

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КЕРЧЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**КАФЕДРА ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ И МАРИКУЛЬТУРЫ**

*Зинабадинова С.С.*

**САНИТАРНАЯ ГИДРОБИОЛОГИЯ**

Практикум  
для студентов направления подготовки  
35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура  
очной и заочной форм обучения

Керчь, 2019 г.

УДК 574.63(072)

Составитель: Зинабадинова С.С., старший преподаватель кафедры ВБ и МК  
ФГБОУ ВО «КГМТУ»

  
\_\_\_\_\_

подпись

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


  
\_\_\_\_\_

подпись

Практикум рассмотрен и одобрен на заседании кафедры водных биоресурсов и  
марикультуры ФГБОУ ВО «КГМТУ».

протокол № 10 от 13.06 2019 г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.В. Кулиш

  
\_\_\_\_\_

Подпись

Практикум утвержден и рекомендован к публикации на заседании методической  
комиссии ТФ ФГБОУ ВО «КГМТУ».

протокол № 10 от 02.07 2019 г.

© ФГБОУ ВО «КГМТУ», 2019 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ .....	4
Практическое занятие № 1.....	5
Практическое занятие № 2.....	10
Практическое занятие № 3.....	15
Практическое занятие № 4.....	19
Практическое занятие № 5.....	23
Практическое занятие № 6.....	28
Практическое занятие № 7.....	31
Практическое занятие № 8.....	33
Практическое занятие № 9.....	37
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	42

## ВВЕДЕНИЕ

Санитарная гидробиология - специальная отрасль, которая занимается изучением проблем чистой воды и содействует обеспечению человечества высококачественной водой для сохранения жизни и здоровья, развитию промышленности и повышению продуктивности сельского и рыбного хозяйства.

Санитарная гидробиология изучает общие закономерности гидробиологических процессов в загрязненных водоемах, а также проблемы, связанные с охраной водоемов от загрязнения.

Основная задача санитарной гидробиологии - разработка основ охраны вод от загрязнения и теории биологического самоочищения.

Целью курса «Санитарная гидробиология» является освоение студентами основных положений изучаемой дисциплины. В программу дисциплины входят вопросы, связанные с изучением процессов формирования чистых природных вод, очистки сточных вод от загрязнений, методов и способов контроля за качественным составом воды.

Дисциплина «Санитарная гидробиология» входит в вариативную часть профессионального цикла подготовки студентов по направлению 35.03.08 «Водные биоресурсы и аквакультура» подготовки бакалавров.

Для успешного освоения предмета необходимо знать такие дисциплины как: гидробиология, общая биология, зоология, микробиология, водная токсикология. Студент должен знать современные способы очистки сточных вод, процессы формирования чистой воды, происходящие в природных водоемах.

В дальнейшем, полученные знания применяются при освоении курсов: «Экологическая физиология и биохимия гидробионтов», «Методы научных исследований», при дипломном проектировании и профессиональной деятельности будущих выпускников.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часов (3 зачетных единицы), из них аудиторная нагрузка по практическим занятиям оставляет 36 часов.

В результате изучения дисциплины «Санитарная гидробиология» студенты должны **знать:**

- основные положения санитарной гидробиологии;
- учение о сапробности и его развитии;
- организацию водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий;
- методы биологической очистки сточных вод;
- процессы формирования чистой воды;
- основы мониторинга качества вод природных водоемов.

**уметь:**

- определять основные виды гидробионтов – индикаторов для полисапробной, альфа-, бета-мезосапробных зон;
- оценивать санитарно-гидробиологическое состояние водоемов;
- определять острую и хроническую токсичность природных и сточных вод.

**владеть:**

- методикой отбора проб из загрязненных водоемов для последующего определения организмов-индикаторов;
- навыками оценки качества вод;
- биологической терминологией, используемой в санитарной гидробиологии;
- методами борьбы с «цветением» водоемов.

### **Критерии оценивания**

Оценивание осуществляется по двухбальной системе: «не зачтено», «зачтено». В процессе оценивания значимость отдельных критериев – относительная весомость (таблица 1).

Таблица 1 – Относительная весомость критериев оценивания

<b>Критерии оценивания</b>	<b>Относительная весомость, %</b>
– выполнение всех пунктов задания	до 30
– степень соответствия выполненного задания поставленным требованиям	до 30
– получение корректных результатов работы	до 20
– качественное оформление работы	до 10
– корректные ответы на вопросы по сути расчетов	до 10

Практические занятия рассчитаны на обеспечение соответствия результатов обучения задачам будущей профессиональной деятельности и освоение профессиональных компетенций. Направленность практических занятий подразумевает закрепление теоретических знаний, возможность применить полученные знания при выполнении элементов профессиональной деятельности и освоение соответствующих умений, обозначенных в рабочей программе. В процессе выполнения практического занятия обучающиеся демонстрируют и непосредственно сам багаж знаний, приобретенных при изучении лекционного курса и в процессе самостоятельной работы, и формируют навыки практической работы. Практическая работа считается выполненной (оценка «зачтено»), если в ходе оценивания суммарная относительная весомость критериев составляет не менее 75%. Оценка комплексная, складывается из оценки каждого выполненного задания на практическом занятии.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

(Продолжительность практического занятия – 4 часа)

**Тема:** Качество воды в реке

**Цель:** Изучить основные характеристики, определяющие качество воды в водоемах (реки)

**Материалы:** раздаточный материал с теоретическим минимумом и заданием для практической работы

**Теоретический минимум.**

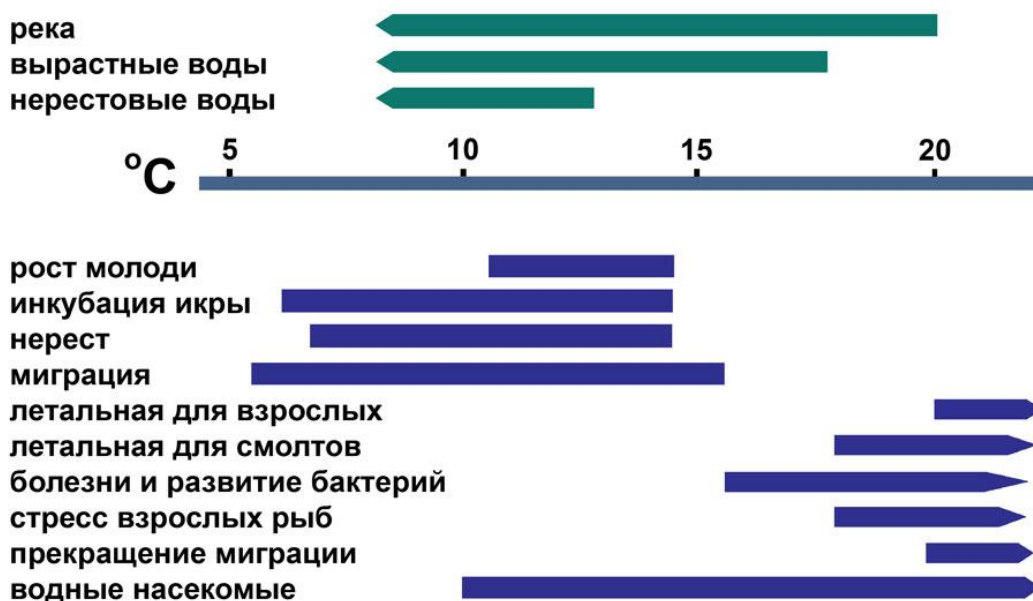
Факторы внешней среды, прежде всего водной, воздействуют на рыб и играют большую роль в их жизни. Это температура, соленость, содержание растворенных в воде газов и т. д.

**Температура.** Рыбы – холоднокровные животные, температура их тела близка к температуре окружающей среды. Изменение температуры очень сильно влияет на жизнь рыб, особенно лососей. В период нерестового хода и нереста горбуша часто гибнет из-за «теплового удара». Когда летом уровень воды низкий, она сильно прогревается, и возникает угроза гибели. При этом у рыб ускоряются процессы обмена веществ, и происходит слишком большая трата энергетических ресурсов организма. Большое влияние оказывает температура и на выживание икры, а затем личинок.

Температура очень важна для поддержания высокого качества воды (рис. 1). От нее зависят многие физические, химические и биологические свойства воды. Температура определяет:

- - количество кислорода, которое может раствориться в воде (в холодной воде может содержаться больше кислорода, чем в теплой, потому что газы легче растворяются в холодной воде);
- - фотосинтетическую деятельность водорослей и растений-макрофитов;
- - скорость метаболических процессов у водных организмов;
- - чувствительность организмов к ядовитым отходам, паразитам и болезням.

### Стандарты качества воды по температуре



### Пределы оптимальной температуры для водных организмов

Рисунок 1 – Влияние температурного фактора в формировании качества воды

Наиболее серьезно меняет температуру вод термальное загрязнение. Обычно оно вызывается сливом в водоем более теплых вод. Многие заводы и предприятия используют воду для охлаждения, при этом отработанная вода сбрасывается в водоем без всякого отстаивания. Отепляющие воды также образуются при стоке дождевых осадков с улиц, автостоянок, тротуаров. Кроме того, повышение температуры воды в реке происходит при вырубке деревьев вдоль русла и лишении ее тени.

Температура воды повышается также при почвенной эрозии. Почвенную эрозию могут вызывать многие факторы – перевыпас скота на пастбищах, сведение естественной растительности, строительство, распашка полей и т.д. При эрозии идет интенсивный смыв осадочного вещества в реку, что повышает мутность воды, а мутные воды поглощают больше солнечной энергии.

По мере увеличения температуры воды усиливается фотосинтезирующая деятельность и рост растений. Растения быстро растут и быстрее отмирают, при этом они разлагаются бактериями, потребляющими кислород. Поэтому при увеличении фотосинтетической деятельности БПК также увеличивается. Убыстрение метаболических процессов у животных в связи с отеплением воды еще больше повышает БПК. Даже циклы развития насекомых могут проходить быстрее. Это может вызывать нарушения в пищевых цепях. Например, могут серьезно пострадать перелетные птицы, питающиеся насекомыми, если взрослые формы этих насекомых вылетели раньше времени миграции.

Большинство водных организмов приспособилось существовать в определенных пределах температурной шкалы. Есть животные, предпочитающие холодные воды (например, форель, нимфы поденок), другие более адаптированы к теплым условиям (каarp, нимфы стрекоз). При потеплении вод происходит смена холодолюбивых видов теплолюбивыми. Мало есть организмов, которые могут одинаково хорошо выносить как высокие, так и низкие температуры, и особенно их резкие колебания.

Температура влияет на чувствительность организмов к токсичным отходам и болезням. Например, термальное загрязнение делает рыб более уязвимыми для проникновения болезнетворных вирусов – это происходит как из-за общего стресса организма, так и из-за понижения растворенного кислорода.

**Водородный показатель (pH)** – концентрация ионов водорода - один из важнейших показателей качества воды (рис. 2). От величины pH зависит вся жизнь в воде. Нормальный показатель pH близок к 7. Если меньше – вода кислая, больше – щелочная. Например, в болотах pH = 4,5-6,0, а в морской воде – 8,0-8,3.

Необходимо помнить, что при изменении pH на единицу щелочность или кислотность, возрастает в 10 раз. Так, вода в озере с pH=4 (кислая) в 100 раз более кислая, чем в озере с pH=6. В природных водах pH обычно бывает от 6.5 до 8.5, хотя может изменяться в значительных пределах. Кислотные дожди могут изменить природную pH водоема. Кислотный дождь образуется, когда в воздухе много окислов азота (NO) и двуокиси серы (SO<sub>2</sub>) в основном из-за автомобильных выхлопов и выбросов тепловых станций при сжигании угля.

Изменения pH воды очень важны для многих организмов. Большинство животных и растений приспособлено жить в среде с определенной pH, и может вымереть даже при слабом колебании pH. В очень кислых или щелочных водах (pH больше 9.6 или меньше 4.5) жизнь большинства организмов невозможна. Серьезные проблемы возникают при падении pH ниже 5, обычно при таянии снегов, содержащих кислотные осадки.

### Терпимые уровни рН для водных организмов

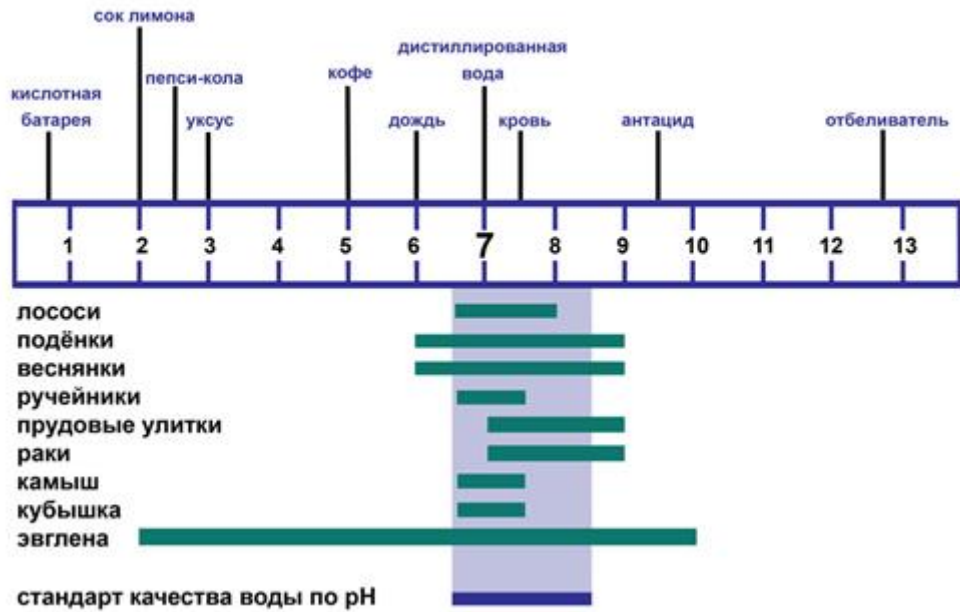
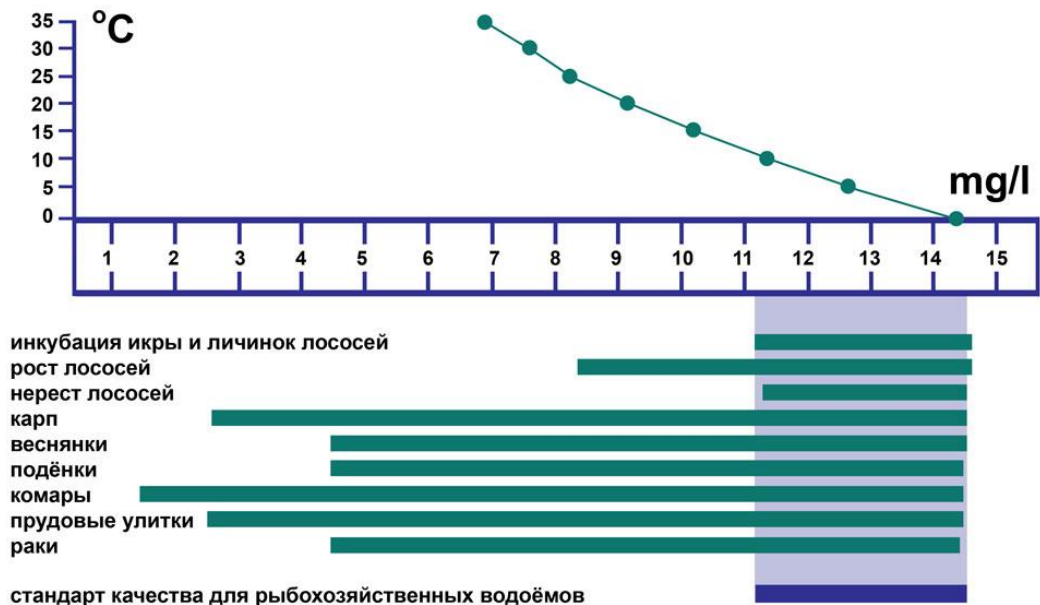


Рисунок 2 – Влияние рН на формирование качества воды

**Растворенный кислород.** От этого показателя зависит выживание рыбы в реке (рис. 3). Чем больше рыбы, тем больше потребляется кислорода, и возникают заморные явления. Иногда тысячи и тысячи рыбьих трупов надолго отравляют воду, и вновь заходящая горбуша тоже гибнет, потому что содержание кислорода в воде недостаточно для дыхания.

