

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н. И. Вавилова»

САНИТАРНАЯ ГИДРОБИОЛОГИЯ

краткий курс лекций

для студентов 4 – 5 курса

Направление подготовки

35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура

Профиль подготовки

Аквакультура

Саратов 2016

УДК 167/168 (075.8)
ББК 72в
Г 95

Рецензенты:

Кандидат географических наук, заведующий сектором рыбоводства ФГБНУ Саратовское отделение "ГосНИОРХ" кандидат географических наук, доцент Е.Э. Сони́на

Санитарная гидробиология краткий курс лекций для бакалавров I курса направления подготовки 35.03.08 «Водные биоресурсы и аквакультура» / Сост.: О.А. Гуркина // ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2016. – 107 с.

Краткий курс лекций по дисциплине «Санитарная гидробиология» составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины и предназначен для студентов направления подготовки 111100. 68 «Водные биоресурсы и аквакультура». Краткий курс лекций содержит теоретический материал по основным вопросам касающихся санитарной гидробиологии.

УДК 167/168 (075.8)
ББК 72в

© Гуркина О. А., 2016

© ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2016

Введение.

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

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

Краткий курс лекций по дисциплине «Санитарная гидробиология» составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины и предназначен для студентов направления подготовки 111400. 62 «Водные биоресурсы и аквакультура».

Краткий курс лекций содержит теоретический материал по основным вопросам касающихся методов исследований водных экосистем. Курс лекций включает основные вопросы, ориентированные на умение поиска нужной информации и способность ее целенаправленного применения в научной деятельности.

Лекция 1

Цель, задачи, предмет и история становления санитарной гидробиологии. Основные понятия, определения, термины.

1. Цель, задачи, предмет санитарной гидробиологии.

В последние годы в связи с ростом численности населения актуальной является проблема его обеспечения чистой водой. И хотя в нашей стране имеются значительные запасы водных ресурсов необходимо их рациональное использование, охрана от загрязнений и поддержание качества пресных и морских вод на определенном уровне.

Возникает необходимость в научном анализе процессов в гидросфере, происходящих под влиянием загрязнений, для того чтобы с использованием современных научных и технических средств суметь противостоять им.

Санитарную гидробиологию можно рассматривать как одно из прикладных направлений гидробиологии, которое разрабатывает и решает вопросы, касающиеся проблем «чистой воды».

Основными в этой проблеме являются показатели качества природных вод, характеризующие ту или иную степень загрязнения, характер загрязнений и процессы, протекающие в водоемах в результате загрязнений от первой реакции экосистемы на воздействие загрязнений до определенного уровня самоочищения воды. Особое значение санитарная гидробиология придает обеспечению населения здоровой питьевой водой, включая параметры качества питьевой воды, а также контроль и прогноз качества воды водоемов питьевого назначения.

Кратко ее задачи можно сформулировать следующим образом: управление самоочищением в водоемах и водотоках, сохранение в них чистой воды, направленное улучшение их конструкции и эксплуатации. Поскольку, во всех процессах самоочищения, участвует ряд факторов, (биологические, химические и физические), то их необходимо учитывать всесторонне.

И на широком круге организмов включая бактерий, одноклеточных водорослей и простейших, высших растений и рыб.

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

В круг исследований санитарной гидробиологии должны входить следующие виды работ:

- 1) периодическое картирование качества воды по биологическим, химическим и физическим признакам типовых водоемов;
- 2) разработка экспресс-методов определения качества воды на основе биологических показателей загрязнения в сапробных, токсобных и сапротоксобных условиях;
- 3) токсикологическое исследование гидробионтов;
- 4) экология и физиология гидробионтов и изменения в них в связи с загрязнением водоемов;
- 5) полевое и лабораторное изучение процессов самоочищения водоемов:
 - а) разбавления и смешения загрязненных вод с применением гидробиологических методов;
 - б) физико-химические окисления органических веществ;
 - в) биохимической переработки веществ в водной толще (биологического окисления, минерализации, фильтрации, трансформации, накопления органического вещества, концентрации минеральных и радиоактивных веществ);
 - г) фотосинтеза и деструкции в загрязненных водах;
 - д) сорбции загрязняющих веществ грунтами водоемов (илами через седиментацию, песками через транзитный контакт);

е) биохимической переработки веществ в грунте, захоронение в грунте и выделения продуктов в атмосферу.

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

2. История становления санитарной гидробиологии.

Возникновение санитарной гидробиологии было связано с оценкой качества питьевой воды, развитием водопроводной сети, ростом водопользования и водопотребления на хозяйственные и производственные нужды и сопровождалось низкой культурой отношения к воде как к бесплатному природному ресурсу. Рост городов, развитие социально-культурной сферы и промышленности стали определяться доступностью чистой воды для населения.

Первоначальные оценки качества питьевой воды давались по запаху и цвету (органолептике). Это имеет место и сейчас, но уже не является основным аспектом.

До революции в России вопросы загрязнения водоемов возникали и решались без системно. В 1869 г. президент Общества естествоиспытателей при Казанском университете Н. П. Вагнер поставил вопрос об исследовании стоячих вод в гигиеническом отношении. В качестве объектов исследования были выдвинуты два водоема, в черте Казани. Предложение Вагнера было принято, была создана комиссия для разработки подобной программы. Позднее исследованиями многочисленных авторов установлен вред от воздействия нефти и нефтепродуктов на водоемы и водные экосистемы. Другой причиной, обусловившей большой интерес к загрязнению водоемов, был рост легкой промышленности в центральном промышленном районе России, сопровождавшийся спуском неочищенных сточных вод в реки.

По настоящему санитарная гидробиология обрела предмет, став заниматься биологическими процессами в водоемах на уровне сообществ в условиях загрязнения. Разрабатывая методы биологического анализа, гидробиологи стремились судить о качестве воды по населяющим водоем гидробионтам.

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

Это были первые шаги санитарной гидробиологии в России. В эти годы началась и энергичная работа двух известных русских исследователей биологических процессов в загрязненных водах – Я. Я. Никитинского Т. И. Долгова, связанная с Временным комитетом по охране вод. Они видели содержание санитарной гидробиологии в исследованиях 1) процессов самоочищения; 2) степени и характера загрязнения водоема.

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

Санитарно-гидробиологические исследования разворачивались и в других учреждениях и других городах России.

Параллельно возникла необходимость в детальном изучении роли отдельных видов водных организмов в процессе биологического самоочищения водоемов на основе познания физиологии массовых видов водорослей и животных. Одной из первых работ такого рода

было исследование физиологии, морфологии и экологии водоросли *Stigeoclonium tenue*. Эта водоросль, по словам автора Я. Я. Никитинского – резко выраженный сапробный показательный организм, сильно реагирующий в своем развитии на заражение воды.

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

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

В.И. Жадин (1964) определил санитарную гидробиологию как отрасль гидробиологии, ставящую целью способствовать 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 водах. Он предлагал для санитарной гидробиологии следующие задачи: разработка основ охраны вод от загрязнений и теории биологического самоочищения водоемов, применение этих концепций в практических целях. В круг исследований санитарной гидробиологии В.И. Жадин включает: картирование загрязнений (качество воды), разработку экспресс-методов определения качества воды (показательные организмы), токсикологические исследования, экологию и физиологию гидробионтов и их изменение в загрязненных водах, самоочищение (полевое и лабораторное изучение). В том же ключе А.С. Константинов, А.В. Топачевский и Я.Я. Цееб (1968) включают в санитарную гидробиологию такие вопросы, как: оценка качества воды, установление места и степени загрязнения, процессы самоочищения, «цветение» воды в водохранилищах и каналах и других водоемах (антропогенное евтрофирование). Они пишут: «Все большую роль в санитарной и продукционной гидробиологии приобретает микробиологическое исследование. Бактериологический анализ остается наиболее показательным при оценке санитарного состояния водоемов».

Во второй половине 20-го столетия, из-за отсутствия в бывшем СССР Центрального всесоюзного гидробиологического института, который мог бы осуществлять методическое руководство, и множество координационных центров по проблемам водных ресурсов, работы по санитарной гидробиологии ведутся разрозненно и не на одинаковом теоретическом уровне. Среди ученых занимающихся проблемами санитарной гидробиологии можно отметить Н.С. Строганова, М.М. Телитченко, Г.Г. Винберга.

Г.Г. Винберг выделяет пять основных направлений санитарных гидробиологических исследований.

1. Изучение биологического самоочищения вод, его количественная оценка с попытками моделирования и управления.
2. Биологическая индикация качества вод с математической интерпретацией результатов анализа.
3. Определение закономерностей органолептических качеств воды.
4. Усовершенствование, интенсификация и отыскание рентабельных методов искусственной биологической очистки сточных вод.

5. Разработка новых эффективных приемов и методов для санитарно-гидробиологических исследований. Развиваются исследования по биологической мелиорации водоемов, утилизации планктонных водорослей и подогретых вод.

Таким образом, согласно Г.Г. Винбергу (1975), «санитарная гидробиология - это часть гидробиологии, развивающая ее представления и методы применительно к вопросам, связанным с биологическими аспектами процессов формирования чистой воды»

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

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

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

С появлением микробиологических и микроскопических методов анализа воды были разработаны первые индексы - коли-титр и коли-индекс. За рубежом санитарная гидробиология наиболее совершенные формы приобрела после установления физиологом Кольквитцем и зоологом Марсоном (1902 г.) зон загрязнения (сапробности), обусловленных наличием и работой экологически соответствующих этим зонам сапробных организмов. Наибольшего расцвета санитарная гидробиология достигла в Чехословакии, Германии, Швейцарии, Соединенных Штатах Америки.

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

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

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

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

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

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

Вопросами санитарной гидробиологии занимаются многие международные организации. Так, Международная ассоциация теоретической и прикладной лимнологии

большое внимание уделяет проблемам загрязнения и самоочищения водоемов. Вопросами согласованной методики занимается и Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), организующая для этой цели специальные симпозиумы.

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

Новый журнал «Water Research» (орган международной ассоциации по изучению загрязненных вод (IAWQP)) публикует работы, выполненные на очень высоком уровне, причем с преобладающей ролью биологических исследований, при сочетании усилий 9 биологов, физиков, химиков и даже кибернетиков. Значительный объем научной информации представлен также в трудах международных конгрессов этого органа.

Вопросы для самоконтроля

1. Основные организации и ведущие ученые, которые занимались вопросами очистки вод в России.
2. Роль международных организаций и зарубежных ученых в становлении санитарной гидробиологии.
3. Цель и основные задачи санитарной гидробиологии на современном этапе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Танкевич, П.Б.** «Санитарная и техническая гидробиология»: Конспект лекций для студентов специальности 6.130.300 «Водные биоресурсы» дневной формы обучения / П.Б. Танкевич. – Изд-во.: Керченский государственный морской технологический университет, 2008.-79 с.

