые и бурые водоросли по-разному реагируют на тяжелые металлы. Бурые водоросли, в частности цистозира барбата, обладают замедленной реакцией по сравнению с зелеными, и, особенно, красными водорослями. Проявление этого свойства можно объяснить особенностями биохимического состава талломов бурых водорослей, а именно – высоким содержанием в них альгиновых кислот (до 50% их веса), обладающих высокой катионной емкостью.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие общие требования предъявляют к биоцидам.
2. Назовите основные соединения металлов, которые применяют в составе противообрастающих покрытий.
3. Какой препарат находит широкое применение в борьбе с древоточцами.
4. Медьсодержащие биоциды, механизм их действия на моллюсков.
5. Опишите механизм действия тяжелых металлов на биоценоз обрастаний.

Литература: [3; 5; 14].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, Е.В. Физико-химическая очистка сточных вод: учебное пособие / Е.В. Алексеев. – М.: Изд-во АСВ, 2007. – 248 с.
2. Березина, Н.А. Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134 с.
3. Будыкина Т.А. Процессы и аппараты защиты гидросферы: учебное пособие для вузов / Т.А. Будыкина, С.Г. Емельянов. – М.: Академия, 2010. – 288 с.
4. Волкова, И.В. Оценка качества воды водоемов рыбохозяйственного назначения с помощью гидробионтов: учебное пособие / И.В. Волкова. – М.: КОЛОС, 2009. – 349 с.
5. Госманов, Р.Г. Санитарная микробиология / Р.Г. Госманов. – СПб: Лань, 2010. – 237 с.
6. Гусева, Т.В. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы / Т.В. Гусева. - М.: «Форум-ИНФРА-М», 2007. - 190 с.
7. Долина, Л.Ф. Реакторы для очистки сточных вод/ Л.Ф. Долина.- Днепропетровск: Изд-во «Стандарт», 2001. - 82с.
8. Егоров, В.В. Экологическая химия: учебное пособие / В.В. Егоров. – СПб: Лань, 2009.– 181 с.
9. Калайда, М.Л. Гидробиология / М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб.: Проспект Науки, 2013. – 192 с.
10. Кривошеин, Д.А. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков: учебное пособие / Д.А. Кривошеин, П.П. Кукин, В.А. Лапин. – М.: Высшая школа, 2008. – 344 с.
11. Назаров, А.Д. Водоснабжение и мелиорация: учебное пособие (лабораторный практикум) / А.Д. Назаров, Р.Ф. Зарубина. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 138 с.
12. Савичев, О.Г. Экологическое нормирование: методы расчета допустимых сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты суши: учебное пособие / О.Г. Савичев и др.. – 3-е изд. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 100 с.
13. Семерной, В.П. Санитарная гидробиология: Учеб. пособие по гидробиологии. 2-е изд., перераб. и доп. / В.П. Семерной.- Ярославль: Яросл. гос. ун-т., 2003. - 147 с.
14. Танкевич, П.Б. Санитарная и техническая гидробиология. Конспект лекций для студентов специальности 6.130.300 «Водные биоресурсы» дневной формы обучения. / П.Б. Танкевич.- Керчь: Изд-во КГМТУ, 2008. - 79 с.

© Танкевич Петр Брониславович
Жаворонкова Анна Марковна

Санитарная гидробиология

Конспект лекций

Тираж _____ экз. Подписано к печати _____.

Заказ № _____. Объем 5,24 п.л.

Изд-во ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический
университет»

298309 г. Керчь, Орджоникидзе, 82.