### Максимальная концентрация растворённого кислорода для разных температур



### Оптимальные пределы растворённого кислорода для водных организмов

Рисунок 3 – Влияние растворенного кислорода на формирование качества воды

Растворенный кислород необходим для поддержания здоровой водной экосистемы. Наличие кислорода в воде означает хорошее качество воды, отсутствие его может



индицировать сильное загрязнение. В разных водоемах содержание растворенного кислорода разное, в некоторых оно настолько низко, что всякая жизнь с них практически невозможна.

Кислород необходим для жизни водным животным. Рыбы и многие водные насекомые имеют жабры для поглощения кислорода из воды. Есть организмы, например, щука и форель, которым нужны достаточно большие концентрации растворенного кислорода для жизни. Другие рыбы (каarp, сом) прекрасно себя чувствуют и в водах с низким содержанием кислорода. Водоемы с высоким содержанием кислорода считаются обычно здоровыми и стабильными экосистемами, поддерживающими высокое разнообразие жизни.

Обычно реки с постоянным значением насыщения кислородом 90% и выше считаются здоровыми, если только воды не перенасыщены кислородом из-за антропогенной эвтрофикации. Водоемы с насыщенностью кислородом менее 90% могут содержать большое количество органических отходов, требующих кислород на свое разложение.

Внезапное или постепенное сокращение растворенного кислорода может вызвать значительные изменения в составе водных организмов и привести к появлению видов, толерантных к загрязнению. В бентосных сообществах при этом исчезают виды, чувствительные к недостатку кислорода – нимфы поденки, веснянки, личинки ручейников и жуков, замещаясь водными червями и личинками мух. В водах с низким содержанием кислорода могут также развиваться анаэробные организмы и нефотосинтезирующие водоросли.

**Внешний вид и запах воды.** Запах воды может вызываться естественными или антропогенными факторами. Природные причины – это разложение растений и водорослей или присутствие определенных групп микроорганизмов. При разложении органики часто испускаются газы типа аммиака и сероводорода. Запах могут вызывать галогены, сернистые соединения и другие химические вещества из канализации и промышленных стоков. Нежелательно, чтобы вода имела запах, если она используется для питьевых и некоторых технических целей.

Цвет воды может быть также вызван естественными материалами (частицами смываемой почвы, взвесью глины, разложенного органического вещества – таннинов, торфа, водорослей, грибов и других растений). Часто цвет воде придают частицы красителей, попадающие в реку в результате сбросов текстильной фабрики или кожевенного завода. Просачивание из отстойников и очистных сооружений может придать воде зеленый, сине-зеленый, коричневый или красный оттенок. Некоторые из источников красящих веществ вредны для экосистемы, некоторые – нет. В некоторых случаях цвет воды является хорошим индикатором того, какие виды природопользования наблюдаются в районе.

Вода, просачиваясь в реку, проходит через почву как через фильтр. Часть ядовитых веществ может вымываться из почвы в реку. Если почва пахнет ядовитыми веществами, это означает, что в воде можно обнаружить лишь незначительные следы такого загрязнения – в ничтожных концентрациях.

**Ход работы:** изучить теоретический минимум, письменно ответить на перечисленные вопросы, сформулировать и записать выводы.

1. Как температура влияет на качество воды в водоеме?
2. Что измеряет показатель pH? Каково его влияние на жизнедеятельность гидробионтов?
3. Как показатель растворенного кислорода влияет на качество воды?
4. Органолептические характеристики.

**Литература [3]**

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2**

(Продолжительность практического занятия – 6 часов)

**Тема:** Антропогенная эвтрофикация и термофикация водоемов

**Цель работы:** Изучить особенности антропогенной эвтрофикации и термофикации водоемов

**Материалы:** раздаточный материал с теоретическим минимумом и заданием для практической работы

### **Теоретический минимум**

«Антропогенная эвтрофикация» - это связанное с деятельностью человека повышение уровня трофии водоемов, возникающее при некоторых условиях в результате избыточного поступления в них биогенов (азота, фосфора) и сопровождающееся характерным комплексом изменения экосистем. Наиболее существенные из них — ухудшение кислородного режима. Соответственным образом распределяются окислительно-восстановительные условия и наиболее связанные с химическими реакциями концентрации кислорода, карбонатов, водородных ионов, биогенов. В результате антропогенной эвтрофикации повышается скорость новообразования органического вещества, продукция преобладает над деструкцией и биомасса экосистемы возрастает. Подобный процесс может происходить в результате естественной сукцессии водоемов, но в этом случае темп изменений неизмеримо ниже. Критерий скорости — один из самых надежных при диагностике антропогенной эвтрофикации, развитие которой измеряется не столетиями, что наиболее обычно для естественного процесса, а годами или десятками лет.

Термофикация водоемов — это изменение их температурного режима, вызываемое поступлением подогретых вод с тех или иных предприятий, в первую очередь тепловых электростанций. Повышение температуры воды ускоряет круговорот веществ в экосистеме, в частности первичное продуцирование (при достаточном количестве биогенов), что служит дополнительной предпосылкой эвтрофикации водоемов. Вместе с тем нарушение естественного температурного режима сопровождается изменением флоры и фауны водоемов, часто вызывая существенные сдвиги в структуре и функциях исходных экосистем в нежелательном направлении.

Эвтрофикация и термофикация водоемов часто сопровождаются ухудшением их социального значения и биосферных функций экосистем. В этом случае оба явления выступают как особые формы загрязнения.

Однако эвтрофикация и термофикация не всегда ведут к деградации водных экосистем и могут оказаться полезными для человека. Например, термофикация водоемов расширяет перспективы развития аквакультуры.

Кроме того, следует четко различать два процесса: дополнительное поступление в водоемы биогенов и тепла (предпосылки эвтрофикации) и само это явление (эвтрофикацию). В рыбоводстве дорогостоящие биогены специально вводят в водоемы ради повышения продуктивности; об опасности эвтрофикации прудов речь не идет. Интенсивное поступление биогенов в озера и водохранилища не всегда сопровождается их эвтрофированием, если направить работу экосистем в нужном направлении. Например, изъятие из водоемов органики в форме полезной продукции может проводиться в масштабах, уравнивающих ее перепроизводство вследствие дополнительного поступления биогенов. В системе будет сохраняться одно и то же количество биогенов, баланс нормализуется, и явления эвтрофикации окажутся исключенными.

Перспективы управления продуктивностью водоемов могут предусматривать и другие средства в борьбе с эвтрофикацией, в частности перекрытие различных каналов избыточного поступления биогенов в водоемы.

**Проявления и причины антропогенной эвтрофикации.** Для оценки степени эвтрофикации водоемов используют биологические, химические и физические показатели, различные для поверхностных и глубинных вод.

Одно из важнейших отрицательных проявлений антропогенной эвтрофикации, особенно в озерах и водохранилищах, — цветение водоемов (обычно цианобактерии *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon* и некоторые другие), увеличивающееся зарастание прибрежных мелководий и появление здесь в больших количествах нитчатых водорослей, загрязнение берегов остатками гидрофитов.

Обилие водорослей ухудшает питьевые качества воды (выделение метаболитов, придающих воде различные запахи и привкусы), затрудняет ее переработку при организации питьевого водоснабжения (засорение фильтров). Всплывая к поверхности после отмирания, цианобактерии образуют сплошной ковер, ухудшающий условия атмосферной аэрации воды.

Разложение отмерших водорослей сопровождается образованием продуктов анаэробного распада. Гниение массы водорослей, выброшенных на берег или скапливающихся около него, ухудшают возможность рекреационного использования водоемов, в частности водохранилищ.

Наиболее часто цветение вызывается цианобактериями. Их способность к быстрому размножению, прежде всего, связана с выносливостью к экстремальным температурам и концентрациям солей, низкому содержанию биогенов, к слабой освещенности, наличию  $H_2S$ , малому количеству кислорода.

Другая группа свойств, благоприятствующих массовому развитию сине-зеленых, — их способность к миксотрофному и хемогетеротрофному питанию, помимо обычного фототрофного, а также способность многих из них к фиксации азота.

Некоторые цианобактерии в условиях дефицита фосфора могут выделять щелочную фосфатазу, способствующую высвобождению  $P-(PO)_4$  из монофосфорных эфиров — экзометаболитов различных водорослей. Это создает дополнительные условия для существования цианобактерии.

Во время массового развития цианобактерии образуются характерные «пятна цветения». Иногда они имеют площадь в несколько десятков гектаров и хорошо ограничены от тех, которые находятся в планктоне.

Избыточное накопление биогенов — основная причина эвтрофикации — первую очередь обусловлено поступлением их с водосборной площади, с коммунальными стоками, атмосферной пылью, а также рекреационным использованием водоемов.

Это накопление резко возрастает вследствие интенсификации сельского хозяйства, в частности все более широкого применения минеральных удобрений. Значительную роль при этом играет усиление смыва поверхностных слоев почвы. Найдено, что до 10—25 % вносимого в почву азота и 1—5 % фосфора попадает в водоемы.

По мере роста населения и развития централизованной канализации непрерывно увеличивается поступление биогенов с коммунальными стоками. Этому способствует, в частности, употребление во все больших количествах моющих средств, содержащих фосфор. Поступление фосфора и азота в коммунальные стоки составляет на одного человека соответственно 4—5 и 8—10 г в сутки.

Учитывая предельно допустимые нормы сброса, можно подсчитать, что минимальная площадь водоема, обеспечивающая отсутствие эвтрофикации, должна составлять около 5 тыс.  $m^2$  на человека, если даже не учитывать другие источники поступления биогенов.

Показательно, что каждый купающийся вносит в водоем в среднем 75 мг фосфора и 695 мг азота и для предупреждения эвтрофикации водоемов рекреационная нагрузка должна быть не более 50—100 человек на 1 га в сутки. Количество азота, попадающего в водоемы с пылью, может достигать около 10 кг/га в год.

В нашей стране в водоемы 94 % фосфора поступает с сельскохозяйственных угодий, 5 % — с коммунальными стоками и около 1 % — с городских территорий; для азота соотношение несколько иное (соответственно 68, 31 и 1 %).

В Германии с коммунальными водами в водоемы поступает 91 % всего фосфора и только 9 % — с сельскохозяйственных угодий. При образовании новых водоемов, в частности водохранилищ, их обогащение биогенами может идти дополнительно за счет вымывания из вновь залитых почв.

Особенно интенсивно этот процесс идет в первые 3—4 года после затопления ложа водохранилища, обуславливая в это время наиболее бурное цветение воды.

Антропогенная эвтрофикация водоемов часто усиливается или даже полностью обуславливается изменением гидрологического режима водоемов. Например, после падения уровня оз. Севан на 18 м и почти полного исчезновения в нем гипolimниона прозрачность воды снизилась почти в два раза, стал наблюдаться летне-осенний дефицит кислорода, первичная продукция возросла в несколько раз, еще резче усилилась деструкция, в массе появились цианобактерии.

Олиготрофное озеро превратилось в эвтрофное главным образом в результате мобилизации биогенов из донных отложений и возросшей прогреваемости толщи воды. Эвтрофикация водоемов усиливается с возрастанием их застойности, при снижении турбулентной перемешиваемости воды, что, в частности, способствует цветению. По этой причине цветут равнинные водохранилища, особенно в низких широтах. Зарегулирование стока рек, сопровождающееся замедлением течения и усилением режима стагнации, сильно ускоряет процесс их антропогенной эвтрофикации.

Сходным образом стимулирует процесс эвтрофикации ухудшение кислородного режима, а также термофикация водоемов. Дополнительное поступление биогенов служит лишь предпосылкой антропогенной эвтрофикации, которая развивается при определенных гидрологических условиях, обеспечивающих новый тип круговорота веществ в водоеме.

**Предупреждение антропогенной эвтрофикации.** Основная мера предупреждения эвтрофикации водоемов сводится к их охране от избыточного поступления биогенов, в частности фосфора и азота. Эта мера осуществляется многими путями. В первую очередь к ним относится повышение культуры земледелия, сопровождающееся уменьшением стока биогенов с сельскохозяйственных угодий.

Очень важно не применять повышенные дозы удобрений, не дающие заметного экономического эффекта.

Другой путь — перехват биогенов, выносимых с сельскохозяйственных угодий. Для малых водоемов можно сооружать кольцевую дренажную систему с последующим отводом собранных сточных вод за пределы водосбора. Применительно к крупным водоемам важен перехват биогенов,

поступающих по гидрографической сети — основному пути поверхностного стока. Например, в предгорьях Гарца (Германия) сооружение на пути к основному водохранилищу сети так называемых «предводохранилищ», имеющих площадь в 5—10 % от основного, задерживало поступление фосфора в последнее на 50 %.

Принимающий на себя речной сток резервуар-отстойник водохранилища Есценице (Чехия) понижал концентрацию  $(\text{P}0)_4$  и  $\text{P}_{\text{общ}}$  на 65—90 %. В небольших водохранилищах, сооружаемых на, малых водотоках, в том числе пересыхающих летом (балки, овраги и др.), от излишка биогенов можно освободиться путем рыбоводных мероприятий, одновременно получая ценную продукцию.

Особенно перспективно использование растительноядных рыб, непосредственно утилизирующих первичную продукцию и повышающих эффективность эксплуатации рыбных хозяйств — деэвтрофикаторов.

Для перехвата биогенов, поступающих в небольшие водоемы с малой водосборной площадью, важно правильное обустройство прибрежной полосы, в частности ее облесение.

Показано, что в условиях Московской области лесная полоса шириной 30 м почти полностью задерживает поступление биогенов в водоем с пахотного поля длиной 190 м и уклоном 3°.

Лесная полоса не должна вплотную подступать к берегу во избежание загрязнения водоема листовым спадом; оставление полосы луга шириной 15 м устраняет эту возможность, особенно при посадке по краю лесной полосы елей.

В одном из ручьев США после сведения леса на водосборе вынос фосфора с крупнодисперсной взвесью возрос в 12 раз. Поступление биогенов в водоемы с коммунальными и другими стоками предупреждается двумя способами. Первый из них — более или менее полное освобождение стоков от биогенов, особенно фосфора. Для этого используют осаждение его (солями алюминия» железа, известью), обратный осмос, ионный обмен и ряд других методов.