2. **Семерной, В.П.** Санитарная гидробиология: Учеб. пособие по гидробиологии. 2-е изд., перераб. и доп. Яросл. гос. ун-т. / В.П. Семерной Ярославль, 2002. 147 с.

Дополнительная

1. **Санитарная и техническая гидробиология.** Материалы I съезда ВГБО. – М.: Наука, 1967. – 178с.

2. **Брагинский, Л.П.** Санитарная гидробиология. Термин и его содержание./Л.П. Брагинский - Гидробиологический журнал, 1971, т.7, №1. – с.126 – 132.

3. **Миронов, О.Г.** Морская санитарная гидробиология и медицинская океанография. / О.Г. Миронов – Экология моря, № 47, 1998. с. 75 – 78.

Лекция 2

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ САНИТАРНОЙ ГИДРОБИОЛОГИИ

Теория, практика, приоритеты и принципы анализа, оценки и контроля качества вод.

1. Теория и практика в санитарной гидробиологии.

Санитарная гидробиология, как одно из прикладных направлений общей гидробиологии, пользуется ее методами с определенной интерпретацией данных. Программа полевых и лабораторных исследований по санитарной гидробиологии строится согласно целям и задачам. Набор приборов, оборудования и материалов аналогичен набору приборов, оборудования и материалов общей гидробиологии. Количественные и качественные данные, полученные по биосистемам водоемов, в бщегидробиологических исследованиях могут быть использованы для оценки экологического, санитарного, гигиенического, продукционного и рекреационного состояния водоема и водотока. В санитарной гидробиологии используется количественный метод -: все считается и протоколируется. Ряды наблюдений позволяют построить экологическую модель водоема по признаку загрязнения.

Методология исследований по качеству воды в наиболее общем плане должна строиться на определении:

- состава показателей, подлежащих контролю;
- принципов размещения пунктов наблюдений;
- сроков проведения исследований;
- необходимости и достаточной степени точности измерений;
- способов обобщения, хранения и представления информации.

Необходимым условием эффективности работ по качеству воды является комплексность проведения исследований, синхронность всех систем наблюдений и унификация методов получения и интерпретации результатов (Верниченко, Лозанский, 1982).

Так как основные задачи санитарного исследования направлены на установление качества воды водоема как источника хозяйственно питьевого водоснабжения и рекреационного использования, то непременным условием становится знание различных сторон жизни водоема: состояние охранной зоны; условия формирования поверхностного стока; характер и площади растительности на берегах водоема; размещение населенных пунктов, их санитарное состояние, промышленных предприятий, организация сбора, очистки и сброса сточных вод; размещение и состояние портов, портовых сооружений, места отстоя судов; сельскохозяйственное использование земель на водосборной территории, виды и количество используемых удобрений, места выпаса и загонов для скота; санитарное состояние пляжей.

Биологические характеристики водных экосистем должны быть взаимосвязаны с химическими и гидрологическими, и определяться одновременно, в комплексе. Одними из главных гидрологических данных для реки следует назвать: расход реки, определяющий степень воздействия загрязнений на ее воды, влияющий на скорость разбавления, например сточных вод и процесс самоочищения реки; характер распределения загрязнений по руслу при рассеянном выпуске сточных вод и при прямоточном, с тем чтобы выделить «факел» сброса по руслу и определиться в выборе створов наблюдений; глубина водоема, необходима для выбора точек и метода отбора проб воды и грунта, для определения средней скорости по вертикали и интенсивности перемешивания воды и скорости разбавления загрязнений. Для озер и водохранилищ необходимо установить акваторию загрязнений и выделить водные массы с разной степенью загрязнений (качества воды), характер распределения загрязнений на пути стока из озера или через плотину водохранилища, или под влиянием ветрового перемешивания, установить зоны аккумуляции загрязнений,

наличие и характер вторичного загрязнения. Нужно исследовать грунты водоемов с целью определения их загрязнения, особенно илов на глубинах и в зонах замедленного водообмена.

Всякая интерпретация химических и биологических явлений в водной и околоводной средах направлена на интересы здоровья и обеспечения хозяйственной деятельности человека.

Санитарно-гидробиологические исследования должны носить мониторинговый характер, сезонный, круглогодичный и многолетний. При наличии длинных рядов наблюдений можно строить прогноз качества воды и давать рекомендации по хозяйственному использованию вод и принятию управляющих решений по охране водоемов от загрязнений.

Г.Г. Винберг (1975) указывал, что специальные представления и методы санитарно-гидробиологических исследований должны быть самым тесным образом связаны с современными и общегидробиологическими методами и представлениями. Чем теснее будет эта связь, тем плодотворнее будет решение специфических задач этой науки (Винберг, 1969).

Г.Г. Винберг (1981) придавал биологическим методам решающую роль в оценке последствий загрязнения по степени нарушенности водной экосистемы, в то время как химические или физические методы обнаруживают, в лучшем случае, наличие загрязнений, но не их последствия.

Ценность данных, получаемых в результате биологического анализа качества воды, состоит еще и в том, что начинающиеся изменения в видовом составе и в численности организмов водного биоценоза служат сигналом надвигающегося неблагополучия в состоянии водоема еще до того, как концентрации отдельных химических соединений достигли или превысили уровни ПДК, а общие показатели качества воды соответствуют требованиям «Правил охраны поверхностных вод». Таким образом, бактериологические и биологические методы дают возможность принять профилактические меры по охране водоемов (Синельников, 1980).

2. Приоритеты и принципы анализа, оценки и контроля качества вод.

Гидробиологические методы оценки качества вод имеют длительную историю, в значительной мере совпадающую с историей становления гидробиологии как самостоятельной науки. Классики прикладной (санитарной) гидробиологии играли ведущую роль в создании общегидробиологических представлений. Очевидно, что и теперь при резко возросшем объеме знаний и далеко зашедшей дифференциации наук решение практических задач гидробиологии необходимо вести на уровне быстро развивающихся общетеоретических представлений.

Среди гидробиологических методов, специально разработанных для оценки качества воды или, точнее, степени общего загрязнения или достигнутой стадии самоочищения виднейшее место занимает старейший из них - система индикаторов сапробности вод, предложенная еще в начале XX века Кольквитцем и Марссоном (Винберг, 1981).

Наиболее ценными в показательном отношении Я.Я. Никитинский (1922) признавал организмы обрастаний, поскольку они позволяют получать осредненные оценки протекающей воды, особенно обрастания камней на перекатах. Планктонные организмы должны использоваться для получения картины загрязнения той части водотока, которая находится выше пункта взятия пробы, а бентос - для определения степени загрязнения донных отложений. Пробы, берущиеся в плесах и заводях, имея меньшее значение для оценки среднего общего загрязнения всей массы воды в реке, получают большее значение для оценки местных, подчас случайных загрязнений, иногда оказывающихся очагами загрязнения всей массы воды в реке (Абакумов, 1981).

С другой стороны, по нашему мнению, флора и фауна заливов, затонов и закосий в реке могут служить контрольными зонами для оценки загрязнения реки по профилю русла.

Надо иметь в виду, что незагрязняемые заливы, затоны, пойменные временные водоемы и старицы содержат биофонд для реки, способствующий восстановлению прежде всего фауны после единовременных сильных загрязнений. Я.Я. Никитинский (1922) рекомендовал проводить картирование сапробных зон, особенно в реках, и строить программу наблюдений и отбора проб относительно сброса и распределения сточных вод. Этому же посвящена и наша статья (Семерной и др., 1984).

С.М. Вислоух (1916) призывал к наиболее строгим таксономическим определениям организмов, предлагал учитывать обычные для водоема и массовые организмы, ориентироваться на отбор проб в сезоны интенсивного развития групп организмов и формирования наиболее полночленных биоценозов. При отборе проб планктона и бентоса следует учитывать скорость течения, распределения загрязнений по профилю русла реки и относительно берегов, учитывать очаговые загрязнения (концентрацию загрязнений) в результате замедленного водообмена, наличие ям на дне. Одни и те же организмы могут характеризовать разную степень загрязнения. Для дна несомненными показателями загрязнения следует признавать лишь α -мезосапробов и полисапробов, ориентируясь на их численность, размножение (наличие молоди). Единичные находки их, тем более старых особей, не могут характеризовать высокую степень загрязнения.

Относительно планктонных индикаторных организмов надо иметь в виду, что пробы, взятые в зоне сильного непосредственного загрязнения, ниже сброса сточных вод, могут дать вполне «чистое» сообщество

организмов, занесенных сюда течением из незагрязненных участков реки выше сброса стоков, еще не погибших и не опустившихся на дно. В то же время, пробы зоопланктона, взятые в 5 - 6 км ниже сброса, могут оказаться пустыми, так как организмы на этом пути погибают от действия загрязнений в районе сброса, разрушаются (коловратки) или опускаются на дно (рачки).

Некоторые рекомендации ученых для более эффективной и правильной оценки сапробности вод:

по зоопланктону:

- в связи с постоянной сменой сообщества отборы проб рекомендуется производить круглогодично;

- на степень загрязнения водоема указывает не столько наличие того или другого вида планктонного ракообразного, сколько структура сообщества, видовое разнообразие. Следует обратить внимание на то, что одновременно с сокращением общего числа видов происходит функциональная перестройка сообщества в загрязненных водах, сокращение трофической цепи;

- при использовании только видов-индикаторов слабое загрязнение определяется ненадежно. Надежнее проводить сравнительный анализ всего видового состава и численности видов;

по зообентосу:

- в подавляющем большинстве водоемов различного типа организмы зообентоса и их сообщества наиболее четко отражают степень загрязнения;

- необходимо исследовать изменения функциональных характеристик биоценозов донных животных, как реакции на загрязнения;

по макрофитам:

- исследовать роль высшей водной растительности как биологического фильтра

по водорослям:

- при установлении качества вод по альгологическим показателям

нужно исследовать: фитопланктон, перифитон и микрофитобентос;

- оценка загрязнения по водорослям может быть достаточно хорошо сделана по индикаторным организмам методом Пантле и Букк, в модификации Сладечека;

- важным показателем служит оценка функциональной активности водорослей (фотосинтез, дыхание);
- по микроорганизмам:
 - в качестве показателей качества вод рекомендуется:
 - а) общее количество бактерий по методу прямого счета на мембранных фильтрах (сопоставление для загрязненных и незагрязняемых участков водоема);
 - б) количество сапрофитных бактерий на МПА и на разведенном 1:10 МПА;
 - в) отношение числа сапрофитной микрофлоры к общему числу бактерий, выраженное в процентах.

В заключение следует отметить, что к настоящему времени санитарная гидробиология имеет вполне развитую методологию и общепринятые методы и показатели в установлении санитарного состояния водоемов. Но, имея ввиду все возрастающий интерес и требования людей к качеству воды при развитии системы водопользования, необходимо совершенствование методологии и критериев оценок качества вод при обязательной разработке требований к водопользователям по минимизации ущерба водоемам и сохранения их естественной экологической доминанты.