Например, осаждение фосфора солями железа и алюминия позволило заметно снизить эвтрофикацию Цюрихского озера; в ряде озер Швеции, США, Канады изъятие фосфора из стока достигает 85—95 % от исходного количества.

Другой путь обезвреживания стоков — снижение в них концентрации фосфора за счет использования детергентов с меньшим содержанием этого биогена.

Например, в округе Эри (США) с 1971 г. было запрещено производство детергентов с содержанием Р выше 8,7 %, а в 1972 г. эта норма была снижена до 0,5 %. В итоге содержание фосфора в реках округа снизилось на 60 %. Наиболее радикальная форма борьбы с биогенами стоков—отведение последних за пределы водосбора.

Как уже говорилось, избыточное поступление биогенов — лишь предпосылка эвтрофикации, реализующаяся в определенных гидрологических условиях. Поэтому их регулирование (усиление перемешиваемости вод, аэрации, предупреждение термофикации водоемов) также можно широко использовать для предупреждения эвтрофикации, особенно в небольших водоемах.

При избыточном поступлении биогенов и в других условиях для развития эвтрофикации, она может быть исключена различными химическими, физическими и биологическими методами. Один из них — внесение в водоем различных препаратов, подавляющих первичное продуцирование. Этот способ очень уязвим, так как препараты, ингибирующие фотосинтез, в той или иной мере токсичны для беспозвоночных и рыб.

Физические воздействия сводятся к разбавлению эвтрофицируемых вод чистыми, снижению их прозрачности (взмучивание ила), удалению ила и богатых биогенами вод гипоплимниона, а также к аэрации воды. Аэрация дает хорошие результаты при предупреждении эвтрофикации небольших водоемов. В большинстве случаев аэрационные установки работают по принципу подачи воздуха в водоем (прокладка воздухоподающих перфорированных труб в придонном слое) или распыления воды в атмосфере (фонтанирование). С улучшением кислородного режима усиливается минерализация органики, сокращается или прекращается ее накопление в водоеме.

Наиболее перспективно предупреждение эвтрофикации биологическими методами. Еще в 1932 г. Е. Е. Успенский предложил предотвращать развитие водорослей с помощью макрофитов, перехватывающих в прибрежной полосе биогены, поступающие с водосбора. Такой метод особенно ценен, если сопровождается последующим изъятием фитомассы макрофитов. В противном случае после их отмирания биогены снова окажутся в воде, не говоря уже об отрицательном эффекте самого процесса гниения макрофитов в прибрежье.

Предложение культивировать в прибрежье два вида дикого риса (водяного и широколистного), бекманию и канареечник, дающих огромную фитомассу с высокими кормовыми качествами, экономически выгодно. Культивирование этих и некоторых

других растений с их последующей уборкой — не только эффективная мера борьбы с эвтрофикацией, но и дополнительный способ укрепления кормовой базы животноводства.

В биологическом и экономическом отношении перспективно использование для борьбы с эвтрофикацией водоемов растительных рыб.

Наряду с предупреждением эвтрофикации в настоящее время во многих странах прилагаются усилия к деэвтрофикации водоемов. этой целью частично или полностью заменяют воду, удаляют донные осадки, аэрируют гипolimнион и верхние слои грунта, связывают и осаждают биогены.

**Термофикация водоемов.** Наибольшей мере термофикация водоемов связана со спуском в них вод, охлаждающих пар в атомных и тепловых электростанциях (АЭС и ТЭС); в меньшей — со сбросом подогретых городских стоков.

Малые водоемы-охладители прогреваются полностью, в крупных - создается зона подогрева той или иной конфигурации. Летом, подогретые воды обычно растекаются в поверхностном слое. Зимой образуется полынья, температурная стратификация становится обратной (охлаждение поверхностного слоя). Кислородный режим обычно благоприятный, так как вода дополнительно аэрируется в водосбросном канале в результате образования полыньи.

В России повышение температуры в водоеме допускается не выше 3°C летом и 5°C зимой, в других странах нормы несколько иные.

В качественном отношении фауна и флора водоемов-охладителей изменяется слабо, формируясь в основном из эвритермных и; более теплолюбивых форм исходного населения. Зимой список обнаруживаемых видов несколько шире, чем в неподогреваемых водоемах (за счет форм, не могущих вести активную жизнь при низких температурах), летом наблюдается обратная картина (выпадение более холодолюбивых форм).

Резкое обеднение фауны и флоры начинается при повышении температуры до 30°C и более. Для гидробионтов существенна не только степень подогрева воды, но и скорость температурных изменений. Медленное нагревание воды благодаря акклимации переносится гидробионтами легче, и верхний летальный порог становится выше. Особенно плохо переносят гидробионты быстрое понижение температуры. Так, летальная для рыбы *Lepomis* скорость понижения температуры в 20 раз ниже той, которая наблюдается при повышении. Холодовой шок опаснее теплового, и с его возможностью нужно считаться даже при кратковременных остановках работы АЭС и ТЭС. Особенно чувствительны к термическому стрессу гидробионты на ранних стадиях развития.

Повышение температуры воды оказывает очень сложное влияние на физиологию гидробионтов как непосредственно, так и косвенно. Например, у рыб в связи с подогревом воды снижается буферность крови и нарушается процесс формирования скелета (снижение концентрации карбонатов), повышается рН крови, усиливается синтез липидов (деактивация холина), уменьшается количество убихинона и снижается уровень окислительного фосфорилирования, возрастает концентрация водорастворимых витаминов.

**Ход работы:** изучить теоретический минимум, письменно ответить на перечисленные вопросы, сформулировать и записать выводы

1. Дайте определение и перечислите последствия антропогенной эвтрофикации
2. Охарактеризуйте негативные проявления цветения водоемов.
3. Опишите какие характеристики цианобактерий обеспечивают их высокую выносливость.
4. Укажите источники поступления биогенов.
5. Перечислите мероприятия по предупреждению антропогенной эвтрофикации
6. Охарактеризуйте влияние термофикации на фауну и флору водоемов.

**Литература [1, 2, 6]**

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3

(Продолжительность практического занятия – 4 часа)

**Тема:** Биологическое самоочищение водоемов и формирование качества воды

**Цель работы:** Изучить особенности биологического самоочищения

**Материалы:** раздаточный материал с теоретическим минимумом и заданием для практической работы

### Теоретический минимум

Биоценозы, обладая способностью к саморегуляции, в известных пределах способны кондиционировать свою среду, противодействовать ее изменениям под влиянием внешних воздействий. Поэтому часто говорят о *приемной емкости* водоема — количестве загрязняющих веществ, которое он может воспринимать без возрастания их концентрации до уровня, вызывающего деформацию экосистемы и неприемлемого для человека. Различают емкость *геофизическую*, определяемую скоростью седиментации, *геохимическую*, обуславливаемую химическими превращениями, и *биологическую*, зависящую от темпа биоседиментации и биодетоксикации загрязнений.

Поступающая с водосборной площади органика, если ее не слишком много, не накапливается в водоеме, а минерализируется в процессе дыхания. В значительной мере в метаболизм вовлекаются различные загрязняющие вещества, и в результате их биологического разрушения происходит детоксикация среды. Гидробионты-фильтраторы и седиментаторы осветляют воду, осаждая взвесь на дно, и способствуют захоронению вредных веществ в грунте, т.е. удалению из экосистемы.

Выделение автотрофами кислорода и поглощение углекислого газа — важнейшие факторы улучшения газового режима водоемов. В этом же отношении большое значение имеет вододвигательная функция гидробионтов. Усиление турбулентного движения воды одновременно ускоряет многие процессы биологического самоочищения, способствуя повышению уровня метаболизма гидробионтов (отток катаболитов, приток анаболитов), поступлению ферментов из функционирующих и мертвых организмов (экстракция).

Обогащение воды некоторыми метаболитами гидробионтов имеет первостепенное значение для улучшения ее питьевых качеств и условий существования многих представителей населения водоемов. Велико значение биологических процессов, влияющих на распределение

Гидробиоценозы представляют собой систему, противостоящую эвтрофикации и загрязнению водоемов, систему биологического самоочищения, направление и мощность работы которой в значительной мере определяют качество воды, ее биологическую полноценность. Под воздействием гидробионтов из природного минерала — воды образуется новое, более сложное биокосное тело, которое необходимо для нормального существования организмов, в том числе и человека.

Гидробиоценозы — «биофабрики» питьевой воды, дающие в соответствии со своим состоянием продукцию разного качества, улучшение которого имеет существенное медико-санитарное значение. Поэтому изучение процессов биологического самоочищения водоемов и формирование качества воды с ростом цивилизации приобретает все большее значение.

**Минерализация органического вещества.** Чем больше в водоеме гидробионтов-гетеротрофов и чем выше уровень их метаболизма, тем больше органического вещества подвергается биологическому окислению и, следовательно, энергичнее идет процесс самоочищения. В наибольшей степени минерализация идет благодаря жизнедеятельности аэробных бактерий и простейших. Поэтому высокая обеспеченность кислородом ускоряет самоочищение.

Величина редукции органики оценивается превышением деструкции над первичной продукцией и поступлением аллохтонной органики. Данные показывают, что в континентальных водоемах, особенно в реках и водохранилищах, деструкция значительно

превышает новообразование органического вещества. Такая ситуация весьма обычна, так как в условиях поступления аллохтонной органики с водосбора экосистемы могут устойчиво существовать только в случае превышения деструкции над продукцией, за счет перемещения части органических веществ в грунт или выноса их из водоема.

В соответствии с общими закономерностями минерализация возрастает с повышением температуры, ускорением оттока катаболитов и притока анаболитов. Вследствие этого, в проточных водоемах с интенсивным турбулентным перемешиванием воды минерализация идет быстрее, чем в стоячих.

Прослежено, что корреляция между количеством микроорганизмов (основных минерализаторов) и скоростью минерализации не очень тесная. С одной стороны, это связано с колебаниями активности микроорганизмов, с другой — с присутствием в воде свободных окислительных ферментов. При разрушении микроорганизмов содержащиеся в них ферменты оказываются в воде и продолжают работу. Турбулентность воды ускоряет экстракцию ферментов и их воздействие на разлагаемые субстраты.

О минерализационной работе гидробионтов можно судить по снижению ВПК— биохимического потребления кислорода. Действительная величина минерализации значительно выше, поскольку уменьшение БПК отражает лишь превышение деструкции над алло- и автохтонным поступлением органики в экосистему. Одновременно четко прослеживается постепенное снижение содержания в воде фосфора. Хорошая характеристика редукции органического вещества — снижение окисляемости воды, как перманганатной, так и бихроматной. Первая, как уже говорилось, отражает содержание в воде легкоокисляемого органического вещества и по величине значительно уступает бихроматной. Известное представление о ходе минерализационных процессов можно получить на основе анализа изменений концентрации кислорода в воде по мере удаления от источника загрязнения. Получается характерная кривая «кислородного прогиба», отражающая напряженность окислительных процессов в местах с различным содержанием лабильной органики.

**Биоседimentация и осветление воды.** Освобождение воды от загрязняющих веществ, как правило, происходит в результате их биологического перемещения на дно. Захороняясь в грунт, токсиканты становятся менее опасными, тем более, что многие из них недолговечны (короткоживущие радионуклиды, нестойкие органические вещества) и могут полностью обезвреживаться за время пребывания в донных отложениях. Сам процесс биологического перемещения загрязнений из воды в осадки (биоседimentация) может быть следствием нормальной жизнедеятельности гидробионтов или их отмирания с последующим опусканием на дно. Транзит загрязнений из воды в грунт в процессе нормальной жизнедеятельности гидробионтов осуществляется главным образом в результате работы фильтраторов и седиментаторов. Изымая из воды огромные количества взвеси, эти организмы отчасти транспортируют ее в грунт в виде продуктов жизнедеятельности, которые опускаются на дно.

Таким образом, в результате изъятия взвесей в пресных водоемах и морях происходит огромный по своим масштабам процесс осветления воды, осуществляемый моллюсками, ракообразными, асцидиями, иглокожими, личинками насекомых и многими другими животными.

Благодаря совокупной фильтрационной работе мидий, устриц и других двустворчатых моллюсков в прибрежье морей создается необычайно мощный пояс биофильтра, сквозь который ежедневно пропускается вся вода литоральной и сублиторальной зоны.

В пресных водах огромная фильтрационная работа выполняется перловицами, беззубками, дрейссеной и другими двустворчатыми, причем скорость фильтрации у них еще выше, чем у морских форм.

Интересно отметить, что, отцеживая огромные количества воды, моллюски не губят свою молодь из-за отсутствия в кишечнике протеаз; после прохождения через



пищеварительный тракт велигеры дрейссен и диссоконхи мидий полностью сохраняют свою жизнеспособность.

Очень велика в биологическом самоочищении и роль вододвигательной функции фильтратов и седиментаторов. Вызываемое ими перемешивание воды ускоряет процесс минерализации органики и биологической детоксикации загрязнений.

Чрезвычайно велика биоседиментация, связанная с опусканием на грунт отмерших организмов. Инкорпорированные в них токсические и другие загрязняющие вещества захороняются в количествах, соизмеримых со всеми формами гидрологического осаждения. Такое положение, в частности, отмечается для радионуклидов в неритической и океанической зонах пелагиали Мирового океана.

Прижизненное инкорпорирование загрязненных веществ гидробионтами вне зависимости от дальнейшей судьбы последних представляет собой самостоятельный фактор улучшения качества воды, сопряженный, однако, с ухудшением токсикологической характеристики самих обитателей гидросферы.

**Биологическая детоксикация.** Все гидробионты в какой-то мере способны разрушать или обезвреживать различные токсические вещества. В одних случаях токсиканты используются как источники пищи (энергии), в других — в качестве доноров кислорода или в иных целях, в третьих — попадают в тело гидробионтов вместе с пищей и водой, после чего инактивируются подобно тому, как обезвреживаются ядовитые вещества в печени высших животных. В результате этих процессов количество и концентрация токсикантов в водоемах снижаются.

В еще большей степени уменьшается количество токсических веществ в воде вследствие их накопления в организмах. Наибольшее значение для самоочищения водоемов имеет биологическая детоксикация нефти и других углеводородов, пестицидов и солей тяжелых металлов, вредных продуктов метаболизма.

Разрушение нефти и ее продуктов на 10—90 % осуществляется микроорганизмами по типу окислительной ассимиляции; такой способностью обладает около 100 видов бактерий, дрожжей и грибов, на развитие которых в естественных условиях влияют температура, рН, концентрация кислорода, соленость и другие факторы.

В водоемах, загрязненных нефтепродуктами, встречаются микроорганизмы, окисляющие соляровое, машинное, вазелиновое масла, керосин, парафин, нафталин. Выделено 14 видов бактерий, способных расти на минеральной среде с нефтью в качестве единственного источника углерода и энергии. Наиболее распространенные среди них — *Pseudomonas desmolyticum* и *Bacterium album*. Максимальное количество бактерий встречается в прибрежье, в грунте бактерии концентрируются преимущественно в верхнем (окисленном) слое, их численность резко снижается с продвижением в открытое море.

В настоящее время на основе изучения жизнедеятельности нефтеокисляющих бактерий разработан эффективный метод биологической очистки вод, содержащих нефтепродукты. Такие воды, в частности балластные воды танкеров, содержащие 5—10 % нефтепродуктов, засеваются нужными штаммами бактерий, которые почти полностью используют углеводороды в процессе своей жизнедеятельности.

Существенное значение в самоочищении водоемов от нефти имеют высшие растения. Они увеличивают площадь соприкосновения нефтепродуктов разлагающей их микрофлорой, повышают численность микроорганизмов — разрушителей нефти, выделяя стимулирующие их рост метаболиты, и обогащают воду кислородом, обеспечивая бесперебойность окислительных процессов.

Существенную роль в снижении нефтяного загрязнения играют мидии. Резистентные к загрязнению моллюски собирают взвешенные в воде частицы нефти в комки псевдофекалий. Комочки легче воды, плавают на ее поверхности, но когда на них оседает минеральная взвесь, тонут. Уже через несколько минут в мутно-желтой эмульсии

нефти вокруг мидий начинает образовываться светлое пятно, через час вода в аквариуме осветлялась.

С участием большого количества микроорганизмов разрушаются пестициды. Многие феноксиуксусные кислоты (гербициды 2,4-Д; 2,4-Т) разлагаются в результате разрыва ароматического кольца и отщепления атомов хлора в виде неорганических хлоридов. Многие соли тяжелых металлов, особенно с переменной валентностью, обезвреживаются в процессе жизнедеятельности ряда водорослей и бактерий. Например,  $Cu^{+}$  полностью исчезал из воды через 30 дней после инокуляции *Scenedesmus quadricauda* и *Chlorella vulgaris*: с одной стороны, происходило его восстановление до  $Cu^{3+}$ , с другой — накопление в водорослях.

**Фотосинтетическая аэрация воды и обогащение ее метаболитами.** Большое значение для ускорения многих процессов биологического самоочищения и улучшения питьевых качеств воды имеет обогащение ее кислородом, выделяющимся в процессе фотосинтеза.

Установлено, что на качество воды огромное влияние оказывают вещества, выделяемые в процессе жизнедеятельности микроорганизмами, водорослями и другими гидробионтами. одной стороны, речь идет о выделении различных витаминов и других веществ, благоприятствующих росту и развитию водных организмов и повышающих питьевые качества воды. С другой стороны, многие катаболиты гидробионтов способны предотвращать некоторые физико-химические процессы, ухудшающие биологические качества воды.

Установлено, что «растворенные в воде органические вещества» (РОВ) подвергаются перекисному окислению свободным кислородом с образованием биологически активных перекисей, гидроперекисей, свободных радикалов и других продуктов. Среди РОВ особенно реакционно-способны липиды, в частности ненасыщенные жирные кислоты. В результате перекисного окисления липидов образуются промежуточные продукты — гидроперекиси и перекиси. и конечные — альдегиды, кетоны, эпоксиды и др. Эти продукты токсичны для гидробионтов. Перекиси разрушают витамины А, D, К, эпоксиды мутагенны и канцерогенны. Летучие осколки молекул могут придавать воде неприятные запахи и привкусы. Свободные радикалы ингибируют многие жизненно важные процессы; под влиянием продуктов перекисного окисления инициируется цепное окисление ненасыщенных жирных кислот в фосфолипидах биомембран, которое вызывает нарушение их проницаемости и гибель гидробионтов. Показано, что продукты свободнорадикального окисления вызывают у гидробионтов ряд неспецифических патологических изменений с характерными симптомами: слабой реакцией на внешние раздражения, падением темпа роста, анемией и др.

Гомеостаз организма на гуморальном уровне регуляции свободнорадикального окисления обеспечивается перераспределением между тканями эндогенных антиокислителей. При недостатке в яйцеклетках запасов антиокислителей (*антиоксидантов*) в липидах икры образуется большое количество продуктов свободнорадикального окисления, и появляется много уродливых эмбрионов. При обогащении воды антиокислителями они сорбируются икрой, и процессы эмбриогенеза оптимизируются. Одновозрастные группы рыб, выращенные в одинаковых условиях, разнородны по количеству антиоксидантов и липоперекисей в тканях. Особи, в тканях которых больше антиокислителей, быстрее растут, лучше используют корм, устойчивее к повреждающим воздействиям и инфекционным заболеваниям. Неконтролируемое антиоксидантами свободнорадикальное окисление вызывает необратимые патологические процессы. Таким образом, присутствие и концентрация антиоксидантов в воде в значительной степени определяют ее качество как среды гидробионтов.

Выяснилось, что водоросли активно ингибируют перекисное окисление РОВ. экстрактах водорослей обнаружены вещества с антирадикальными и антиокислительными

свойствами: а-токоферол, каротиноиды и др. По мере старения культуры и снижения интенсивности ее размножения антиокислительная активность водорослей падает.

В цветущих водоемах обнаруживаются токоферолы, витамины А, D, К и каротиноиды, обладающие антиокислительной активностью, в концентрации  $10^{-9}$ - $10^{-6}$  моль/л. Показано, что антиокислительная активность экстрактов нейстона выше, чем у планктона, и зависит главным образом от доли в нем животных.

**Ход работы:** изучить теоретический минимум, письменно ответить на вопросы сформулировать и записать выводы.

1. Дайте общую характеристику влияния гидробиоценозов на формирование качества воды
2. Какие факторы влияют на минерализацию органического вещества?
3. По каким показателям можно оценить примерный уровень минерализации?
4. Охарактеризуйте процессы биологической седиментации. Какие организмы принимают активное участие в биологической седиментации в морских и пресных водоемах?
5. Опишите биологическую детоксикацию на примере разрушения нефти
6. Что такое «РОВ»? Их воздействие на организмы.
7. Какие механизмы противодействия процессам свободорадикального окисления существуют в гидробиоценозах?

**Литература [1, 2, 4]**

#### **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4**

(Продолжительность практического занятия – 4 часа)

**Тема:** Роль отдельных групп гидробионтов в самоочищении водоемов

**Цель работы:** Определить роль различных групп гидробионтов в самоочищении водоемов

**Материалы:** раздаточный материал с теоретическим минимумом и заданием для практической работы

**Теоретический минимум**

**Бактерии.** Поступающие в водоем органические вещества, равно как и образующиеся в нем в результате синтеза первичной продукции, подвергаются воздействию со стороны всех групп гидробионтов. Основную роль в минерализации органических соединений играют бактерии.

Бактериальное население водоема делится на аллохтонное, т. е. поступающее извне, и автохтонное, присущее водоему аллохтонные бактерии вносятся в водоем с дождевым стоком, а также со сточными и очищенными водами. Среди них преобладают сапрофитные формы, но могут быть и болезнетворные микроорганизмы. В тех случаях, когда аллохтонная микрофлора находит в водоеме благоприятные условия для жизни, наблюдается увеличение ее количества. Но чаще бактерии, попадая в необычные для них условия водоема, постепенно отмирают. Скорость отмирания зависит от температуры, от обеспеченности питательными веществами и от других причин. В зимний период сроки бактериального самоочищения водоемов затягиваются и, следовательно, возрастает опасность распространения патогенных микроорганизмов. Автохтонные сапрофиты интенсивнее всего развиваются преимущественно в водоемах эвтрофного типа. В этих водоемах наблюдается интенсивный прирост бактериальной биомассы, сопровождающийся деструкцией органического вещества. С увеличением степени эвтрофикации озера заметно снижается отношение общего числа бактерий к числу

сапрофитов. Это вполне естественно, так как именно в эвтрофных водоемах лучше условия питания для гетеротрофных бактерий.

Гетеротрофные бактерии — это целлюлозоразлагающие бактерии *Cytophaga* и *Sporocytophaga*, многие эпифитные (постоянно живущие на растениях) бактерии; из анаэробных форм — клостридии, сбраживающие пектин, крахмал и другие углеводы. Так как в водоемах содержится много растительных остатков, то роль этих микроорганизмов в деструкции органического вещества весьма велика.

Хемоавтотрофные формы представлены в водоеме нитрифицирующими, сероокисляющими бактериями и железобактериями. В иловых отложениях встречаются метановые сульфатовосстанавливающие и водородные бактерии. Условия существования в водоеме и особенно на дне чрезвычайно специфичны. Илы и донные грунты представляют собой проточные капиллярные системы, и поэтому многие микроорганизмы, адаптированные к жизни в илах, неспособны жить в пробирках или на чашках Петри. Одна из основных особенностей жизни в илах — их постоянное перемешивание, которое приводит к непрерывному обмену среды вокруг бактериальных клеток. Поэтому многие микроорганизмы илов способны существовать только в проточных культурах. Другая особенность илов в том, что на очень малых расстояниях друг от друга, измеряемых миллиметрами и долями миллиметров, располагаются микрзоны, резко отличающиеся по физико-химическим свойствам. Способные к активному движению бактерии ила располагаются в этих микрзонах соответственно своим потребностям. Невозможность создания аналогичных условий в лаборатории долгое время тормозило изучение микрофлоры илов.

Задача воспроизведения в лаборатории условий, близких к природным, в значительной степени была решена после разработки Б. В. Перфильевым и Д. Р. Габе технологии изготовления плоскопараллельных стеклянных капилляров заданного сечения. При введении таких капилляров в ил на внутренней поверхности его каналов начинает развиваться микрофлора, расположение которой соответствует ее распределению в донных отложениях. Создаются так называемые микробные пейзажи, изучение которых позволило обнаружить новые, ранее неизвестные формы бактерий.

Среди новых родов и видов были обнаружены бактерий с хищным типом питания. Эти бактерии образуют микроколонии, состоящие из палочковидных клеток, соединенных друг с другом, и способные к активному движению. Они могут изменять свою форму, сжиматься, растягиваться и делиться. Все хищные бактерии способны захватывать пищу. Для этого одни из них образуют из клеток колонии кольца и петли, другие — замыкающие полости, третьи оплетают пищу сетью типа паутины, при этом клетки выделяют слизь и смыкаются в клубок.

С помощью капилляров Б. В. Перфильев и Д. Р. Габе изучили также микроорганизмы, участвующие в образовании железомарганцевых руд. Эти микроорганизмы они отнесли к роду *Metallogenium*. Таким образом, применение новой методики позволило сделать важные открытия в области изучения микрофлоры водоемов.

К типичным водным обитателям, не входящим в общее число сапрофитов, относятся многие слизиобразующие организмы, такие, как *Zoogloea ramigera* и *Sphaerotilus natans*. Способность образовывать зооглен, т. е. оформленные бактериальные скопления, имеющие общую слизистую капсулу, свойственна многим микроорганизмам. В случае изменения условий существования способность к образованию слизистых капсул нарушается, и поэтому при выделении в чистую культуру не были получены типичные зооглейные образования, встречающиеся в природных условиях.

Можно ожидать, что дальнейшее совершенствование методов изучения микрофлоры водоемов позволит открыть новые виды микроорганизмов, играющих существенную роль в круговороте веществ в водоеме.

**Растения.** Растительный мир водоемов представлен фитопланктоном, микробентосом и высшими водными растениями. В загрязненных водоемах процессы

окисления органических соединений идут весьма интенсивно. Основные поставщики кислорода, расходуемого на окисление органических веществ бактериями,— водные растения.

Фитобентос играет очень большую роль на мелководьях и в искусственных каналах, в которых стенки часто покрываются сплошным ковром нитчатых водорослей. На более глубоких участках водоемов роль фитобентоса невелика, так как рост водорослей ограничивается недостатком света.

Водоросли способны непосредственно усваивать простые органические соединения и тем самым участвовать в процессах самоочищения водоема. Очень велика роль фитопланктона в процессах удаления из воды избытка соединений азота и фосфора. Известно, что при поступлении в водоемы очищенных сточных вод содержание в них нитритного и нитратного азота, а также фосфора намного превышает содержание их в незагрязненных водоемах. Водоросли, расходуя биогенные элементы на построение своей биомассы, способствуют их удалению из воды.

Помимо положительной роли водорослей в процессе самоочищения водоемов, фитопланктон при некоторых условиях может способствовать и увеличению степени загрязненности воды. Например, некоторая часть органических веществ, синтезированных водорослями, может поступать в воду, увеличивая тем самым количество растворенной в воде органики.

В несбалансированных водоемах, где первичная продукция не используется или используется недостаточно полно организмами следующих трофических уровней, после отмирания фитопланктона возможно накопление разлагающихся органических веществ и так называемое вторичное загрязнение водоема. При разложении водорослей легкоокисляемые органические вещества, такие, как растворимые углеводы и белки, минерализуются и поступают в воду. Более трудноокисляемые соединения, в частности клетчатка, опускаются на дно, где они участвуют в образовании стойких лигнино-гумусовых комплексов и способствуют заилению водоемов.

Предотвращение вторичного загрязнения водоемов может быть достигнуто путем удаления избытка фитопланктона и фитобентоса, но это трудно разрешимая техническая задача. Второй путь заключается в создании условий в водоеме, при которых вся первичная продукция будет утилизирована на последующих трофических уровнях.

К высшим водным растениям, или макрофитам, относятся тростник, камыш, рогоз, рдест и другие растения, имеющие корень, стебель и листья. Роль макрофитов в самоочищении водоемов велика и многообразна. Они принимают участие в удалении из воды взвесей, минеральных и органических веществ, оказывают влияние на химизм водоема.

Поступающие в водоем вместе с поверхностным стоком взвешенные вещества в литоральной зоне встречают своеобразный барьер из высших растений. Скорость течения среди растений ниже, чем в открытом водоеме. Это способствует выпадению взвесей в осадок. Поверхность стеблей и листьев макрофитов обычно покрыта слизью, к которой прилипают содержащиеся в воде взвеси. Чем больше суммарная поверхность растения, тем эффективнее роль его как фильтра.

В процессах фотосинтетической аэрации макрофиты играют не меньшую роль, чем фитопланктон. Очень большое значение имеет способность высших водных растений аккумулировать в своем теле различные элементы: камыш активно поглощает марганец, ирис—кальций, осока—железо, ряска—медь и т. д. Коррелятивной зависимости между содержанием в воде минеральных элементов и их поглощением растениями обычно не наблюдается.

В местах вегетации высших водных растений обычно не наблюдается «цветения» воды. Это объясняется изъятием фосфора из воды макрофитами.

Высшие водные растения принимают участие в процессах очистки водоемов от органических веществ. Минерализующая роль макрофитов не может быть объяснена

только выделением ими кислорода. Например, доказано, что камыш озерный интенсивно очищает воду, от фенолов. В течение суток одно растение камыша массой 100 г способно извлечь из воды до 4 мг фенола. Помимо фенола, поглощаются и его производные: лирокатехин, резорцин, ксилол и др. Поглощенные соединения включаются в метаболизм растения и, следовательно, обезвреживаются. Также установили, что макрофиты способствуют всплыванию нефтепродуктов, осевших на дно, их разрушению. Даже при непрерывном поступлении нефти в водоем в зарослях высших водных растений она присутствует в незначительном количестве. Наиболее перспективные растения для очистки воды от нефти: камыш озерный и рогозы—узколиственный и широколистный. Разрушение нефти в присутствии макрофитов можно объяснить деятельностью эпифитной (развивающейся на растениях) микрофлоры. Экспериментально показано, что в присутствии нефтепродуктов количество бактерий в сосудах с растениями возрастает, причем более всего увеличивается число нефтеокисляющих бактерий.