Вопросы для самоконтроля

1. Анализ качества вод.
2. Оценка качества вод.
3. Контроль качества вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Танкевич, П.Б.** «Санитарная и техническая гидробиология»: Конспект лекций для студентов специальности 6.130.300 «Водные биоресурсы» дневной формы обучения / П.Б. Танкевич. – Изд-во.: Керченский государственный морской технологический университет, 2008.-79 с.
2. **Семерной, В.П.** Санитарная гидробиология: Учеб. пособие по гидробиологии. 2-е изд., перераб. и доп. Яросл. гос. ун-т. / В.П. Семерной Ярославль, 2002. 147 с.

Дополнительная

1. **Санитарная и техническая гидробиология.** Материалы I съезда ВГБО. – М.: Наука, 1967. – 178с.
2. **Брагинский, Л.П.** Санитарная гидробиология. Термин и его содержание./Л.П. Брагинский - Гидробиологический журнал, 1971, т.7, №1. – с.126 – 132.
3. **Миронов, О.Г.** Морская санитарная гидробиология и медицинская океанография. / О.Г. Миронов – Экология моря, № 47, 1998. с. 75 – 78.
4. **Абакумов, В.А.** О наблюдениях и сравнительных оценках состояния экологических систем / В.А. Абакумов // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1978. Т. 1. С. 64-69.
5. **Верниченко, А.А.** Актуальные задачи оценки качественного состояния поверхностных вод / А.А. Верниченко, В.Р. Лозанский // Контроль качества природных и сточных вод: Сб. науч. трудов. Харьков, 1982. С. 3-14.
6. **Винберг, Г.Г.** Эвтрофирование и охрана вод / Г.Г. Винберг // Гидробиол. журнал. 1974. Т. 10, № 2. С. 129-134.

Лекция 3

Вода в природе. Физические и химические показатели качества воды. Биологические показатели качества воды.

1. Вода в природе.

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

Общее количество воды на земном шаре постоянно: количество ежегодно испаряющейся воды с поверхности водоемов, почв, растительности в среднем равно количеству воды, поступающей с осадками, хотя на разных участках земной поверхности влагооборот может отклоняться от среднего в ту или другую сторону. При испарении в атмосферу вместе с водой уносится и некоторое количество растворенных в ней солей.

Ежегодно испаряется 448 тыс. км³ воды, с ней уносится из Мирового океана до 500 млн. т за год сульфат-иона и такое же количество карбонат-иона.

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

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

Вода входит в состав живых существ, составляя 60-99,7% от их массы (органов, тканей, тела), в состав их крови, лимфы и других соков тела как водных, так и наземных организмов. Количество воды в организмах только в два раза меньше, чем во всех реках Земли. Она является основной средой, в которой протекают процессы обмена веществ в организмах и субстратом ряда химико-ферментативных реакций. Вода имеет также большое значение в формировании физико-химических свойств окружающей организмы среды – климата, погоды, круговорота веществ и т. д. По образному выражению вода – это «эликсир жизни», «кровь Земли».

2. Физические и химические показатели качества воды.

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

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

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

0 - нет запаха и вкуса;

1 - Очень слабый. Обнаруживается только опытными исследователями.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Цвет воды может определяться визуальным путем просматривания на водоеме столба воды высотой 0,5 м над белым диском или рассматриванием сверху столбика воды в приборе Снеллена на белом фоне. Результат описывается словесно (зеленый, бурый и т. д.) с указанием оттенков (слабо-желтый, коричневатый и т. п.). Чаще всего цветность определяют по заранее приготовленным шкалам с растворами, имеющими цветность воды – обычно применяют платиново-кобальтовую шкалу и выражают цветность в градусах этой шкалы.

Эта шкала пригодна для определения цветности большинства природных вод.

Мутную воду перед определением цветности фильтруют. При сильном развитии фитопланктона и поступлении в водоем окрашенных сточных вод цветность определяют визуально.

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

Формирование состава воды. Этот процесс начинается в атмосфере, где воды в 11

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

Строение молекулы воды. Химическая формула чистой воды H_2O . Но установлено, что состав молекулы воды более сложен поскольку существует несколько изотопов водорода (H_1 , H_2 , H_3) и кислорода (O_{15} , O_{16} , O_{17} и др.). Поэтому в состав

молекулы воды могут входить различные изотопы водорода и кислорода и в природной воде наряду с обычными ее молекулами, имеющими молекулярную массу 18, имеются молекулы с молекулярной массой 19, 20, 21 и 22. Природная вода представляет собой смесь девяти изотопных разновидностей воды, в которой 99,73% составляет H_2O_{16} с молекулярной массой 18. Если в состав молекулы воды входит изотоп водорода – дейтерий H_2 (обычно его обозначают D), то такую воду называют тяжелой водой (D_2O). В воде рек ее находится до 150г на 1т.

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

На сегодняшний день в природных водах найдено 45 химических элементов. Большая часть элементов находится в воде в виде ионов, некоторые в коллоидном состоянии. Газы находятся в молекулах, органические вещества – в коллоидном и молекулярном состоянии.

Растворенные газы. Из растворенных газов в воде наибольшее значение имеют O_2 и двуокись углерода CO_2 .

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

Расходуется кислород в водоемах на дыхание водных растений животных и на биохимические и химические окислительные процессы. При больших расходах O_2 в водоеме может возникнуть кислородный дефицит, который может сопровождаться заморами.

Величина суточного изменения содержания O_2 в водоемах, сроки наступления максимума и минимума его меняются в течение года и различны для разных водоемов.

Наибольшее насыщение воды происходит в холодные осенний и зимний периоды года.

Двуокись углерода – CO_2 . Этот газ почти всегда имеется в воде в растворенном состоянии и частично (около 1%) в виде угольной кислоты H_2CO_3 . Образование и накопление CO_2 в воде происходит за счет дыхания водных организмов, протекания биохимических процессов, различных видов брожения, процессов, происходящих в глубинах Земли, и в меньшей степени от поступления из воздуха.

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

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

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

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

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

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

Природные воды всегда содержат в своем составе различные растворенные вещества, поэтому редко имеют нейтральную реакцию. В пресных водоемах она чаще бывает слабощелочной. Воды, стекающие с болот и воды дистрофных водоемов обычно имеют кислую реакцию ввиду наличия в их составе гуминовых кислот. В дистрофных

водоемах активная реакция воды в течение года колеблется очень мало – рН=4-6. Наиболее сильно она меняется в эвтрофных водоемах, где рН колеблется от 6 до 10.

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

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

Азот. В природных водах азот находится в виде растворенного газа и в виде органического и неорганического его соединений. Может он поступать в водоем и со сточными водами. По количественному его содержанию можно судить о степени загрязнения водоемов. Из неорганических соединений азота в воде присутствуют:

солевой аммиак или азот аммонийный (ионы NH_4), соли азотистой кислоты – нитриты (NO_2), соли азотной кислоты – нитраты (NO_3). Между этими формами существует определенное соотношение.

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

Неорганический фосфор находится в воде в виде растворимых солей ортофосфорной кислоты (H_3PO_4). Фосфаты являются питательной средой для водных организмов и особенно необходимы для развития фитопланктона и высших растений.

Фосфор, используемый растениями и животными, возвращается обратно в водоем в процессе их жизнедеятельности и распада отмерших организмов. Содержание фосфатов в воде водоемов колеблется: летом их больше, в другие сезоны меньше. По-

верхностные пресные воды содержат сотые, иногда десятые доли мг. Р/л. Присутствие его в большом количестве указывает на загрязнение водоема.

Железо присутствует почти во всех природных водах в виде растворимых соединений закиси (Fe_2) и окиси (Fe_3), а также в комплексных соединениях с органическим веществом. Железо – важный биогенный элемент. Оно входит в состав крови животных и хлорофилла растений. Недостаток его в воде может тормозить цветение водорослей, а избыток – оказывать ядовитое действие на водные организмы.

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

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

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

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

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

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

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

3. Биологические показатели качества воды.

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

Биологические исследования с санитарно-гигиенической точки зрения, ведутся в двух направлениях:

1. Определение числа микроорганизмов в единице объема (обычно в 1 мг воды или в 1 г грунта) для выращивания патогенных бактерий в целях предотвращения эпидемий.

2. С рыбохозяйственной точки зрения представляет интерес на патогенные микроорганизмы, а организмы, разрушающие загрязнения и участвующих в круговороте веществ в водоеме. Состав и количество микрофлоры в воде является показателем ее качества.

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

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

В качестве показателей санитарной оценки степени загрязнения воды или грунта приняты титр кишечной палочки (коли-титр) – наименьшее количество воды в миллилитрах или грунта в граммах, в котором обнаружена одна кишечная палочка, и индекс кишечной палочки (коли-индекс) – количество особей кишечной палочки, находящихся в определенном объеме жидкости (1 л) или навеске (1 кг) твердого тела. Чем больше загрязнение воды, тем меньше коли-титр и тем выше коли-индекс.

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

Физико-химические и бактериологические показатели качества воды характеризуют ее только в момент отбора проб на определенном участке. Биологические показатели качества воды, полученные на основе исследования распределения постоянно обитающих в ней организмов, дают более широкое представление о ее качестве, причем не только на момент проведения исследований. При биологических исследованиях изучают не только

воду, но и весь водоем в целом, его население, грунты, ход биохимических процессов и другие факторы, влияющие на условия обитания водных организмов.

Природные водоемы населены организмами, различно реагирующими на изменение среды их обитания: одни из них более чувствительны, другие – менее к неблагоприятным воздействиям. Поэтому под влиянием происходящих изменений в водоеме, одни организмы погибают, другие наоборот начинают усиленно развиваться.

Наличие в водоеме чувствительных организмов указывает на хорошие качества воды, а малочувствительных свидетельствует о его загрязнении, причем каждая степень загрязнения характеризуется наличием определенной группы организмов.

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

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

Без воды нет жизни. Вода - важнейшее химическое вещество на Земле. Она - основа жизни, среда возникновения жизни на нашей планете и самый необходимый продукт потребления для человека. Всесторонность присутствия и участия воды в биологических и технологических процессах создает для воды и водоемов - от океана до пруда и колодца - такую же многогранную гамму экологических проблем. Масштабность и разнообразие форм воздействия современного общества на водные объекты требуют совершенствования научных основ охраны вод. Центральной задачей в разработке мер по охране природных вод от загрязнений стоит оценка качества воды водоемов и выработка критериев оценки качества воды по видам водопользования и водопотребления. В 1981 году странами Европы создан нормативный документ «Единые критерии качества вод», где содержится система критериев, учитывающая основные аспекты проблемы охраны вод: экологический, экономический и социально-политический.