К числу опасных загрязнителей водоема относятся радионуклиды. Высшие водные растения способны аккумулировать цезий-137, стронций-90, кобальт-60.

Учитывая положительное влияние макрофитов на окисление и минерализацию органического вещества в водоемах, многие исследователи предлагают использовать их для интенсификации процессов самоочищения водоемов. По сравнению с микрофитами макрофиты имеют и то преимущество, что их легко собирать и удалять из водоема.

**Животные.** Роль животных организмов в процессе самоочищения водоемов в значительной степени определяется их способом питания. Фильтраторы и седиментаторы освобождают воду от взвесей, в том числе от бактерий и водорослей. Тем самым они способствуют осветлению воды.

Активными седиментаторами являются многие спиралересничные и кругоресничные инфузории. Например, одна особь *Carchesium lachmani* при питании в течение часа пропускает через свой организм около 30 000 бактерий, а колонии *Carchesium* состоят из многих тысяч особей. Седиментация присуща и другим представителям кругоресничных инфузорий. У многих сувоек (*Vorticella*) в течение 30—40 с тело заполняется пищеварительными вакуолями с бактериями. Седиментаторами являются многие коловратки.

Фильтрация свойственна многим ракообразным, в том числе дафниям, личинкам комаров *Culex* и *Anopheles*, многощетинковым червям *Polychaeta*, а из рыб—толстолобику. При фильтрации животные пропускают сквозь имеющиеся у них мелкопористые структуры ток воды и используют для питания отцеженный материал.

Фильтраторы зоопланктона снижают численность бактерий в прудах примерно на 99 %. При высокой численности дафний они за сутки могут профильтровать весь объем пруда. Скорость фильтрации воды и поглощательная способность ветвистоусых рачков настолько велики, что в течение суток рачки потенциально способны поглотить всех бактерий, содержащихся в пруду. Практически этого не бывает, так как параллельно идет размножение бактерий. Двустворчатые моллюски—дрейссены, беззубки, перловицы—оказывают очень большое влияние на химический состав воды. *Dreissena polymorpha* длиной 2—3 см при  $t=17-18$  °C пропускает через себя за сутки 1,5—2 л. Перловицы и беззубки длиной 5—6 см при температуре 20 °C отфильтровывают за сутки 16 л воды, а крупные формы, достигающие 9—11 см длины,—до 60—70 л воды на одну особь.

Изъятую из воды взвесь фильтраторы и седиментаторы перерабатывают в своем теле, а непереваренные остатки выбрасывают в виде фекальных комочков, которые опускаются на дно водоема. Большую роль в процессах самоочищения играет образование ими так называемых «псевдофекалий». Моллюски, например, не заглатывают большую часть отфильтрованного материала, а склеивают его и выбрасывают. Такие «псевдофекалии», состоящие из малопригодных в пищевом отношении комочков, также оседают на дно. Таким способом фильтраторы осуществляют транспорт загрязняющих веществ из воды на дно.

Большое влияние оказывают организмы зоопланктона на кислородный режим водоема. Влияние это прямое и косвенное. Прямое влияние выражается в усиленном потреблении кислорода зоопланктоном в процессах дыхания. Косвенное влияние зоопланктона на кислородный режим водоема выражается в том, что в результате выедания им фитопланктона снижается интенсивность фотосинтеза. При массовом развитии зоопланктона вода обычно становится прозрачной вследствие выедания фитопланктона и бактерий; отсутствует явление стратификации, так как дафнии активно перемешивают воду; содержание кислорода обычно бывает низким, 0,2—1,0 мг/л, но одинаковым на поверхности воды и в глубине опять-таки в результате турбулентного перемешивания, осуществляемого дафниями.

В процессах самоочищения водоемов от органических веществ фильтраторы и седиментаторы играют роль потребителей первичной продукции. Они относятся к так называемому «мирному» зоопланктону и являются консументами I порядка. Сами они в свою очередь служат пищей хищным организмам зоопланктона и планктоноядным рыбам. Растительноядные рыбы, например толстолобик или белый амур, также относятся к консументам I порядка. Планктоноядные рыбы относятся сразу к двум (или более) трофическим уровням: поедая фильтраторов и седиментаторов, они выступают как организмы второго трофического уровня, а в качестве потребителей хищного зоопланктона относятся к третьему трофическому уровню.

**Ход работы:** изучить теоретический минимум, письменно ответить на перечисленные вопросы, сформулировать и записать выводы

1. Дайте определение термину и кратко охарактеризуйте аллохтонную и автохтонную микрофлору водоемов.
2. Составьте схему распределения обитающих в водоеме бактерий по типам питания
3. Назовите специфические особенности условий существования на дне водоемов. Какие открытия были сделаны с помощью метода плоскопараллельных капилляров?
4. Заполните таблицу.

Таблица 2 – Роль различных гидробионтов в процессах деструкции и изъятия загрязнителей из водоемов

<i>Группа гидробионтов</i>	<i>Роль в процессах очищения водоема</i>
<i>Бактерии</i>	
<i>Фитопланктон</i>	
<i>Макрофиты</i>	
<i>Растительноядный зоопланктон</i>	
<i>Хищный зоопланктон</i>	
<i>Рыбы</i>	

**Литература [1, 2, 6]**

### **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5**

(Продолжительность практического занятия – 4 часа)

**Тема:** Биологическая индикация загрязнения водоемов

**Цель работы:** Изучить особенности биологической индикации загрязнения водоемов

**Материалы:** раздаточный материал с теоретическим минимумом и заданием для практической работы

### Теоретический минимум

Оценка степени загрязнения водоемов дается в двух основных планах. Один из них, связан с выявлением возможных гигиенических ухудшений, в частности питьевых, качеств воды; другой — с охраной водных экосистем от деградации (ухудшения их продукционных характеристик или тех, что определяют биологическое формирование качества воды и гомеостаз гидросферы). Исследования в первом плане, проводимые гигиенистами, во — втором — гидробиологами, тесно взаимосвязаны и дополняют друг друга при решении общих задач охраны водоемов от загрязнения.

При гидробиологической индикации загрязнения широко используют физико-химические методы (определение прозрачности воды, количества взвеси, концентрации растворенных газов и других веществ). Физико-химические характеристики легко выявляются, имеют строго количественное выражение, однако не дают непосредственного ответа на вопрос о возможной реакции экосистемы на те или иные загрязнения. В этом отношении гораздо совершеннее биологическая индикация, основанная на учете состояния самих экосистем, хотя применение ее часто ограничивается сложностью требуемых исследований, а также трудностью количественного выражения и обработки полученных сведений.

Разнообразные методы биоиндикации в гидробиологии разрабатывают на организменном, популяционном и биоценотическом уровнях с последующим синтезом всех полученных данных.

На организменном уровне загрязнение водоемов, особенно их интоксикацию, устанавливают, используя, прежде всего морфологические и физиологические критерии. В условиях хронической интоксикации часто наблюдается рождение уродливых форм, их изменение, появление интерсексов. Снижается темп роста особей, падает их плодовитость. Под влиянием загрязнения меняется уровень обмена, снижается эффективность усвоения пищи, и степень использования ассимилированной пищи на рост.

Резкое ухудшение среды часто хорошо выявляется по измененному поведению особей. Так, при различных токсических воздействиях бентониты выказывают тенденцию к всплыванию к поверхности, меняя знак фототаксиса с отрицательного на положительный; в обратном направлении меняется и знак геотаксиса. При остром отравлении гидробионтов характерно изменение их позы, способа плавания (например, инверсия в положении тела рыб). В среде с токсикантами ветвистоусые рачки движутся вокруг своей оси или по спирали, самки абортируют яйца и эмбрионы. Коловратки под влиянием токсикантов впадают в анабиоз, прекращают питание, вытягиваются в длину или сжимаются. Гаммариды и водяные ослики становятся малоподвижными, личинки хирономид судорожно вытягиваются, неподвижно лежат на дне, из красных становятся зелеными. Двустворчатые моллюски смыкают или широко раскрывают створки, вытягивают сифоны, брюхоногие втягивают тело в раковину, покрываются слоем слизи. Чувствительность организмов к токсикантам возрастает с повышением температуры.

В обоих случаях достигается перемещение в тот слой воды, который в естественных условиях имеет лучшие для гидробионтов химические показатели (большее насыщение кислородом, отсутствие сероводорода, метана и др.) с наименьшей токсичностью. Оценка степени загрязнения водоема по состоянию популяций сводится к выявлению аномалий в их структуре и внутрипопуляционных взаимодействиях. Так как молодые особи чувствительнее взрослых к интоксикации, их относительное значение в популяциях с нарастанием загрязнения снижается. Поэтому изменение возрастной структуры может быть хорошим индикатором состояния среды. Характерно изменение под влиянием загрязнения половой структуры популяции — увеличение в них относительного количества самцов, т.е. адаптация, направленная на повышение жизнестойкости потомства. В этом же плане следует рассматривать переход метагенетически размножающихся популяций с партеногенеза на двухполость и образование покоящихся яиц — обычная реакция метагенетических видов на ухудшение



условий существования. Показательно появление в популяции карликовых самцов при загрязнении. Снижение рождаемости и повышение смертности под влиянием токсикологического стресса сопровождается снижением численности и биомассы популяции.

Обратная картина наблюдается, если загрязнение окажется фактором, улучшающим условия жизни тех или иных популяций (например, развитие нефтеокисляющих и других бактерий в присутствии соответствующих веществ).

На биоценологическом уровне индикация загрязнения основывается прежде всего на анализе видовой и трофической структуры сообществ. Токсикологический стресс ведет к выпадению из сообщества менее толерантных форм, и разнообразие биоценоза снижается. Это снижение усиливается упрощением трофической структуры, доминированием в ней немногих пищевых цепей, среди которых голозойные играют все меньшую роль. Получают преимущество цепи разложения, деструкция все больше преобладает над продукцией, анаэробные процессы — над аэробными. Основная форма биоиндикации загрязнения на биоценологическом уровне — учет видовой структуры сообщества — нахождение в нем тех или иных организмов с характерным экологическим обликом. 1908 г. Р. Кольквитц и М. Марссон использовали этот принцип для оценки степени загрязнения водоемов по присутствию или отсутствию в них гидробионтов с разной степенью оксифильности, чувствительности к содержанию в окружающей воде неразложившихся органических веществ и продуктов их распада.

По шкале Кольквитца и Марссона, водоемы или их зоны в зависимости от степени загрязнения органическими веществами подразделяются на поли-, мезо- и олигосапробные. Полисапробные воды характеризуются почти полным отсутствием свободного кислорода, наличием в воде неразложившихся белков, значительных количеств сероводорода и диоксида углерода, восстановительным характером биохимических процессов. В полисапробных водах самоочищение в основном идет благодаря деятельности бактерий *Thiopolycoccus ruser* и *Sphaerotilus natans*, жгутиковых *Oicomonas mutabilis*, инфузорий *Paramaecium putrinum* и *Vorticella putrina*, олигохет *Tubifex tubifex*, личинок мухи *Eristalis tenax*. Число видов, способных жить в крайне загрязненных водоемах, сравнительно невелико, но зато они встречаются здесь в массовых количествах.

В мезосапробных водоемах загрязнение выражено слабее: неразложившихся белков нет, сероводорода и диоксида углерода немного, кислород присутствует в заметных количествах; однако в воде есть еще такие слабоокисленные азотистые соединения, как аммиак, аминокислоты и амидокислоты. В олигосапробных водах сероводород отсутствует, диоксида углерода мало, количество кислорода близко к величине нормального насыщения, растворенных органических веществ практически нет.

**Мезосапробные воды.** В альфа-мезосапробных водах встречаются аммиак, аминокислоты и амидо-кислоты, но уже есть и кислород. Наиболее характерны здесь многочисленные бактерии, гриб *Mucor*, синезеленые *Oscillatoria*, *Prormidium*, простейшие *Chlamydomonas debaryana*, *Euglena uiridis*, *Stentor coeruleus*, многие коловратки, моллюск *Sphaerium corneum*, рачок *Asellus aquaticus*, личинки двукрылых *Chironomus* и *Psychoda*. Минерализация органического вещества в основном идет за счет его аэробного окисления, особенно бактериального.

Следующая, бета-мезосапробная, подзона характеризуется присутствием аммиака и продуктов его окисления — азотной и азотистой кислоты. Аминокислот нет, сероводород встречается в незначительных количествах, кислорода в воде много, минерализация идет за счет полного окисления органического вещества. Видовое разнообразие обитателей этой подзоны гораздо выше, чем в предыдущей, но численность и биомасса организмов ниже. Наиболее характерны здесь диатомовые *Melosira varians*, *Diatoma* и *Navicula*, зеленые *Cosmarium*, *Botrytis*, *Spirogyra crassa*, *Cladophora*, многие протококковые и бактерии. Впервые появляются цветковые растения — роголистник *Ceratophyllum*

demersum. Из животных многочисленны корненожки, солнечники и инфузории, начинают встречаться губки, мшанки и основная масса моллюсков. Многочисленны ракообразные и рыбы. Население олигосапробных вод наиболее разнообразно в видовом отношении, но количественно заметно беднее, чем в других зонах.

Совершенствование системы Кольквитца и Марссона прежде всего шло путем ее расширения и уточнения показателей загрязнения, была введена категория особо чистых катаробных вод (пересыщение кислородом, отсутствие  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ ), в качестве характеристики зон сапробности стали использоваться: величина БПК — биохимического потребления кислорода и численность бактерий группы кишечной палочки. В. Сладчком предложено различать пять зон токсобности, в которых погибает <50, <75, <100 и 100 % организмов соответственно после двухсуточного пребывания. На современном этапе, в наиболее простой форме биоценотическая индикация загрязнения сводится к сравнению видового богатства, разнообразия, численности и биомассы населения в загрязненной и контрольной зонах. Использование показателей видового разнообразия и информационных индексов для оценки загрязненности осложняется при экстремальных состояниях среды. Например, жизнь крайне обедняется в горячих источниках, пересоленных водоемах, мутных реках, в суровых ледовых условиях и в некоторых других случаях.

**Токсикологический контроль.** Сточные воды содержат различные токсические вещества, поэтому необходимо следить за тем, чтобы их концентрация и величина сброса не превышали допустимые границы. В перспективе индустрия должна перейти на оборотное (замкнутое) водоснабжение и безотходную технологию, когда отходы одних производств служат сырьем для других, и в конечном итоге вся материальная масса, поступающая на вход перерабатывающей системы, выходит из нее в виде нужных продуктов. В конечном счете, такая технология выгоднее, поскольку многие токсиканты—ценнейшее сырье и, кроме того, отпадает надобность в строительстве очистных сооружений, стоимость которых достигает четверти или трети всех средств, расходуемых на создание современных производств.