Вопросы для самоконтроля

1. Основная роль и значение воды в природе.
2. Физические показатели качества воды. Методы для их определения.
3. Формирование химического состава воды.
4. Основные растворенные газы и химические элементы в природной воде.
5. Биологические показатели качества воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Танкевич, П.Б.** «Санитарная и техническая гидробиология»: Конспект лекций для студентов специальности 6.130.300 «Водные биоресурсы» дневной формы обучения / П.Б. Танкевич. – Изд-во.: Керченский государственный морской технологический университет, 2008.-79 с.

2. **Семерной, В.П.** Санитарная гидробиология: Учеб. пособие по гидробиологии. 2-е изд., перераб. и доп. Яросл. гос. ун-т. / В.П. Семерной Ярославль, 2002. 147 с.

Дополнительная

1. **Гусев, А.Г.** Охрана рыбохозяйственных водоемов от загрязнения./ А.Г. Гусев – М.: Пищевая пром-ть, 1975. – 367с.

2. **Когановский, А.М.** Очистка промышленных сточных вод./ А.М. Когановский, Л.А. Кульский и др. – Киев.: Техника, 1974. – 258с.

3. **Верниченко, А.А.** Актуальные задачи оценки качественного состояния поверхностных вод / А.А. Верниченко, В.Р. Лозанский // Контроль качества природных и сточных вод: Сб. науч. трудов. Харьков, 1982. С. 3-14.

Лекция 4

Система сапробности водоемов и ее развитие.

Основные источники загрязнения водоемов. Система сапробности водоемов. Зоны сапробности. Организмы-индикаторы загрязнения. Дальнейшее развитие системы сапробности.

1. Основные источники загрязнения водоемов

Рост населения, развитие промышленности и сельского хозяйства, являются основной причиной загрязнения водоемов, в них сбрасываются бытовые, промышленные, и сельскохозяйственные стоки.

Наиболее подвержены загрязнению пресные воды, но весьма интенсивно происходит загрязнение морей и океанов.

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

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) предлагает следующую классификацию видов загрязнения воды:

1) загрязнение воды бактериями, вирусами и другими болезнетворными организмами;
2) загрязнение воды разлагающимися органическими веществами, которые, поглощая кислород воды, губительно действуют на рыбу, обуславливают появление неприятных запахов и ухудшают эстетические условия - накопление неполного распада органических веществ (фенолы и т.д.). Такие вещества, если их содержание не достигает слишком высокой концентрации, разрушаются сами по себе, и вода в водоеме снова становится доброкачественной;

3) загрязнение воды неорганическими солями, которые не удаляются обычными методами очистки. Они могут делать воду абсолютно непригодной для питья, орошения и для многих процессов производства;

4) загрязнение питательными веществами для растений (поташ, фосфаты, нитраты и т.д.) Они также являются неорганическими солями, но в отличие от вышеуказанных веществ усиливают рост макрофитов и вызывают цветение водоемов. В процессе фотосинтеза они превращаются в органические вещества, способные осаждаться на дне;

5) загрязнение воды нефтепродуктами, которые оказывают неблагоприятное воздействие на рыб, ухудшают внешний вид водоема и препятствуют контакту воды с воздухом, снижая степень ее насыщения кислородом. При благоприятных условиях такие вещества накапливаются в воде в значительных концентрациях и обуславливают высокую потребность ее в кислороде;

6) загрязнение воды специфическими токсическими веществами, природа которых варьирует от солей металлов до сложных синтетических веществ (ксенобиотики).

Основными источниками загрязнения водоемов являются промышленные и бытовые сточные воды, дренажные воды с орошаемых земель, сточные воды животноводческих комплексов, организованный (ливневая канализация) и неорганизованный поверхностный сток с территорий населенных пунктов, промышленных площадок и сельскохозяйственных полей, молевой лесосплав, водный транспорт, твердый сток с эродированных земель, глобальный перенос (так называемое «фоновое загрязнение» и «глобальные поллютанты»).

Загрязняющие вещества принято делить на 3 основные группы: 1) органические

нетоксичные; 2) минеральные и органические токсические (включая радиоактивные); 3) смешанные.

К органическим нетоксичным загрязнениям относятся фекальные стоки, отходы лесосплава, целлюлозные волокна в сбросах бумажных комбинатов и другое. Они могут вызывать гибель гидробионтов через ухудшение кислородного режима, образование сероводорода, или вследствие механического воздействия. Например: волокна целлюлозы,

присутствующие в стоках, осложняют питание фильтраторов, засоряя их отцеживающие аппараты. Опускаясь на дно, волокна целлюлозы и другие твердые компоненты загрязнений, погребая под собой население дна, порой, исключая развитие бентоса. Сильное подавление его вследствие механических помех, наблюдается в реках, по которым проходит сплав больших количеств леса.

Из минеральных веществ, сбрасываемых в воду, особенно ядовиты для гидробионтов цианиды, соединения мышьяка, свинца и меди. Например, As_2O_3 смертелен для рыб в концентрации 10-20 мг/л, а для планктонных рачков, в частности *Daphnia* и *Cyclops*, в количествах 0,25-2,5 мг/л. Соединения свинца губительны для планктонных ракообразных в концентрации свыше 0,5 мг/л, для рыб их токсическая доза несколько выше и обычно составляет 10-150 мг/л. Столь же ядовиты для гидробионтов соединения меди, в частности медный купорос, вызывающий гибель водорослей, планктонных ракообразных и бентосных животных в дозах от 1 до 100 мг/л.

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

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

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

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

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

Наконец, одной из своеобразных форм загрязнения водоемов является термальное загрязнение в результате сброса в водоемы нагретых вод, прошедших через системы водяного охлаждения тепловых и атомных электростанций и промышленных предприятий. В США для этих целей используется 4 млн. м³ пресной и морской воды в минуту.

Обычно температура этих вод на 5-13⁰С выше, чем природных, что приводит к существенному изменению термического режима водоема, уменьшению их насыщенности кислородом, смешению гидрологических сезонов.

2. Система сапробности водоемов

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

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

Некоторые гидробиологи понимали важность этой проблемы и стремились ее решить. Профессор В. И. Жадин предложил «шкалу сапротоксобионных организмов», где должна учитываться загрязненность органическими и токсическими веществами. Н. С. Строганов

предложил термин «биогеохимическая область» касающийся не только природных особенностей водоемов без участия человека, и загрязнений, поступающих прежде всего от промышленных предприятий. Систему сапробности надо включить в общую схему качества воды.

3. Зоны сапробности

Р. Кольквитц и М. Марсон для оценки степени загрязнения водоемов органическими веществами – сапробности (Sapros-разложение) установили 4 зоны загрязнения:

поли- α -мезо-; β -мезо и олигосапробную. Большой вклад в дальнейшее развитие и обоснование системы сапробности внесли ученые Г. И. Долгов, Я. Я. Никитинский, А. С. Разумов, Н. С. Строганов и ряд других. Особенно значителен их вклад в познание и ревизию индикаторных организмов в поверхностных и сточных водах, и главным образом, в очистительных сооружениях.

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

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

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

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

Основную группу качественно бедного населения составляют сапрофитные бактерии, количество которых достигает многих десятков миллионов клеток в 1мл воды.

Большое распространение имеют бесцветные жгутиковые, грибы, инфузории. В этой зоне встречаются коловратки, некоторые представители зеленых и сине-зеленых водорослей. В донных осадках в больших количествах обитают олигохеты из семейства *Tubificidae* и личинки комара *Chironomus plumosus*.

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

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

4. Организмы-индикаторы загрязнения

Каждая зона сапробности характеризуется определенными физико-химическими чертами, поэтому каждой зоне свойственны специфические группы организмов. Одни виды

развиваются только в загрязненных, полисапробных водах, другие могут существовать лишь в чистых, богатых кислородом бассейнах.

Различное отношение гидробионтов к степени загрязнения водоема обуславливается двумя основными причинами: потребностью организма в органических веществах как в пище; степенью выносливости организмов, способностью их существовать в загрязненных водах. Организмы характерные для зон различной сапробности, получили название показателей или индикаторов сапробности. Первые списки организмов-индикаторов были составлены Кольвитцем и Марсоном. К настоящему времени число таких растений и животных превышает 2500 видов. Индикаторная роль гидробионтов характеризуется не только фактом нахождения или отсутствия их в водоеме, но и степенью количественного развития, вследствие чего характеристика сапробности вод должна даваться с учетом видового состава организмов и их численности и биомассы. Система оценки загрязнения водоемов по степени сапробности в настоящее время становится недостаточной, так как не учитывает присутствия в воде токсических веществ. В связи с этим целесообразно принятие и экспериментальное обоснование трех шкал оценки загрязнения водоемов: по степени сапробности, токсичности и сапротоксичности.

Токсичностью это свойство организмов существовать в водах, содержащих то или иное количество токсических веществ минеральной или органической природы и способность использовать часть этих веществ себе в пищу или сорбировать их на поверхности (внутри) своего тела. Водоемы, или их зоны, загрязненные в такой степени, что существование гидробионтов исключается полностью, обозначаются как гипертотоксичные.

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

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

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

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

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

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

5. Дальнейшее развитие системы сапробности (работы В. Сладечека)

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

Владимир Сладечек из Химико-технологического института в Праге предложил универсальную общую биологическую схему качества воды.

Все типы вод можно представить в виде круга, который делится на квадранты. Левая половина круга представляет несточные воды, правая – сточные воды. Общая биологическая схема качества воды.

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

Верхняя половина – природные и сточные воды, которые: соответствуют понятию сапробности, нижняя половина – воды, для которых нельзя применить понятие сапробности, это воды асапробные.

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

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

3. Эвсапробность (E): сточные воды, содержащие органические вещества, которые подвергаются биохимическим процессам разложения. Среди них можно различить четыре степени: i -изосапробность (развитие инфузорий), m - метасапробность (развитие бесцветных жгутиконосцев), h -гиперсапробность

(развитие бактерий и грибов), u -ультрасапробность (абиотическая степень –наиболее концентрированные сточные жидкости).

4. Транссапробность (T): сточные или поверхностные воды, которые не подчиняются понятию сапробности и не подвергаются биохимическому разложению.

Здесь присутствуют принципиально три степени качества воды: a -антисапробность с токсическими веществами; γ -радиосапробность с радиоактивными веществами и c -криптосапробность, где влияют физические факторы, например высокая или низкая температура, присутствие некоторых минеральных суспензий и т.д.

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

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

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

Итак, качество воды можно представить в виде круга, разделенного на квадранты, согласно четырем главным группам качества воды:

1. Катаробность
2. Лимносапробность
3. Эвсапробность
4. Транссапробность

Система сапробных организмов Кольквигца и Марсона включена в группу «Лимносапробность». Качество воды расчленяется дальше на 13 степеней, охарактеризованных

биологическим путем и поставленных в связь также с бактериологическими и химическими свойствами воды.