Необходимо иметь научно обоснованные представления о предельно допустимых концентрациях или ПДК для различных веществ, сбрасываемых в водоемы. В правилах охраны вод от загрязнения в основном предусматриваются медицинские ПДК, т.е. запрет на концентрации, опасные для здоровья человека при использовании воды для питья и в других целях. Введение таких ПДК, естественно, было первоочередной задачей обеспечения благополучия человека. Следующим шагом явилась разработка ПДК для домашних животных и хозяйственно важных гидробионтов, в частности для рыб. Современный уровень понимания благополучия человека диктует необходимость установления ПДК и для экосистем, так как их деградация и разрушение таят в себе непредсказуемые изменения всей биосферы как среды обитания человека. Первое время предполагалось, что медицинские и ветеринарные ПДК достаточно охраняют водоемы от загрязнения, в частности их рыбное население. Начавшиеся исследования, рыбохозяйственных ПДК показали, что это не так: рыбы во много раз чувствительнее к токсикантам, что не удивительно, поскольку системы гомеостаза у человека намного совершеннее. Еще более чувствительны к загрязнению многие беспозвоночные. Таким образом, установление ПДК для экосистем не может основываться на медицинских и ветеринарных данных. Нужны ПДК, охраняющие экосистемы, что требует организации широкого фронта работ в области водной токсикологии, изыскания научно обоснованного контроля над качеством вод, обеспечивающим существование биоценозов в требуемом для человека режиме.

Проблема токсикологического контроля очень сложна, так как структурные и функциональные показатели реакции на загрязнение крайне многочисленны, неодинаковы для разных живых систем и применительно к разным токсикантам. Возникает вопрос о

критерии токсичности, ориентируясь на который можно вести соответствующие исследования и о подборе индикаторных организмов, популяций и биоценозов.

Очевидно, особое значение приобретает определение ПДК для наиболее чувствительных компонентов экосистемы, раз речь идет о ее защите. В качестве критерия токсичности выдвигается не выживание особей, а сохранение видов, т.е. нормальное воспроизводство особей в нескольких поколениях без ухудшения качества потомства. В тех случаях, когда требуется дать быструю и приблизительную оценку токсичности, используют экспресс-метод (Никитинский). Сущность метода заключается в определении выживаемости объектов (рыб, беспозвоночных, растений) в различных концентрациях испытуемых веществ в течение суток или нескольких дней. Полученные данные сравнивают контролем; в качестве показателя выживаемости обычно принимают гибель 50 или 100 % испытуемых особей. Для экосистем результаты испытания на острую токсичность следует определять с учетом основного критерия токсичности, при этом они должны «привязываться» к воде стоков, а не водоемов. В противном случае будет наблюдаться разрушение экосистем, которое сначала начнется в месте сброса сточных вод, а затем вследствие вторичного загрязнения и некоторых других процессов станет распространяться все дальше (Галазий, 1973).

**Гидробиологический мониторинг.** Оценка степени ухудшения водных экосистем под влиянием загрязнения или других антропогенных воздействий с той или иной точностью в настоящее время может быть сформулирована только применительно к практическим формам использования водоемов. Гораздо сложнее оценка характера и значения структурно-функциональных изменений гидроэкосистем в биосферном аспекте. Сейчас даже трудно сформулировать требования к оптимальности экосистем как блокам биосферы, показателем экологического благополучия природных водных экосистем может служить хорошо развитый биотический круговорот, начинающийся с фотосинтеза и имеющий две подсистемы: сеть выедания и сеть разложения.

Сеть выедания (пастбищная) характеризуется относительно полным потреблением консументами организмов предыдущего трофического уровня, преобладанием в ней высокоорганизованных многоклеточных животных. Аэробные процессы преобладают над анаэробными, накопление органических веществ в грунте минимальное.

При перегрузке экосистем органическим веществом или поступлении токсикантов, вызывающих гибель животных, начинает доминировать сеть разложения. Сеть выедания сокращается, а в некоторых случаях совсем выпадает, биотический круговорот осуществляется на суженной основе, все в большей степени начинают преобладать анаэробные процессы.

Экосистемы с детритным круговоротом устойчивее, чем с пастбищными цепями; среди последних эвтрофные устойчивее олиготрофных. Поэтому экологическое нормирование прежде всего должно быть основано на сохранении пастбищной составляющей биотического круговорота, т.е. в первую очередь пелагических животных, особенно высокоорганизованных ракообразных, рыб.

Объект гидробиологического мониторинга—водные экосистемы и факторы среды, воздействующие на них. При этом важны как регистрация обнаруживаемых нарушений среды, так и оценка реакции на них живых систем. Планируемый эксперимент позволяет в этом случае исследовать вероятные ситуации, которые можно предсказать на основе обнаруживаемых тенденций в изменении абиотической среды, т.е. предсказывать биологические последствия этих тенденций. Таким образом, параллельно диагностическому, создается мониторинг прогностический — методологическая основа предвидения экологических событий.

Число контролируемых показателей удобно разделять на две категории: функциональные и структурные. Функциональные изменения — более быстрый отклик на внешние воздействия по сравнению с перестройками структуры, которые лучше отражают итог длительного воздействия уклонившихся от нормы факторов среды. Системы с

коротким циклом быстрее перестраивают свою структуру, чем долговременные, но обнаруживаемые изменения слабее отражают реакцию биогидросферы, чем деформация структур длительного существования. Например, численность бактерий в водоемах существенно меняется даже после купания людей, являясь очень чувствительным индикатором воздействия на экосистему. Однако этому нельзя придавать большого индикаторного значения, так как отклик экосистемы быстро гаснет и след бывшего воздействия не регистрируется в ней. Популяция долгоживущих организмов показательнее в качестве регистрирующих структур при оценке длительных воздействий, но менее чувствительна для выявления кратковременных сдвигов в экосистемах.

Из гидробионтов предпочтительным объектом гидробиологического мониторинга могут служить группы, входящие в состав сообществ, формирующихся на границе с другими средами (атмосферой, сушей); они отличаются видовым разнообразием, высокими количественными показателями, первыми сталкиваются с внешними воздействиями и чувствительнее реагируют на них.

Прогноз состояния водных экосистем и выявление тенденций в их изменении крайне важны для перспективного планирования рациональной эксплуатации водоемов. Поэтому важнейшее значение приобретает организация исследований, направленных на создание теории прогноза гидроекосистем в водоемах, находящихся под воздействием различных отраслей хозяйства и других антропогенных влияний.

**Ход работы:** изучить теоретический минимум, письменно ответить на перечисленные вопросы, сформулировать и записать выводы

1. Что такое биологическая индикация загрязнения водоема? Охарактеризуйте биологическую индикацию на организменном уровне.
2. Перечислите показатели, по которым проводится биологическая индикация на популяционном уровне.
3. Охарактеризуйте биологическую индикацию на биоценотическом уровне.
4. Какие зоны сапробности водоемов Вы знаете? Охарактеризуйте поли- и олигосапробные воды.
5. Охарактеризуйте мезосапробные воды. Какие изменения были внесены в систему Кольквитца и Марссона?
6. Что такое и как организуется токсикологический контроль водоема?
7. Зачем необходим гидробиологический контроль водоема? Как он проводится?

## **Литература [1, 2, 6]**

### **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6**

(Продолжительность практического занятия – 4 часа)

**Тема:** Экологические аспекты очистки сточных вод

**Цель работы:** Изучить способы очистки сточных вод с использованием аэро- и метатенков

**Материалы:** раздаточный материал с теоретическим минимумом и заданием для практической работы

**Теоретический минимум**

Для очистки промышленных сточных вод, содержащих в основном минеральные вещества, используют физико-химические методы (нейтрализация кислот, окисление с помощью хлора, фильтрация через активированный уголь, связывание с помощью различных реагентов, коагуляция серноокислым алюминием, гашеной известью и др.).

Стоки, включающие большое количество органических веществ пищевой промышленности, целлюлозного, сельскохозяйственного и других производств, проходят биологическую очистку. Для этого в очистных сооружениях в основном используют три функциональных элемента: аэротенки, аэрофильтры и окислительные пруды.

Предпочтительный выбор каждого из них определяется конкретными требованиями к работе очистных сооружений.

В качестве примера, поясняющего работу наиболее мощных очистных сооружений, приведем организацию очистки стоков Москвы (Люберецкая станция аэрации).

Вода, поступающая на очистное сооружение по закрытому каналу, сначала проходит сквозь решетку, на которой задерживаются все крупные объекты: механизированные грабли собирают с решеток задерживаемый ими материал. После прохождения через решетку сточная жидкость поступает в «песколовку» — вертикальную емкость, из которой забирают верхний слой воды, а на дне оседают песок и другие тяжелые взвеси.

Далее следует «жироловка», сходная с «песколовкой», но вода в нее поступает сверху, а забирается снизу, освобождаясь от легких фракций. После этого вода поступает в центр круглого первичного отстойника диаметром около 40 м и глубиной 5 м; остающийся на его дне ил удаляют с помощью специального скребкового механизма.

Стекая по периферии, вода из первичных отстойников поступает в аэротенки. Каждый из них имеет длину около 120 м, глубину 5 м, ширину 10 м.

На дне находятся перфорированные керамические пластины, и воздух, подводимый снизу, проходя через них в виде мелких пузырьков, поступает в толщу воды. На 1 м<sup>2</sup> стоячей жидкости подается 5—7 м<sup>3</sup> воздуха. В аэротенках в большом количестве образуются хлопья «активного ила» — скопления бактерий, простейших и других микроорганизмов. При избытке кислорода они энергично минерализуют находящиеся в воде органические вещества.

Ток воздуха, с одной стороны, создает благоприятные кислородные условия для микроорганизмов, концентрирующихся в хлопьях активного ила, а с другой — обеспечивает нахождение их во взвешенном состоянии. При этом организмы оказываются в условиях максимального контакта со сточной жидкостью, поставляющей им пищу и уносящей продукты обмена.

В результате метаболизм микроорганизмов приближается к максимально возможному. Иногда в аэротенки вносят биогены, если их дефицит лимитирует минерализационную работу микроорганизмов.

Из аэротенков вода поступает во вторичные отстойники, по форме и размерам сходные с первичными. Здесь оседающие на дно хлопья активного ила собираются и частично используются для зарядки аэротенков. Другая часть поступает в уплотнители, а затем в сооружения по обработке осадка — метантенки и иловые площадки.

Метантенки представляют собой закрытые бассейны, загружаемые иловыми осадками из отстойников. Благодаря искусственному подогреву массы, находящейся в метантенке, в ней развивается колоссальное количество анаэробных бактерий, в результате жизнедеятельности которых происходит распад белков до аминокислот и аммиака с выделением сероводорода, а также сбраживание жирных кислот с образованием углекислоты, метана и водорода.

Выделяющиеся в результате анаэробного брожения различные горючие газы отводятся и используются для подогрева закладываемых в метантенки масс из отстойника.

На очистных сооружениях сравнительно небольшой мощности вместо аэротенков используют биофильтры — сооружения, в которых сточная жидкость обтекает поверхность загрузочного материала (гравий, шлак, керамзит и др.), покрытого биопленкой из колоний аэробных микроорганизмов.

Навстречу току жидкости подается воздух. Проходя через загрузочный материал, загрязненная вода оставляет на нем взвесь, не осевшую в первичных отстойниках, а также коллоидные и растворенные органические вещества. Они сорбируются биопленкой и минерализуются образующими ее микроорганизмами или используются на рост. Омертвевшая и отработавшая пленка выносятся вместе с током фильтруемой жидкости.

Биофильтры различаются по степени очистки, способу подачи воздуха, по режиму работы (наличие или отсутствие рециркуляции), по технологической схеме (одно-, двух- и трехступенчатые) и т.д.

Своеобразна конструкция погруженных биофильтров. Вдоль резервуара с выгнутым днищем проходит вращающийся вал с насаженными на нем дисками (пластмасса, металл) диаметром 0,6—3 м, отстоящими друг от друга на 10—20 мм. Сточная жидкость, находящаяся в резервуаре, смачивает вращающиеся диски (1—40 об/мин), обросшие организмами, и создающийся контакт с атмосферным воздухом обеспечивает высокую эффективность минерализационных процессов.

Аэротенки имеют перед биофильтрами то преимущество, что обеспечивают более продолжительную обработку сточной жидкости и поэтому чаще применяются для очистки стоков с трудно разрушаемыми компонентами. Например, чтобы достигнуть 90 % очистки по БПК, для бытовых стоков достаточно 2—3 ч аэрации, для промышленных стоков—12—18 ч.

Как бы ни была организована технология очистки вод на станциях аэрофильтрации, основой ее остается функционирование биоценозов, состоящих из бактерий, грибов, инфузорий, коловраток и других организмов, в основном относящихся к поли-,  $\alpha$ - и  $\beta$ -мезосапробным видам.

Видовой состав биоценозов может служить индикатором степени и характера очистки вод.

Очистка сравнительно небольшого количества сточных вод часто осуществляется в биологических или окислительных прудах. Так очищаются стоки мясокомбинатов, молочных, кондитерских и других предприятий. Нередко такие пруды обеспечиваются принудительной аэрацией и циркуляцией воды.

В качестве характеристики работы биологических прудов можно привести данные по одному из них, обслуживающему нужды мясокомбината (Neumann, Viehl, 1966). Объем пруда 300 м<sup>3</sup>, количество очищаемой за сутки воды 135 м<sup>3</sup> с БПК<sub>5</sub> около 3 г/л, т. е. 0,45 м<sup>3</sup> стоков на 1 м<sup>3</sup> пруда. За счет окисления в толще воды минерализуется 1,25 кг/м<sup>3</sup> органического вещества. Длительность очистки составляла 2,2 суток, вода в пруду имела принудительную циркуляцию (вращение двух щеток длиной по 2,5 м).

Эти данные показывают, что при правильной организации даже небольшие окислительные пруды способны эффективно очищать значительные объемы воды, сильно загрязненной органическими веществами.

Для очистки сточных вод от биогенов хорошие результаты дает культивирование макрофитов, в частности тростника, камыша, рогоза. В очистных прудах штата Айовы (США) используют водный гиацинт (к тому же неплохой корм скота). Его продукция составляла 645 т/га; из прудовой воды быстро исчезали аммоний и нитраты, заметно понижалось количество фосфатов (Wooten, Dadd, 1976).

Очистка сточных вод должна обеспечивать их безвредность для экосистем водоемов. Поэтому правы те исследователи, которые считают, что установленные ПДК должны относиться не к водоемам, а к стокам. Игнорирование этого положения ведет к прогрессирующему загрязнению водоемов и деградации их биоценозов. Вторым моментом, требующим внимания — сами нормы ПДК.

В настоящее время они, установленные в основном гигиенистами, охраняют здоровье человека, но не экосистемы. Гидробионты гораздо чувствительнее к загрязнению воды, чем человек. Например, медицинские ПДК меди и никеля равны 0,1 мг/л,

рыбохозяйственные—0,01 мг/л. Поэтому необходимо скорейшее установление ПДК, охраняющих экосистемы.

Наконец, ПДК, установленные безотносительно к особенностям отдельных водоемов, часто совершенно непригодны для тех, которые отличаются слабой способностью к самоочищению. Например, в оз. Байкал, где среднегодовая температура равна 4<sup>0</sup>С, а максимальная не превышает 14<sup>0</sup>С, развитие бактериопланктона, участвующего в разложении органических веществ, происходит в десятки раз медленнее, чем в мелководных водоемах средней полосы России; это нельзя не учитывать при установлении ПДК (Галазий, 1968).

Помимо ПДК, при регламентации правил сброса сточных вод необходимо учитывать также их предельно допустимый выпуск (ПДВ). Понятно, что суммарный эффект загрязнения водоемов зависит как от концентрации стоков, так и общего их количества.

**Ход работы:** изучить теоретический минимум, письменно ответить на перечисленные вопросы, сформулировать и записать выводы

1. Зарисуйте схему и объясните принцип устройства Люберецкой станции аэрации.
2. Объясните принцип работы аэротенков.
3. Кратко опишите работу метатенков.
4. Охарактеризуйте принцип работы биофильтров. Объясните в чем их недостаток перед аэротенками.
5. Недостатки правил регламентации норм ПДК.

## Литература [5]

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7

(Продолжительность практического занятия – 2 часа)

**Тема:** Поля фильтрации и поля орошения

**Цель работы:** Изучить устройство полей фильтрации и полей орошения

**Материалы:** раздаточный материал с теоретическим минимумом и заданием для практической работы

**Теоретический минимум**

**Поля фильтрации.** Поля фильтрации (ПФ) предназначены для полной биологической очистки бытовых и производственных сточных вод, близких по составу и концентрации загрязнений к бытовым водам. ПФ – это земельные участки, огороженные земляным валом и разделенные на отдельные участки. Сточная вода поступает по трубам к наивысшей точке на полях фильтрации, а оттуда она самотеком поступает в сеть специальных распределительных каналов и разливается по отдельным картам. Орошение ведется двумя способами сплошным заливом или непосредственно по бороздам. В верхних слоях почвы где проходят сточные воды проходят процессы биохимического окисления органических веществ и вода, фильтруясь сквозь почву, очищается от взвешенных веществ, благодаря кислороду, который присутствует в порах почвы, они окисляются и минерализуются. На этой стадии также задерживается большая часть микроорганизмов (рис. 4).

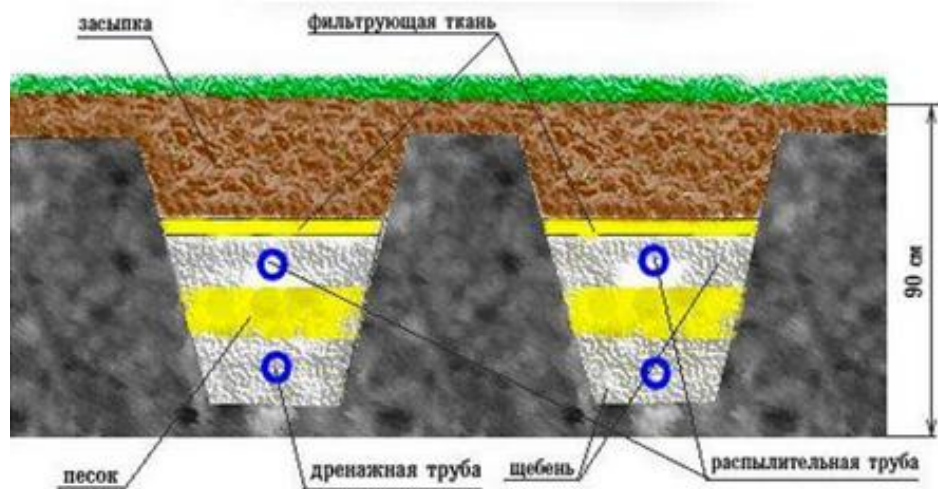


Рисунок 4 – Схема устройства поля фильтрации

Поля фильтрации необходимо устраивать на песчаных; супесчаных и легких суглинистых грунтах. Эффективность конструкции полностью зависит от типа почвы, на которой будет размещено поле. Главное, чтобы грунт обладал хорошими впитывающими свойствами, а вода не застаивалась. Тяжёлые почвы плохо поглощают влагу. Даже в лёгком суглинке приходится значительно удлинять дрены, чтобы таким способом обеспечить нормативное впитывание. Стоит учитывать, что песок поглощает до 30 литров на каждый метр трубы, а супесь всего 15 литров. Показатели суглинка ещё ниже.

Еще одно требование к обустройству полей фильтрации – их установка на территориях, не используемых в сельском хозяйстве или с малоплодородными почвами, со спокойным и слабовыраженным рельефом, с уклонами не более 0,02. Во избежание загрязнения грунтового потока, используемого для водоснабжения, ПФ следует располагать за пределами депрессионной воронки водозаборных скважин.

Нагрузки на ПФ зависят от состава сточных вод, фильтрационных свойств почвогрунтов, гидрогеологических и климатических условий и окислительной способности почв. Сточные воды, подаваемые на ПФ для полной биологической очистки, должны подвергаться механической очистке в септиках (при расходе не более 25 м<sup>3</sup>/сут) или на решетках, песколовках, а также отстаиванию в течение не менее 0,5 ч.

Для проникания воздуха в деятельный слой и создания условий для аэробных окислительных процессов с полями фильтрации должен быть обеспечен своевременный отвод излишней воды, для чего устраивают дренаж. Профильтрованная через почву вода стекает в сеть дренажей закрытого или открытого типа. Закрытый дренаж проходит на глубине 0,75-1,0 м из, он выполнен из глиняных труб с промежутками между ними в которые поступает дренажная вода. Трубы соединяются с главным дренажным коллектором, по которому вода отводится за пределы фильтрационных полей. Открытый дренаж (канавы) расположен по периметру участков и имеет уклон в сторону главной дренажной канавы, по которой очищенная вода выводится в водоем.

Конструкция дренажа для осушения толщи грунта на глубину не менее 1,5 м обосновывается расчетом и принимается в зависимости от фильтрационных свойств грунтов, нагрузки сточных вод на ПФ и глубины залегания грунтовых вод.

В сильнопроницаемых грунтах (песок, супесь) и при значительном залегании уровня грунтовых вод (свыше 3 м) дренаж можно не устраивать, однако необходимо проверить расчетом возможность поднятия уровня грунтовых вод выше допустимого горизонта с учетом их естественного оттока. В слабопроницаемых грунтах (суглинки), как правило, устраивают дренаж в виде осушительных канав или закрытый - дренаж из



керамических, асбестоцементных или полиэтиленовых труб в сочетании с осушительными канавами. Глубину укладки дрен принимают не менее 1,5 м. Расстояние между дренами, их диаметр и уклон определяют расчетом в зависимости от фильтрационных свойств грунтов и нагрузки сточных вод на ПФ.

Таким образом, обязательными условиями организации полей фильтрации являются: наличие вентиляции; расположение труб к пласту грунтовых вод не ближе, чем на один метр; размещение фильтрующих материалов выше точки промерзания почвы; соблюдение санитарных норм (до строений и источников с питьевой водой должно быть не меньше 15-30 метров).

На период весеннего таяния намороженных сточных вод и ремонта карт полей фильтрации, следует предусматривать резервные карты. Для предварительного определения полной площади, отводимой под поля фильтрации, с учетом площадей, необходимых для осушительной сети, дорог, оградительных валиков карт и посадки древесных насаждений, полезную площадь ПФ рекомендуется увеличивать на 35%.

Размеры карт назначают в зависимости от рельефа местности и Общей рабочей площади полей фильтрации. Площадь одной карты следует принимать не менее 1,5 га; отношение ширины карты к длине должно быть 1:2 — 1:4. Размеры оградительных валиков назначают из условия их отсыпки механизмами — бульдозерами, при этом откосы валиков должны быть не менее 1:3, а ширина по верху для проезда автотранспорта — 3 м. Высоту валиков принимают в зависимости от расчетного слоя намораживания, равного не более 1 м плюс 0,1 м до верха валика.

Для подводящих и распределительных сетей, а также картых оросителей используют неметаллические трубы, причем через 50—100 м в зависимости от уклона трассы устраивают открытые камеры.

На полях орошения аналогично полям фильтрации производится очистка сточных вод. Но дополнительно поля орошения используются для выращивания сельскохозяйственных культур (технических, зерновых, кормовых). На поля орошения вода поступает после предварительной механической очистки и используется для полива. После стадии биологической очистки вода через почву поступает в дренажную систему, по которой стекает в биологические водоемы.

**Ход работы:** изучить теоретический минимум, письменно ответить на перечисленные вопросы, сформулировать и записать выводы

1. Опишите устройство полей фильтрации.
2. Охарактеризуйте конструкцию дренажа в полях фильтрации
3. Чем поля фильтрации отличаются от полей орошения?

## Литература [5]

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8

(Продолжительность практического занятия – 4 часа)

**Тема:** Экология и распределение обростателей.

**Цель работы:** Изучить экологические особенности распределения обростателей в водных биоценозах

**Материалы:** раздаточный материал с теоретическим минимумом и заданием для практической работы

**Теоретический минимум**

Экологические условия для основных обростателей значат несколько меньше, чем для необрастающих животных, так как большинство обростателей - эврибионты. Они

легко переносят значительные изменения температуры, солености, 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. Поэтому борьба с усоногими раками сложнее, чем с большинством других организмов.

Преобладание разных видов обрастателей в биоценозе зависит от следующих основных причин: 1) экологических условий; 2) продолжительности нахождения субстрата в воде; 3) свойств субстрата; 4) эксплуатационного фактора.

От продолжительности нахождения в воде субстрата зависит сукцессия обрастания. 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 (усоногие гидроиды, мшанки, актинии, полихеты); III фаза - медленно растущие беспозвоночные (мидии, устрицы, асцидии).

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 применять 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 сравнительно невелико, срок оседания личинок и роста животных короток. Руководящими формами обрастания в Арктике являются *Balanus renatus* 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/м<sup>2</sup> за несколько лет развития. Суда, ходящие 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*, *Bugula neritina*, устрицы, асцидии, трубчатые черви, мшанки. Наиболее характерны для этих вод кораллы, но они не встречаются в опресненных и загрязненных местах, т.е. там, 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 сюда, 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 существования, 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.

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 крабики, амфиподы, но их обычно значительно меньше, чем лепадид. Распределение океанического обрастания связано, прежде всего, с поверхностными течениями. Кроме того, значительное влияние на него оказывают температура и соленость 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 полносоленых водах. Правда, течения и суда нередко заносят лепадид 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.

Большая протяженность в широтном и долготном направлении России обуславливает большое разнообразие климатических условий; кроме того, большее или меньшее изолирование внутренних морей от океана и их пониженная соленость воды также сказываются на качественном и количественном составе обрастаний различных морей. Тем не менее, эти моря можно грубо классифицировать как по составу обрастания, так и по его обилию. По составу обрастания моря 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 - усонogie раки *Balanus crenatus*, *B. balanus*, виды семейства *Scalpellidae*, моллюск *Hiatetla 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 batanoides*, *Mytilus edulis*. Обрастание довольно значительное, но его развитие происходит сравнительно медленно, сезон оседания личинок длится от половины до трех четвертей года.

3. Бореальные, солоноватоводные моря - Балтийское, Черное, Азовское и Каспийское. Руководящие формы обрастания - *Balanus improvisus* и *B. eburneus*, мидии, *Cordylophora caspia* и *Perigonimus megas*. Биомасса обрастания значительна везде, кроме сильно опресненных районов. Высокий темп роста обрастателей, оседание личинок происходят в течение большей части года, иногда почти весь год.

4. Субтропические участки морей, в которые можно выделить южную часть Японского моря и район Батуми в советской части Черного моря. Для них характерно преобладание в обрастаниях сидячих полихет и мшанок, меньшее значение усоногих раков. Биомасса обрастания 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 морях. 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, нуждаются в защите, прежде всего.

Сравнение обрастания в наших морях с обрастанием в морях других стран, лежащих в тех же географических областях, не дают больших различий, ни количественных, ни качественных. Так, обрастания в Белом и Баренцевом морях примерно те же, что у берегов Англии, Франции, Атлантического побережья Америки, если сравнивать, конечно, условия с одинаковой соленостью и загрязнением и может быть одинаковыми температурами. Обрастания в Японском, Охотском и Беринговом морях также мало отличаются от обрастания северной атлантики, хотя еще ближе они к обрастаниям в северных районах Японии и на Тихоокеанском побережье Америки. 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 руководящие формы обрастателей распространены очень широко и именно они дают основной фон в обрастании. По этому основному фону разбросано много или мало местных видов, но они, как правило, не являются руководящими. Почти все руководящие формы лишь сравнительно недавно распространились так широко, некоторые лишь за последние 2 - 3 десятилетия.

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.

**Методы исследования обрастаний.** Развитие оброста тем сильнее, чем лучше биологические и гидрологические условия дыхания, питания, размножения и роста обрастателей. Заключение о возможном ущербе от обрастания и рациональных мерах борьбы для конкретных условий может дать лишь опытный биолог, изучающий по единым методикам обрастание в водоемах и эксперименте.

При недостатке времени можно взять образцы лишь с наиболее обросших мест подводных предметов. Но чем больше проб с различных по обросту участков и чем подробнее их описание, сведения об условиях и сроках обрастания, тем легче выбрать наилучшие меры защиты. До взятия проб осматривают и описывают облик (величину) и пространственное распределение оброста.

Подводное взятие проб позволяет в лучшей сохранности собрать мягкие организмы и водоросли и больше подвижных обитателей оброста. Но бродячие и слабо прикрепленные формы обычно не попадают в пробы или попадают в уменьшенном количестве. Сбору подвижных форм мешают волны и толчки воды, возникающие от движений рук водолаза. Они выбивают-вымывают из образца существенную часть организмов, притом по-разному, в зависимости от удельного веса и удельной поверхности данного компонента оброста. Этим нарушаются масса и количественный состав организмов и их останков и построек в пробе. Даже при осторожном взятии проб в тихую погоду часто удается сохранить лишь примерные соотношения и состав оброста.

Пробы берут вне мест влияния теплых и загрязненных стоков, которые обследуют отдельно. В каждом типичном горизонте достаточны две-три пробные площадки наименьшего, типичного, наибольшего оброста (или три пары площадок при мозаичном обросте).

Для изучения обрастания важны: характер поверхности объекта, глубина, освещенность и ориентировка пробных площадок к течению, прибою, поверхности воды, грунту, странам света.

Пробы под водой может брать водолаз, имеющий упор или держащийся за туго натянутые концы (лучше два - треугольником). При этом используются следующие инструменты: 1) мерный сачок-скребок с лезвием 10 (или 20) см, 2) скребок "почтовый ящик".

Тару для проб подбирают соответственно разнообразию видов обрастателей и разной прочности их скелетов и домиков. Организмы можно собирать и в мягкую тару - полотняные или пластиковые мешочки, плотно укладываемые в небольшие цинковые ящики или бидоны с фиксатором. Хрупкие организмы и оброст, разрушающиеся при перевозке, собирают в банки из стекла, прочной пластмассы, металла, заполняя пустые пространства пыжами (вата в кусочке полотна). Образцы обрабатывают, пока фиксатор не сделал их ломкими. Каждую форму (а если нельзя разделить, то всю пробу) бережно хранят отдельно.

Решающее значение имеет правильная документация сборов: 1) этикетки, 2) описания в дневнике, 3) зарисовки: распределение оброста, расположение фото- и пробных площадок и отдельных обрастателей, 4) фотоснимки объекта с масштабом и указанием мест пробных площадок, 5) сведения об условиях обрастания. Для судов, буев, океанологических приборов следует обратить внимание на часы, сроки, погодные и технологические условия окраски подводной части и на марки каждого слоя схемы противокоррозионной и необрастающей защит, часы их сушки и спуска объекта на воду, районы, сроки и условия стоянок и дрейфа.