Вопросы для самоконтроля

1. Основные группы загрязняющих веществ. Какие компоненты присутствуют в органических, минеральных и смешанных загрязнениях.
2. Система сапробности.
3. Зоны сапробности по Р. Кольквитцу и М. Марсону.
4. Какие организмы являются индикаторами различных сапробных зон.
5. Система определения качества воды В. Сладечека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Танкевич, П.Б.** «Санитарная и техническая гидробиология»: Конспект лекций для студентов специальности 6.130.300 «Водные биоресурсы» дневной формы обучения / П.Б. Танкевич. – Изд-во.: Керченский государственный морской технологический университет, 2008.-79 с.
2. **Семерной, В.П.** Санитарная гидробиология: Учеб. пособие по гидробиологии. 2-е изд., перераб. и доп. Яросл. гос. ун-т. / В.П. Семерной- Ярославль, 2002. 147 с.

Дополнительная

1. **Санитарная и техническая гидробиология.** Материалы I съезда ВГБО. – М.: Наука, 1967. – 178с.
2. **Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии./Н.А. Березина- М.: Агропромиздат, 1989. – 208с.
3. **Брагинский, Л.П.** Санитарная гидробиология. Термин и его содержание./Л.П. Брагинский - Гидробиологический журнал, 1971, т.7, №1. – с.126 – 132.
4. **Когановский, А.М.** Очистка промышленных сточных вод. / А.М. Когановский, Л.А. Кульский и др.– Киев, изд-во «Техника», 1974. – 258с.
5. **Миронов, О.Г.** Морская санитарная гидробиология и медицинская океанография. / О.Г. Миронов – Экология моря, № 47, 1998. с. 75 – 78.
6. **Яшнов, В.А.** Практикум по гидробиологии./ В.А. Яшнов М.: «Высшая школа», 1969. – 428с.

Лекция 5

Проблема загрязнения водоемов. Минерализационная работа гидробионтов. Очищение воды от нефти и нефтепродуктов. Самоочищение сточных вод. Биологические факторы самоочищения от патогенных микроорганизмов. Минеральные вещества в сточных водах. Накопление радионуклидов компонентами водных экосистем как фактор самоочищения водохранилищ. Самоочищение воды от растворенных синтетических поверхностноактивных веществ (СПАВ)

1. Проблема загрязнения водоемов. Минерализационная работа гидробионтов.

Развитие промышленности, широкое внедрение продуктов химического производства, рост городов, быстрое загрязнение водоемов привело к тому, что человечество всерьез озаботилось проблемой чистой воды.

Поэтому необходимо знание механизмов самоочищения и поиск новейших методов борьбы с загрязнениями.

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

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

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

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

Работы многих ученых доказали, что чистая вода формируется под влиянием гидробионтов, и лишь небольшая часть загрязнителей исчезает без участия водных организмов.

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

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

Самоочищение водоемов с менее полной минерализацией органических соединений и отмиранием аллохтонной микрофлоры осуществляется в основном адаптированными комплексами планктонных одноклеточных организмов – микрофлорой, простейшими и др. Интенсивно разрушая органические вещества, бактерии преобразуют их в вещество своего тела. В то же время ограниченному их размножению препятствуют простейшие. Поедая

бактерии, они концентрируют органическое вещество и в свою очередь становятся добычей живых организмов, обитающих в водоеме, и определяют сущность самоочищения от разных загрязнителей.

По его данным С. И. Кузнецова, весь цикл преобразования азота в озере летом из веществ минерализации до преобразования снова в живое вещество заканчивается на протяжении двух суток.

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

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

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

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

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

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

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

По данным профессора О. Г. Миронова (1975) самоочищение водной среды имеет много общего для пресных и морских водоемов. Прежде чем говорить о самоочищении, необходимо уточнить само понятие этого явления, т.к. в настоящее время в него вкладывают разное содержание. Изучение загрязнения и самоочищения водоемов начато биологами в связи с повышением загрязнения водной среды и прямой угрозы для здоровья человека.

Почти одновременно с биологами начали исследования медики. Затем на эту проблему обратили внимание разные специалисты: физики, химики, географы и др. Это привело к трактовке процессов загрязнения и самоочищения с ведомственных позиций.

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

Наиболее правильно рассматривать самоочищение как часть общеприродного процесса круговорота веществ и передачи энергии в водную среду. Этот процесс, созданный

самой природой, существовал до появления антропогенного фактора, и задача биологов состоит в том, чтобы использовать его для разработки систем защиты водной среды.

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

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

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

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

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

2.Очищение воды от нефти и нефтепродуктов. Самоочищение сточных вод.

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

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

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

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

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

Рядом с микроорганизмами в самоочищении участвуют другие гидробионты, простейшие, фильтраторы, водоросли и т.д. Роль их пока оценить трудно. К примеру,

известна большая стойкость к нефтяному загрязнению мидий и их возможность связывать в плотные остатки эмульгированную нефть.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

В акваториях, которые постоянно загрязняются нефтью, наблюдается высокая численность и видовое разнообразие нефтеокислительных бактерий. Это противоречие можно объяснить тем, что нефть состоит из многих тысяч групп углеводорода. Отдельные виды бактерий обычно могут окислять только определенную группу углеводородов или даже какую-либо одну.

3. Самоочищение сточных вод. Биологические факторы самоочищения от патогенных микроорганизмов.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Биологические факторы самоочищения от патогенных микроорганизмов можно разделить на 3 группы:

1) антибиотические – вещества фитопланктона, зоогидробионтов, микробовантагонистов;

2) паразитические – лизирующее действие бактериофагов;

3) бактериотрофические – бактериотрофическая активность Protozoa Metazoa

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

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

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

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

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

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

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

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

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

М. А. Мессинева рассматривает самоочищение как сложный физико-химический процесс, направление и результаты которого определяются соотношением скорости поступления загрязнений и скорости их деструкции. При благоприятном соотношении биологическое равновесие не нарушается, качество воды в водоеме остается таким же.

Превышение количества загрязнений, которые поступают сверх возможности водоема к самоочищению, приводит к необратимым нарушениям биологического равновесия, и как следствие, к ухудшению состава и качества воды.

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

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

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

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

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

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

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

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

При совместном развитии водорослей и бактерий между ними при определенных условиях могут быть разнообразные взаимоотношения: метабиоз – взаимопозитивное

влияние; антагонизм – угнетение водорослями бактерий или наоборот. Чаще наблюдается угнетение водорослями бактерий, которые размножаются.

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

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

4. Минеральные вещества в сточных водах

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

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

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

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

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

Соли меди, никеля, кадмия и цинка ядовитые. Даже доли миллиграмма этих веществ в воде угнетают действие бактерий, особенно в первые часы и дни после их внесения. Цинк вредно влияет на процессы самоочищения. Исследования подтвердили, что концентрация цинка 5 мг/л очень сильно угнетает процессы самоочищения. Для питьевой воды предельно допустимая концентрация – 1 мг/л.

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

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

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

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

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

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

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

5. Накопление радионуклидов компонентами водных экосистем как фактор самоочищения

Донные грунты.

В биогеохимической судьбе радионуклидов грунты пресноводных водоемов играют важную роль.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Взвеси.

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

Водные растения относятся к наиболее активным биотическим компонентам экосистемы водоема, как обладающие способностью переводить радионуклиды из

миграционного состояния в депонируемые формы с последующим длительным выведением их из круговорота.

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

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

Наблюдаются различия в коэффициентах накопления у родственных видов растений, принадлежащих к одной систематической группе одного и того же водоема: рдест пронзеннолистный (250), гребенчатый (84) и разнолистный (300), рогоз узколистый (425) и широколистный (250), что также может отнестись за счет неодинакового содержания калия в этих растениях и различной реакцией растений на изменение tOС, рН, O₂ и другие факторы среды антропогенного происхождения.

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

погруженные, укорененные –погруженные, укорененные с плавающими листьями - погруженные неукорененные –полупогруженные.

Анализ данных о сезонной динамике накопления стронция-90 свидетельствует о том, что КН (коэффициенты накопления) этого радионуклида возрастали от весны к лету и достигали максимальных значений в июле –августе, возможно, в связи с усилением темпа роста и обмена у растений в это время. Осенью КН снижаются.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Самоочищение воды от растворенных синтетических поверхностноактивных веществ(СПАВ)

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

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

СПАВ обладают эмульгирующим действием на некоторые загрязнители водной среды, например, на гексан, толуол, бензол, гептиловый эфир, нефть, пестициды, замедляя процесс естественного самоочищения водоема от них. С другой стороны, некоторые СПАВ в концентрации от 1 мг/л до 50 мг/л стимулируют развитие сапрофитной микрофлоры. Изменяя проницаемость мембран клеток, они способствуют усвояемости микробными клетками пищевых веществ, содержащихся в воде, косвенно повышая тем самым их самоочистительную активность.

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

Вопросы для самоконтроля

1. Сущность минерализации органических соединений гидробионтами.
2. Понятие «самоочищение водоемов».
3. Механизм самоочищения воды от нефтепродуктов.
4. Эпидемиологическая опасность загрязнения сточными водами. Основные возбудители инфекций, содержащихся в водной среде.
5. Роль организмов самоочищении водоемов.
6. Основные минеральные вещества в сточных водах. Ядовитые и неядовитые вещества.
7. Роль донных грунтов, водных растений и животных в накоплении радионуклидов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Танкевич, П.Б.** «Санитарная и техническая гидробиология»: Конспект лекций для студентов специальности 6.130.300 «Водные биоресурсы» дневной формы обучения / П.Б. Танкевич. – Изд-во.: Керченский государственный морской технологический университет, 2008.-79 с.

2. **Семерной, В.П.** Санитарная гидробиология: Учеб. пособие по гидробиологии. 2-е изд., перераб. и доп. Яросл. гос. ун-т. / В.П. Семерной- Ярославль, 2002. 147 с.

Дополнительная

1. **Санитарная и техническая гидробиология.** Материалы I съезда ВГБО. – М.: Наука, 1967. – 178с.
2. **Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии./Н.А. Березина- М.: Агропромиздат, 1989. – 208с.
3. **Брагинский, Л.П.** Санитарная гидробиология. Термин и его содержание./Л.П. Брагинский - Гидробиологический журнал, 1971, т.7, №1. – с.126 – 132.
4. Долина, Л.Ф. Реакторы для очистки сточных вод./ Л.Ф. Долина– Днепропетровск, «Стандарт», 2001. – 82с.
5. **Дворецкий, А.И.** Водная микробиология. / А.И. Дворецкий, Г.П. Емец, С.О. Баздеркина– Изд-во Днепропетровского ун-та, 2000, - 91с.
6. **Когановский, А.М.** Очистка промышленных сточных вод. / А.М. Когановский, , Л.А. Кульский и др.– Киев, «Техника», 1974. – 258с.
7. **Миронов, О.Г.** Морская санитарная гидробиология и медицинская океанография. / О.Г. Миронов – Экология моря, № 47, 1998. с. 75 – 78.
8. **Яшнов, В.А.** Практикум по гидробиологии./ В.А. Яшнов М.: «Высшая школа», 1969. – 428с.

Лекция 6
Евтрофирование водоемов. Типы и источники загрязнений водоемов.
Естественное и антропогенное евтрофирование и их последствия.

1. Евтрофирование водоемов. Типы и источники загрязнений водоемов.

Под евтрофированием, в общем, понимают последствия увеличения содержания в водоемах азота, фосфора и других биогенных элементов, выражающиеся в повышении интенсивности продуцирования первичного органического вещества.

Изучение евтрофирования водоемов имеет свою историю. Она полно изложена в Обзоре по проблеме Л.Л. Россолимо [76].

Здесь данная проблема излагается прежде всего в отношении качества воды и рассматривается как евтрофирующее водоем загрязнение. Напомню лишь сущность рассматриваемого явления.

Различают естественное (ЕЕ) и антропогенное (АЕ) евтрофирование. Первое изучается в объеме «Общей гидробиологии» и ее продукционного раздела. Напомню некоторые его понятия, относящиеся к обоим видам евтрофирования.

Для водоемов существует градация по уровню трофности (кормности): ультра- и олиготрофные (малокормные), мезотрофные (среднекормные) и евтрофные (высококормные). В составе последних различают β - α -евтрофные и гиперевтрофные водоемы, обычно зарастающие и «цветущие» в течение вегетационного сезона. Разделение основано на анализе процессов синтеза и деструкции органического вещества (ОВ), которое присутствует в разных формах: растворенное (РОВ) и взвешенное (ВОВ), а по происхождению - автохтонное (созданное в водоеме) и аллохтонное (привнесенное, приточное) ОВ. В санитарном отношении градация по трофности, в общем, совпадает с градацией сапробности: о-сапробные, β - α -мезосапробные и полисапробные.

Отличие трофности от сапробности состоит прежде всего в том, что во втором случае оценивается роль аллохтонного, часто загрязняющего водоем органического вещества, в первом – интенсификацию продукционных процессов, обусловленную повышенным потреблением биогенных веществ (азот, фосфор), прежде всего антропогенного происхождения. Общеизвестно, что умеренно евтрофные водоемы дают более высокие показатели полезной биопродукции (рыбной продукции), чем евтрофные и олиготрофные водоемы. Евтрофные водоемы характеризуются «цветением» воды с одним или двумя пиками в вегетационный период. Дальнейшее углубление процесса евтрофикации приводит к гиперевтрофированию водоема с развитием «цветения» практически во весь период вегетации (оз. Неро). Гиперевтрофирование или избыточное евтрофирование можно рассматривать как собственно загрязнение водоема, так как оно приводит к перегрузке экосистемы первичным ОВ, в результате чего происходит деградация экосистемы: упрощение ее структуры, ухудшение качества воды, развитие вторичного загрязнения и снижение выхода полезной продукции. Это происходит обычно при прямом загрязнении водоемов с преобладанием минеральных форм азота и фосфора или легкоокисляемого органического вещества. В этом случае речь идет об антропогенном евтрофировании. Сущность его Л.Л. Россолимо (1971) определил как нарушение лимнической экосистемы, возникающего и развивающегося вследствие повышения уровня первичной продукции органического вещества на основе антропогенного обогащения питательным веществом. Процесс антропогенного евтрофирования, в целом, искажает практически все естественные характеристики водоема, в том числе санитарные критерии качества воды для «чистых» водоемов. В этом смысле АЕ является предметом рассмотрения санитарной гидробиологии.

В природе повышение уровня трофности озер происходило всегда, озера «старели», переходя от стадии олиготрофии через мезотрофию, евтрофию до дистрофии и

заболачивания. Антропогенному евтрофированию подвергаются как стагнированные (лимнические) водные экосистемы, в том числе водохранилища и участки рек (заливы и затоны) с замедленным водообменом. Естественному и антропогенному - озерные экосистемы, пруды разного назначения и карьеры, заполненные водой. В настоящее время естественного евтрофирования практически не наблюдается, так как фактически уже нет водоемов, не подвергающихся в той или иной мере притоку биогенных загрязнений с поверхностным стоком или эоловым переносом. АЕ в отличие от ЕЕ возникает относительно быстро. При этом первичная продукция резко преобладает над деструкцией органического вещества.

Отношение валовой первичной продукции (А) к общей деструкции (R) больше единицы ($A: R > 1$). Увеличение биомассы водорослей приводит к преобладанию на дне деструкции над продукцией ($R > A$). Усиление деструкции приводит к дефициту кислорода. При интенсивном продуцировании даже разрушение части первичной продукции (ПП) достаточно для возникновения дефицита кислорода, вплоть до полного замора. Последствия этого процесса могут выражаться в форме вторичного загрязнения и заболачивания водоема.

Л.А. Сиренко (1981) рассматривает евтрофирование как сложный процесс, протекающий в водоемах под влиянием большого числа факторов, приводящих к естественному и (или) антропогенному евтрофированию.

2. Естественное и антропогенное евтрофирование и их последствия.

Естественное евтрофирование. Наиболее отчетливые стадии ЕЕ проходят в озерах (старение озер). Для озер характерно накопление биогенных элементов в воде, донных отложениях и телах гидробионтов. Более или менее постоянный приток биогенов с поверхностным, почвенно-грунтовым и эоловым стоком в озерную котловину создает условия для первичного продуцирования, выражающегося в образовании фитомассы одноклеточных водорослей и макрофитов. Подсчитано, что годовая продукция евтрофных озер находится в пределах от 10,5 до $15 \cdot 10^3$ Дж на m^2 , а малопродуктивных - составляет до 1,4 Дж на m^2 . Растительная продукция не только связывает неорганический углерод атмосферы и водной толщи, но и вовлекает в круговорот биогенные элементы, содержащиеся в донных отложениях.

Бактериальная аэробная и, возможно, анаэробная деструкция в толще донных отложений при недостатке или отсутствии кислорода и низкой Eh способствуют возврату части азота и фосфора в толщу воды, усиливая первичное продуцирование. Таким образом, происходит автохтонная сукцессия озерной экосистемы с эволюционным эффектом – сменой типа сообществ и трофического статуса: олиготрофное озеро – мезотрофное - евтрофное с конечной стадией гипер (поли)-трофии - болото.

Существенное значение в поступлении питательных веществ в воду водохранилищ имеет вынос их из затопленных грунтов и донных отложений. Так, с 1 m^2 площади дна Дубоссарского водохранилища в сутки выделяется в среднем до 98 мг аммонийного азота, до 6,3 мг нитритного азота, от 1,7 до 330 мг кремния, около 3,7 мг гидрокарбоната, до 6,3 мг CO_2 и других соединений. Лугово-черноземные, пойменные, дерново-лесные и, отчасти, дерново-подзолистые грунты характеризуются высоким содержанием мобильных соединений, которые поступают в воду: 3 096 кг/га углерода, 768 хлора, 796 сульфатов, 624 кальция, 204 магния, 396 натрия, 96 калия, 90 марганца, 0,25 кг/га нитратов. Болотные почвы дают в среднем 2 339 кг/га марганца, 381 фосфора в форме P_2O_5 , 268 аммонийного азота, 59 кг/га нитратного азота.

При этом в воду попадает 5 - 30% подвижного азота аммонийных соединений, 6 - 23% фосфора, 0,1 - 10% подвижного марганца.

В Рыбинском водохранилище за сутки с 1 м² в воду поступает в зависимости от типа грунта от 0,7 мг (незаиленная почва) до 35 мг (торф, переходный ил) азота. В среднем 4 мг за сутки, что суммарно с площади дна 4 550 км², дает 16 952 кг/сутки, или 6 187,5 т/год азота. Особенно интенсивно этот процесс идет при подвижности донных отложений (волнение, течение, спад и подъем уровня) (Сиренко, 1981). В период шторма за сутки с 1 м² грунтов поступает в воду 200 – 500 мг орг. углерода, 11 – 28 мг аммонийного азота, 1 -9 мг мин. фосфора.

Существенный вклад в пополнение запасов азота в водоемах вносит азотфиксация. Например, азотфиксирующие сине-зеленые водоросли в озерах связывают от 2,4 до 8 - 30 кг/га азота в год. В Рыбинском водохранилище за счет азотфиксации накапливается до 12% среднего годового количества азотистых соединений, что соответствует примерно 1 358 т азота.

Весьма ощутимый вклад в пополнение запасов азота и фосфора водоемов вносят водоплавающие животные и птицы. Например, показано, что выращивание 1 кг рыбы в пруду обуславливает загрязнение воды в количестве 3 г БПК₅ в сутки, а одна дикая утка дает около 477 г азота и 204 г фосфора в год.

Существенный приток биогенов и органики в водоемы идет из природных ландшафтов. При разложении 1 г свежей древесины (ива, тополь, клен, сосна) в 1 л воды поступает 0,59 - 2,22 мг/л азота аммиачного, 0,05 - 0,60 азота нитратного, 0,27 - 1,07 фосфора общ., 10,9 - 19,20 орг. углерода, 0,80 - 2,40 азота орг., 7,40 - 42,40 мкг/л аминокислот, 0,10 - 0,37 мг/л редуцированных сахаров.

Ежегодный прирост питательных веществ смешанных, лиственных и широколиственных лесов достигает 200 ц/га, из которых до 70 ц уходит в опад. Значительная часть этой фитомассы ливневым стоком, паводками уносится в водоемы и водотоки, пополняя при минерализации фонд биогенных элементов водоема.

Антропогенное евтрофирование (АЕ). «Цветение» воды как фактор биологического загрязнения водоемов - весьма распространенное явление в природе (пруды, озера, водохранилища). Оно рассматривается как результат нарушения процессов регуляции в водных биоценозах.

В его основе лежит аккумуляция азота, фосфора, серы и других минеральных элементов и растворимых органических веществ. Эти элементы могут поступать как при связывании в первичном ОВ и выщелачивании последних из залитых почв, так и вследствие сброса сточных вод (даже хорошо очищенные, они содержат в 4 – 5 раз большее количество биогенных элементов, чем природная вода), смыва с пахотных земель, интенсивно удобряемых при сельскохозяйственном производстве. Став постояннодействующим фактором, антропогенное евтрофирование приводит к непрерывному увеличению запасов питательных веществ в водоеме. Включение этих веществ в кругооборот должно обязательно пройти через биологическое звено. Возникающее несоответствие между материальной основой биологической продуктивности и скоростью перестройки потребителей со всей сложностью метаболических связей в водных экосистемах и приводит к нарушению процессов саморегуляции в биоценозах. Доминирующим становится вид, наиболее приспособленный к данным условиям, с наибольшей устойчивостью к изменяющимся физико-химическим факторам среды.