**Ход работы:** изучить теоретический минимум, письменно ответить на вопросы, сформулировать и записать выводы.

1. К какой экологической группе относят организмы-обрастатели? От чего зависит преобладание различных групп обрастателей в биоценозе
2. Опишите этапы обрастания.
3. Дайте характеристику основных зон распределения обрастателей в морской среде
4. Какие группы морей по составу обрастателей выделяют в Российской Федерации
5. Чем объясняется высокая скорость обрастания в Черном море?
6. Опишите основные инструменты, места отбора проб. Какие данные необходимо учитывать при заборе проб?

### Литература [1, 2, 4, 6]

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №9

(Продолжительность практического занятия – 4 часа)

**Тема:** Экологические основы борьбы с биологическими помехами.

**Цель работы:** Изучить экологические основы борьбы с биологическими помехами

**Материалы:** раздаточный материал с теоретическим минимумом и заданием для практической работы

### Теоретический минимум

Крайне опасны гидробионты, патогенные для человека и домашних животных, те, что осложняют навигацию, ухудшают качество воды и санитарное состояние водоемов, снижают водопропускную способность каналов, осложняют эксплуатацию гидротехнических сооружений. Борьбу с вредными гидробионтами ведут физическими, химическими и биологическими средствами, основанными на экологических знаниях. Необходимость широкого экологического подхода усиливается тем обстоятельством, что уничтожение отдельных нежелательных для человека организмов нарушает структуру

биоценозов, поэтому необходимо учитывать реакцию всей экосистемы на то или иное воздействие.

**Борьба с организмами, опасными в медицинском и ветеринарном отношениях.** В первую очередь данные методы борьбы направлены на уничтожение обитающих в воде личинок кровососов. Для этого в основном применяют химические, физические, реже биологические методы. Например, к наиболее распространенным способам борьбы с личинками малярийных комаров относится нефтевание водоемов и опыление их «парижской зеленью».

Важнейшими средствами в указанном отношении являются нефть и керосин. Если налить их на поверхность водоема, то сверху образуется тончайшая пленка нефти, непроницаемая для дыхательных отверстий личинок и куколок комаров, которые в конце концов погибают в воде, вследствие отсутствия доступа свежего атмосферного воздуха. При соприкосновении дыхательного отверстия с пленкой керосин проникает на некоторую глубину в глубь трахей, чем еще более способствует гибели личинки. При действии нефти имеет значение не только прекращение притока кислорода, но и ее токсическое влияние, и последнее, может быть, даже в большей степени, чем первое.

Заливку водоемов нефтью, мазутом или керосином производят при помощи гидропульта или более примитивными способами, например, ковшами на длинной ручке, лейками и т. п. Керосин можно смешивать с древесными опилками и разбрасывать их по поверхности воды. Если водоем не зарос растениями (иначе, приходится скашивать заросли), то нефть или керосин тратят в количестве 1—2 столовых (20—40 г) ложек на 1 м<sup>2</sup> поверхности воды. Прибавление к нефти 1% креозола увеличивает площадь образующейся нефтяной пленки в полтора раза по сравнению с чистой нефтью. Эта смесь лучше проникает в гущу зарослей водоемов; сама пленка оказывается более прочной, так как креозол препятствует разлагающему действию бактерий на углеводороды нефти. Обработанное тяжелое смазочное масло с добавлением 1% креозола также приобретает большую растекаемость по поверхности воды, что является экономически выгодным фактом.

Образовавшаяся нефтяная пленка к конце концов исчезает вследствие улетучивания низкокипящих углеводородов, окисления углеводородов кислородом воздуха и усвоения углеводородов бактериями; роль последних немаловажна, поэтому при расчете количества потребной для заливки водоема нефти следовало бы принимать в соображение не только площадь водоема (как то обычно делается), но и богатство заливаемой воды бактериями, усваивающими углеводороды. Однако соответствующей методики для практического применения пока еще не выработано. Поэтому нормы расхода нефти приходится варьировать, поскольку в ходе работ приходится применяться к местным условиям.

Так как пленка нефти легко сгоняется ветром, то отгораживают части водоема, вбивая в устье его заливов колья и закладывая между ними доски, или же разгораживают водоем плавучими клетками-квадратами из связанных жердей; в просвет клеток наливают нефть или керосин. В различных инструкциях указывается, что «петролизацию водоема нужно производить методически, начиная с ранней весны, через каждые 8—10 суток и кончая поздней осенью». Это указание требует дополнительной оговорки: необходимо учитывать широту места и количество поколений анофелес. Срок 8—10 суток может быть применим только для субтропических зон. Во всех же остальных местах заливка должна производиться гораздо реже — применительно к числу поколений анофелес и длительности каждой его генерации. Пониженная температура замедляет метаморфоз комаров, и он может растянуться на 30 дней: производить же за этот срок 3—4 нефтевания одного и того же водоема — это значит непроизводительно тратить нефть. Так как нельзя дать авансом теоретических расчетов сроков нефтевания для всех местностей, то самое нефтевание следует производить под контролем обследования водоемов на заселенность их личинками анофелес как до нефтевания, так и после него.

Несомненно также, что разные сорта нефти, в связи со своим химическим составом, обладают различными токсическими свойствами. Ввиду вышесказанного, вопрос о нефтевании или петролизации того или другого водоема нужно решать индивидуально, считаясь с видовым составом его рыбьего населения и другими приводящими обстоятельствами. В зависимости от площади и характера заселенных анофелес водоемов в данной местности, нефтевание может при всех своих положительных качествах оказаться мерой, совершенно не рентабельной, от которой поневоле придется отказаться. Своеобразным вариантом нефтевания является подметание метлами, смоченными нефтью, берегов ручья, реки, их полувыхсохших русел, как то производилось военными врачами в Средней Азии. Для нефтевания медленно-текучих вод (канавы, ручьи и т. п.) пользуются капельницами, устраиваемыми из боченка с отверстием в дне, через которое пропущен фитиль. Боченок устанавливают над струей текучей воды. На станциях, имеющих паровозное депо, пропитанную нефтепродуктами грязь, скапливающуюся в канаве после промывки паровозов, можно использовать для обработки водоемов, не имеющих хозяйственного значения, но не осушительных канав, ввиду возможности их заиления.

**Парижская зелень** (швейнфуртская зелень, царская зелень, зеленый крон), широко применяемый в борьбе с сельскохозяйственными вредителями инсектицид, все больше и больше используется и для уничтожения личинок малярийных комаров. Сухой препарат размешивается с дорожной пылью, пеплом, испорченной мукой, порошком вулканического туфа («трасс») и другими индифферентными веществами в пропорции 1 : 100. Парижская зелень является двойной солью уксуснокислой меди и метамышьяковистой меди. В воде не растворима. При ручном или машинном опылении водоемов смесь оседает на поверхности воды, где образует пленку; она держится несколько часов. Механизм ее действия на личинок — нарушение деятельности ионообменных каналов в плазмалемме эпителиоцитов кишечника. Срок гибели личинок анофелес зависит не только от степени разведения смеси, но и от температуры воды, влияющей на энергию жизнедеятельности личинок.

Выгоды применения парижской зелени бесспорны: 1) она гораздо дешевле нефти; 2) удобна и выгодна для транспорта, особенно в труднодоступные места (напр. по вьючным тропинкам), так как 1 ч. зелени фактически заменяет 150—200 ч. жидкого ларвицида; 3) вся операция ручного опыливания водоемов раз в 40—50 дешевле нефтевания (Латышев); 4) способ применения чрезвычайно прост; 5) парижская зелень, распыляемая с аэропланов, легко проникает даже через густые кроны деревьев.

В то же время парижская зелень обладает рядом недостатков: 1) она не действует ни на яйца, ни на куколок анофелес; 2) при дожде и в дождливый сезон она неприменима; 3) при сильном ветре, дожде и взмучивании опыленных водоемов пленка парижской зелени оседает на дно раньше срока, что вызывает необходимость повторных добавочных опыливаний; 4) благодаря своей ядовитости парижская зелень вызывает у работающих с ней дерматиты, если не применяются меры осторожности.

**Биологические методы борьбы.** Иногда весьма экономична и эффективна биологическая борьба с этими личинками путем акклиматизации гамбузии. В Абхазии этой рыбкой было заселено 75 % всех водоемов, опасных в малярийном отношении, и численность личинок *Anopheles* вследствие выедания гамбузией резко снизилось.

Весьма эффективное средство борьбы с кровососами, в частности с переносчиками малярии - заселение водоемов растительноядными рыбами, уничтожающими макрофиты, в зарослях которых происходит массовый выплод комаров.

Например, с интенсивным зарастанием Куртулинского и Спортивного водохранилищ в Туркменской ССР было связано появление в столице этой республики *Anopheles pulcherrimus*. Обработка ядохимикатами дневок комаров не дала нужных результатов. В 1970 г. в водохранилища был выпущен белый амур, который за один сезон

очистил их от зарастания; лишенные благоприятных биотопов для откладки яиц и развития личинок, комары исчезли, повысилась рекреационная ценность водохранилищ.

**Борьба с организмами-обрастателями.** Серьезные помехи, особенно в навигации, создают организмы-обрастатели (рис. 5). Достаточно ничтожного ( $400 \text{ экз./м}^2$ ) оброста баянусами, чтобы созданная ими шероховатая поверхность снизила скорость судна на 16 %, при сильном обрастании судов скорость их хода может снижаться на 50 %.

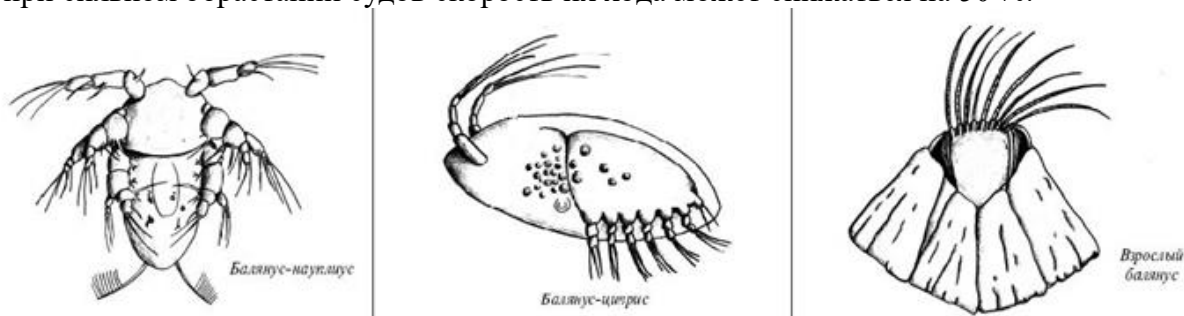


Рисунок 5 – Основные стадии развития наиболее массового обрастателя - усоногих рачков *Balanus*

Обрастание способно помешать гидросамолету оторваться от воды, снизить эффективность работы гидроакустических приборов, вызвать серьезные затруднения в эксплуатации водопроводных труб, как на кораблях, так и на берегу (промышленные водоводы, трубы для снабжения населения питьевой водой).

Степень и характер обрастания зависят от расположения субстрата, скорости течения воды, ее температуры и многих других факторов. В теплых морях обрастание идет интенсивнее, чем в холодных. С повышением скорости течения у поверхности обрастания видовой состав обитающих здесь организмов резко сужается. Токи воды вымывают из обрастания прежде всего тех животных, которые живут, не прикрепляясь, а свободно ползая среди прикрепленных форм. С дальнейшим повышением скорости тока начинают отрываться организмы, недостаточно прочно прикрепленные, а также те, которые периодически переходят к неприкрепленному образу жизни (например, присасывающиеся моллюски). При скоростях, превышающих 0,5 м/с, не могут прикрепиться к субстрату даже такие обрастатели, как личинки усоногих раков.

Весьма значителен ущерб, причиняемый обрастателями, поселяющимися в различных водоводах. Они сужают просветы труб, разрушают их стенки, нарушают процессы теплообмена в холодильных установках, ухудшают качество питьевой воды в водопроводных магистралях. Многие электростанции вынуждены периодически отключать турбогенераторные установки для очистки водоводов и решеток от обрастателей. Из туннелей одной английской электростанции за год изъято 266 т моллюсков, в туннеле другой их слой достигал 1—3 м.

Защита от обрастания достигается разными средствами. В судоходстве наибольшее значение имеет покрытие днища кораблей ядовитыми красками, содержащими ртуть и медь, что значительно снижает оседание обрастателей. Нередко используют ввод судов в пресную воду, в которой морские организмы довольно быстро погибают. Когда корпус судна сильно обрастет, его днище очищают механически во время сухого докования.

Для борьбы с обрастаниями труб их покрывают ядовитыми красками или делают из металлов, на которых организмы не селятся (например, медные трубы). Осевшие в трубах организмы уничтожают с помощью горячей или хлорированной воды, ультразвуком, электрическим током, электромагнитным полем и другими средствами.

Значительные помехи в эксплуатации водоемов, особенно оросительных и других водоводных каналов, создают заросли макрофитов. Зарастание снижает пропускную способность каналов и коллекторной сети, служит причиной их вторичного загрязнения,



создает благоприятные условия для выплода в водоемах кровососущих насекомых и ухудшает условия рыболовства.

В массовых количествах могут появляться в водоемах хары, рдесты, тростники, рогоз, камыш; все эти виды светолюбивы и затенение водоемов, в частности каналов, древесными насаждениями может предупреждать их развитие.

Особенно сильно обрастает каменистая облицовка каналов и от нее, по-видимому, следует отказываться. Растительность можно уничтожать механически и химически, применяя, в частности, пестициды: монурон, диуринаксильвекс и некоторые другие.

**Ход работы:** изучить теоретический минимум, письменно ответить на вопросы, сформулировать и записать выводы.

1. Охарактеризуйте нефтевание как способ борьбы с личинками малярийного комара
2. Что такое «парижская зелень», особенности её применения.
3. Преимущества и недостатки применения «парижской зелени».
4. Зарисуйте основные стадии развития наиболее массового организма-обрастателя – усоногих рачков
5. Перечислите мероприятия по предупреждению и борьбе с обрастанием

**Литература [1, 2, 4, 6]**

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Семерной В.П. Санитарная гидробиология: Учеб. пособие по гидробиологии. 3-е изд., перераб. и доп. Яросл. гос. ун-т. Ярославль, 2008. – 149 с.
3. Мальцев В.И. Гидробиология: конспект лекций для студентов направления подготовки 35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура оч. и заоч. форм обучения / сост.: В.И. Мальцев; ФГБОУ ВО «КГМТУ», каф. водных биоресурсов и марикультуры. – Керчь, 2018. – 64 с.
4. Березина, Н.А. Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134 с.
5. Будыкина Т.А. Процессы и аппараты защиты гидросферы: учебное пособие для вузов / Т.А. Будыкина, С.Г. Емельянов. – М.: Академия, 2010. – 288 с.
6. Калайда, М.Л. Гидробиология / М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб.: Проспект Науки, 2013. – 192 с.

Сабрие Серверовна Зинабадинова

Санитарная гидробиология

Практикум  
для студентов направления подготовки  
35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура  
очной и заочной формы обучения

Тираж \_\_\_\_\_ экз. Подписано к печати \_\_\_\_\_.  
Заказ № \_\_\_\_\_. Объем 3,0 п.л.

ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»  
298309 г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82.