Главным источником биогенов для водоемов стал их поверхностный и внутрипочвенный сток с сельхозугодий: в среднем 20 - 40% вносимых в почву азотных удобрений и 1,5% фосфорных попадают в водоемы. В Швейцарии более 70% азота и до 50% фосфора поступает в воду озер с сельхозугодий. В Германии соответственно - 54 и 2%, в Чехии - азота 40%, калия - 30%. В Киевское водохранилище ежегодно с поверхностным стоком поступает 25 000 - 51 000 т минерального и 26 000 -34 000 т органического фосфора, 16 000 - 23 000 т железа, 87 000 -202 000 т кремния, 360 000 – 430 000 т органического углерода, 2 000 -4 000 т тяжелых металлов.

П.А. Великевич и Н.А. Усович (1973) показывают характер стока биогенов в реки Полесья с сельхозугодий (табл. 1).

Таблица 1

**Поверхностный сток азота, фосфора, калия
с различных участков водосборной площади, кг/га**

Участок	Азот	Фосфор	Калий
Поле озимой ржи	1,24 - 9,1	0,024 - 0,038	1,45 - 5,53
Залежные земли первого года	3,2 - 4,1	0,025 - 0,032	4,6 - 6,0
Пахота	1,3	0,035	1,3

Огромнен сток биогенов с территорий животноводческих комплексов. По данным американских исследователей, БПК стоков, образующихся в результате выпадения атмосферных осадков, с территории животноводческой фермы в 10 - 20 раз превышает БПК необработанных городских стоков. Ферма в 50 голов скота может за сезон произвести около 200 т твердых и 150 т жидких отходов, содержащих около 1 000 кг азота и 200 кг фосфора, 100 кг калия, которые попадают в водоем за счет ливневых стоков и в период весеннего половодья. Сточные воды животноводческих объектов очень богаты биогенами. Например, в них содержится до 125 мг/л аммонийного азота, до 3 000 мг/л двуокиси углерода, более 6 мг/л фосфора, до 150 мг/л органических веществ.

Поверхностный сток с городских территорий. Дождевая вода уже в атмосфере над городом содержит до 53 мг/л взвешенных веществ, а БПК ее доходит до 31 мгО₂/л.

При скатывании воды с крыш содержание взвешенных веществ повышается до 440 мгО₂/л, а при стекании с улиц и площадей - до 40 000 мгО₂/л (Пичахчи, Коваль, 1974). В стоках с городов много фосфора: 0,4 - 1,4 мг/л весной, 2,4 - 7,3 летом и 1,3 - 4,8 мг/л осенью.

Сточные воды. Сброс сточных вод в водоемы является одной из основных причин их евтрофирования и загрязнения. В водах городской канализации содержится аммонийного азота 30 - 90 мг/л и фосфора 1,7 - 2,6 мг/л, в том числе 50% органики.

Подсчитано, что в сточные воды в пересчете на душу населения ежедневно поступает 0,75 - 5,0 г фосфора и 8 г азота см. табл. 2.

Таблица 2

**Состав и количество загрязнений бытовых сточных вод
на одного жителя в сутки (по: Фальковская, 1974)**

Наименование ингредиентов	Количество, г/сутки
Взвешенные вещества	65
БПК5 в осветленной жидкости	35
БПК30 в осветленной жидкости	40
Азот аммонийных солей	8
Фосфаты (P ₂ O ₅)	1,7
Хлориды	9
Калий	3,0
Окисляемость (по Кубелю), мгО ₂ /л	5 - 7

Ежегодно с площади водосбора в Днепр поступает 26 - 51 тыс. тонн минерального азота и 2 - 3 тыс. т фосфора. Со сточными водами городов и промышленных предприятий, расположенных вдоль Днепра от Киева до Запорожья, в реку и водохранилища сбрасывается 100% количества азота и 35% фосфора, поступающих с водосбора. Так возникает запас питательных веществ, который неизбежно должен реализоваться в биологических процессах (Топачевский и др., 1975).

Характер и интенсивность «цветения» определяют следующие факторы:

- замедление водообмена при зарегулировании стока рек (вода р. Волги до зарегулирования проходила от истока до устья за 1,5 месяца, а после зарегулирования - 1,5 года, при этом наблюдается интенсивное цветение водохранилищ);
- сток и накопление биогенных веществ в нижней части каскада водохранилищ;
- географическое положение водоема, определяющее сроки вегетационного периода и летнюю температуру 20 - 25°C, оптимальную для массового размножения основных возбудителей «цветения»;
- химический фактор: увеличение запасов питательных элементов в водоемах в результате антропогенного евтрофирования является пусковым механизмом «цветения» (Топачевский и др., 1975).

Резкое увеличение биомассы фитопланктона обычно обусловлено, с одной стороны, способностью сине-зеленых к азотфиксации и, с другой, избыточным поступлением фосфора, содержание которого в природных водоемах незначительное. Каждому уровню трофности соответствуют примерные концентрации биогенных веществ и соединений (мг/л-1) (Цееб, Чугунов, 1980), (табл. 3).

Таблица 3

Уровень трофности и концентрация биогенных веществ и соединений

	Фосфор	Азот			
		Общий	Нитраты	Аммоний	Органический
Олиготрофные	0,02	0,3	0,003	0,02	0,28
Мезотрофные	0,08	0,6	0,13	0,10	0,4
Евтрофные	0,5	1,5	0,5	0,15	0,8

«Сверхнормативное» поступление в водоем фосфора при обычно недостаточном содержании азота в разных формах служит «пусковым механизмом» интенсивного развития сине-зеленых водорослей («цветения»).

В период массового развития сине-зеленых водорослей в водохранилищах наблюдаются плавающие «острова» водорослевой массы, получившие название «полей», или «пятен цветения» (Сиренко, 1969; Козицкая, 1975). Это сгущенные и ослизненные массы водорослей до 10 –40 кг/м³. Различают «планктонную» - продуктивную зону пятен и зоны разложения «гипонейстонную» и «деструктивную». Характерной особенностью «пятна цветения» является резкое возрастание общего содержания фенольных соединений. Максимальное количество их обнаружено в «деструктивной» - 53,5 мг/л и «гипонейстонной» - 32,2 мг/л.

При массовом отмирании сине-зеленых водорослей, особенно в «пятнах цветения», в гипонейстоне и на дне происходит загрязнение природных водоемов фенольными соединениями (Козицкая, 1975).

В конце лета - начале осени в связи с понижением температуры воды происходит седиментация сине-зеленых водорослей. В результате разложения этой массы в воде резко повышается содержание органических веществ, увеличивается цветность и ухудшается газовый режим у дна. Это приводит к гибели оксифильной фауны и замещению ее олигохетно (тубифицидно)-хинономидным (хинономусным) комплексом.

Последствия евтрофирования для водоема. Л.А. Сиренко и М.Я. Гавриленко (1978) установили следующие последствия.

1. Изменение физических и химических показателей среды в сторону повышения содержания в воде биогенных и органических веществ, в первую очередь азота и фосфора; снижение степени кислородного насыщения, особенно в придонных слоях в связи с усиленным его потреблением и возникновением стратификации; уменьшение прозрачности и изменение цвета воды.

2. Развитие восстановительных процессов при дефиците O_2 (анаэробноз) с образованием метана, сероводорода, водорода, аммиака.

3. Снижение окислительно-восстановительного потенциала. Освобожденная фосфорная кислота и образующиеся аммонийные соли способствуют усиленному развитию фитопланктона.

4. Увеличение биомассы макрофитов, перифитона, фитопланктона и пелагических микроорганизмов.

5. Качественные и количественные изменения фауны литорали, бентоса, планктона, сокращение ценных видов рыб.

6. Дефицит кислорода в гипolimнионе до полного его исчезновения, обогащение гипolimниона солями закисного железа и сероводородом, что сопровождается одновременно выносом фосфора из иловых отложений, увеличение общей численности бактерий до 3 - 4 млн. в 1 мл и более, связанной с деструкцией органического вещества и скоростью размножения бактерий.

Наиболее ярким проявлением АЕ водоемов является «цветение» воды. Окраска воды в период «цветения» варьирует от ярко-зеленой, желто-зеленой, каштановой или серой до ярко-красной в зависимости от окраски организмов, ее вызывающих, и их концентрации. «Цветение», в свою очередь, имеет свои последствия.

1. Продуцирование токсических веществ, опасных для гидробионтов, теплокровных животных и человека.

2. Подщелачивание воды и создание благоприятных условий для развития патогенной микрофлоры и возбудителей кишечных заболеваний, в том числе холерного вибриона.

3. Ухудшение кислородного режима после отмирания водорослей.

4. Увеличение температуры воды от нагрева водорослей.

5. Возникновение локальных заморов (в заливах и бухтах), вызывающих гибель молоди рыб.

6. Химическое подавление роста других водорослей.

7. Угнетение рачкового планктона (Сиренко, Гавриленко, 1978).

К профилактическим мероприятиям, направленным на снижение интенсивности «цветения» ныне существующих водохранилищ, можно отнести следующие.

1. Защита водоемов от поступления неочищенных и плохо очищенных сточных вод промышленных предприятий, бытовых стоков и биогенных элементов с площади водосбора.

2. Насаживание лесов по берегам водохранилищ для перехвата основной массы биогенных элементов из поверхностного стока.

3. Использование специальных химических препаратов (альгицидов: диурон, монурон, атразин) для ограничения «цветения» в замкнутых водоемах технического и декоративного назначения.

4. В водоемах питьевого, рыбохозяйственного и рекреационного назначения целесообразно применять аэрирование: продувание воздуха, искусственное турбулентное перемешивание воды с помощью судовых двигателей, электродвигателей или ветродвигательных установок. Обогащение воды кислородом замедляет или прекращает рост синезеленых водорослей усиливает процессы минерализации органических соединений, активизацию деятельности аэробной микрофлоры и интенсифицирует процессы самоочищения.

5. Одной из мер по предупреждению АЕ может быть отведение прямого загрязняющего стока органических веществ от водоема в канаву, выкопанную вдоль берега (озера). Загрязненные воды отстаиваются и постепенно дренируются через перемычку в озеро в более чистом состоянии (применено во Франции на оз. Аннеси).

6. Высаживание канадского риса на мелководьях (Можайское водохранилище), создание «макрофитного плато» (Иваньковское водохранилище).

Каждый человек, тем более с экологическим (гидробиологическим) и биологическим образованием, наблюдающий «цветущий», быстро зарастающий и заболачивающийся водоем, должен представлять механизм этого явления с тем, чтобы не способствовать его ускорению и по возможности бороться с ним.

Вопросы для самоконтроля

1. Евтрофирование водоемов. Типы и источники евтрофирования.
2. Понятие трофности.
3. Естественное евтрофирование.
4. Антропогенное евтрофирование.
5. Признаки евтрофирования
6. «Цветение водоемов»
7. Последствия евтрофирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Танкевич, П.Б.** «Санитарная и техническая гидробиология»: Конспект лекций для студентов специальности 6.130.300 «Водные биоресурсы» дневной формы обучения / П.Б. Танкевич. – Изд-во.: Керченский государственный морской технологический университет, 2008.-79 с.

2. **Семерной, В.П.** Санитарная гидробиология: Учеб. пособие по гидробиологии. 2-е изд., перераб. и доп. Яросл. гос. ун-т. / В.П. Семерной- Ярославль, 2002. 147 с.

Дополнительная

1. **Санитарная и техническая гидробиология.** Материалы I съезда ВГБО. – М.: Наука, 1967. – 178с.
2. **Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии./Н.А. Березина- М.: Агропромиздат, 1989. – 208с.
3. **Брагинский, Л.П.** Санитарная гидробиология. Термин и его содержание./Л.П. Брагинский - Гидробиологический журнал, 1971, т.7, №1. – с.126 – 132.
4. Долина, Л.Ф. Реакторы для очистки сточных вод./ Л.Ф. Долина– Днепропетровск, «Стандарт», 2001. – 82с.
5. **Дворецкий, А.И.** Водная микробиология. / А.И. Дворецкий, Г.П. Емец, С.О. Баздеркина– Изд-во Днепропетровского ун-та, 2000, - 91с.
6. **Когановский, А.М.** Очистка промышленных сточных вод. / А.М. Когановский, Л.А. Кульский и др.– Киев, «Техника», 1974. – 258с.
7. **Миронов, О.Г.** Морская санитарная гидробиология и медицинская океанография. / О.Г. Миронов – Экология моря, № 47, 1998. с. 75 – 78.
8. **Яшнов, В.А.** Практикум по гидробиологии./ В.А. Яшнов М.: «Высшая школа», 1969. – 428с.

Лекция 7

Самоочищение водоемов Механизм самоочищения. Распределение веществ. Биологическое самоочищение

В настоящее время в понятие «самоочищение» вкладывается различный смысл. Процессы самоочищения в водоемах могут изучаться с позиций гидрологии, гидрохимии, санитарной гидробиологии, гигиены.

Изучение загрязнения и самоочищения водоемов было начато биологами, позже подхвачено медиками, а затем эти вопросы привлекли внимание физиков, химиков, географов, представителей технических дисциплин и т.д. Это привело к тому, что процессы загрязнения и самоочищения стали рассматриваться с точки зрения соответствующих интересов.

Поскольку в самоочищении участвуют биологические, химические, физические факторы, крайне важную роль приобретает как исследование каждого из этих факторов в отдельности, так и их взаимосвязей.

В соответствии с ГОСТом-72 самоочищением называют совокупность всех природных процессов в загрязненных водах, направленных на восстановление первоначальных свойств и состава воды. В эту совокупность включаются процессы смешения, осаждения, распада и превращения веществ, загрязняющих водоемы.

А.П. Пасичный и др. (1994) под самоочищением понимают понижение содержания в ней как органических, так и минеральных веществ в результате гидрологических, физико-химических и биологических процессов. Конечным этапом процесса самоочищения следует считать формирование биологически полноценной воды, т.е. пригодной для обитания в ней гидробионтов и водопользования (Телитченко, Чернышов, 1971). Непременным условием биологической полноценности воды является наличие в ней определенных концентраций биогенных элементов, аминокислот, органических кислот, углеводов, витаминов, ферментов, других физиологически активных веществ. В природных условиях такая вода образуется только после прохождения через «биологический фильтр» - через метаболизм гидробионтов, входящих в состав гидробиоценозов (Винберг, 1964; Пасичный и др., 1994).

Большое влияние на самоочищение водоемов оказывают: географическое положение, морфометрия, геология, особенности водоснабжения бассейна, количество и состав сточных вод, поступающих в водоем (Синельников, 1980).

1. Механизм самоочищения

Сущность самоочищения и его механизма достаточно полно отражена в предисловии Г.Г. Винберга к сборнику научных работ «Гидробиологические основы самоочищения вод» (1976): «Изучение механизма самоочищения, осуществляемого через жизнедеятельность населяющих водоемы микроорганизмов, растений и животных, может успешно развиваться только на основе глубокого знания функциональных особенностей отдельных организмов и закономерностей взаимоотношений между ними, в первую очередь трофических, т.е. на той же основе, что и изучение биотической трансформации вещества и энергии в незагрязненных водах, но только в других специфических для загрязненных вод условиях».

А.Ф. Алимов и Н.П. Финогорова (1976) считают: «Процессы биологического самоочищения водоемов и водотоков могут рассматриваться только с позиций количественного выражения роли сообществ и популяций в биотическом круговороте вещества и энергии в водоеме»

А.П. Пасичный и др. (1994) проводят всесторонний анализ механизмов самоочищения, исходя из трех предпосылок:

1) самоочищение происходит в любой водной среде - даже в наиболее загрязненных водоемах, образно именуемых «сточными канавами»;

2) самоочистительная способность связана с продукционно-деструкционными процессами, которые обеспечивают общий круговорот веществ в водоеме в пределах его трофической сети;

3) угнетение продукционного процесса и понижение самоочистительной способности водной среды происходят вследствие токсичности компонентов загрязнений (тяжелых металлов, пестицидов, поверхностно-активных веществ, биогенных элементов) при высокой концентрации или их несбалансированности.

Самоочищение - сложное многоплановое явление, в котором можно выделить несколько процессов, большей частью одновременных:

1. Распределение веществ. Процесс включает растворение, осаждение, эмульгирование, всплытие и концентрирование веществ в поверхностной пленке и пене.

2. Использование веществ организмами. Этот процесс характерен не только для соединений, поступающих в водоем с бытовыми сточными водами, но и для промышленных сточных вод.

3. Абиогенное окисление. Процесс включает распад веществ в фотохимических реакциях и экзотермических химических реакциях, идущих с низкой энергии активации.

4. Превращение веществ - стадия образования новых соединений из промежуточных продуктов распада. В реакциях синтеза, конденсации и полимеризации участвуют ферменты и активные химические частицы.

Оценку самоочищения дают по окислению органического вещества в биохимических процессах - БПК. В водоемах при антропогенных загрязнениях всегда имеются и трудно окисляемые вещества. Наряду с БПК определяется и ХПК (химическое потребление кислорода) - определение органического углерода и бихроматной окисляемости.

Вода является универсальным растворителем, поэтому загрязнения, сбрасываемые в любой тип ландшафта, оказываются в конечном итоге в воде.

В природе синтезируются практически все вещества, входящие в загрязнения (ацетон, фенолы, перекиси и пр.), поэтому загрязняющие вещества канализируются в естественном круговороте. Отличия состоят лишь в том, что сильно возрастают потоки веществ. Однако, в составе загрязнений есть вещества, не существующие в природе, - ксенобиотики. Загрязнения делятся на органические и неорганические. И те и другие имеют взвешенные и растворенные формы. Трансформация веществ в процессе круговорота идет по трем направлениям: физическому (растворение), физико-химическому (коагуляция) и химическому (химическое окисление, фотохимическое и биохимическое). Первые два пути рассматриваются в соответствующих курсах гидрологии и гидрохимии. Третий путь - биологическая или биохимическая трансформация загрязняющих веществ - является предметом санитарной гидробиологии. Трансформация органических веществ состоит в упрощении структуры и обеднении энергией. Для неорганических загрязняющих

веществ, наоборот, - усложнение структуры из-за включения в состав живого вещества. При этом может происходить сильное увеличение концентрации (понятие коэффициента накопления).

Органическое вещество. Растворенное органическое вещество (РОВ) трансформируется только микроорганизмами и некоторыми водными гетеротрофами и миксотрофами. Взвешенное органическое вещество может использоваться всеми организмами, входящими в трофическую цепь.

Неорганические вещества, входящие в состав живого вещества, например металлы, при отмирании организмов попадают в воду, поэтому эффект самоочищения только кажущийся (вторичное загрязнение).

Однако в процессе эволюции природы выработался тонкий механизм регулирования состава окружающей среды. Так, излишки веществ, поступивших в биосферу, выводятся с помощью организмов из круговорота (каменный уголь, гуано на островах, железо-марганцевые конкреции и др.). По этому пути проходит механизм самоочищения от неорганических загрязняющих веществ.

Интенсивность самоочищения может быть рассчитана на единицу объема, единицу площади акватории или единицу биомассы. Наиболее эффективен аэробный путь самоочищения, приводящий в итоге к распаду органического вещества до углекислоты и воды. При анаэробном распаде трансформация идет не до конца с образованием массы промежуточных продуктов распада, которые сами могут быть опасными загрязнителями (аммиак, фенол).

Наиболее полно изучен путь аэробной трансформации. Это связано с тем, что по аэробному циклу распада вещества работает большинство установок биологической очистки сточных вод. В них идут практически те же процессы, что и в природе, только быстрее в несколько раз (аэротенки) за счет создания сообществ активного ила. Образование активного ила является примером вторичного загрязнения, наблюдаемого

в водоемах, потому что биомассу организмов, созданную в процессе очистки сточных вод, необходимо утилизировать - это одна из проблем очистных сооружений.

2. Распределение веществ

Характер распределения органических соединений в водоеме связан с их природой (взвеси, коллоиды, растворы), растворимостью в воде, условиями поступления сточных вод в водоем и составом воды водоема. В коагуляции и осаждении веществ участвуют организмы.

Процесс коагуляции, например, лигносульфонатов и гумусоподобных веществ ускоряется в присутствии взвешенных частиц, детрита, остатков высшей водной растительности, минеральных частиц. Лигносульфонаты сорбируются на взвешенных частицах карбоната кальция и на детрите в количестве от 8 до 61 мг на 1 г взвешенных частиц. Скорость взаимодействия веществ в потоке выше, чем при слабой турбулентности. Высоки скорости окисления органических веществ в пене: они

идут с меньшими энергиями активации. Эмульгирование также способствует более полному и быстрому протеканию реакций. Сорбция органических веществ донными отложениями хотя и не ускоряет процесс их окисления, но выводит излишки из толщи воды, способствуя захоронению и медленному вплоть до анаэробного окислению из-за низких значений E_h в донных отложениях.

Большое значение в самоочищении водоема имеет турбулентная диффузия загрязнений, способствующая перераспределению веществ в водоеме путем компенсационных потоков ко дну и поверхности. Наряду с диффузией как физическим процессом, в водоеме протекают и биологические процессы перераспределения веществ. В них участвуют организмы, которые в ходе биохимических процессов (биологическое самоочищение) перерабатывают загрязняющие вещества в соединения,

захораниваемые в грунтах после смерти организмов или выводимые из водоема (миграции животных, вылет насекомых) (Самоочищение и диффузия ..., 1980).

3. Биологическое самоочищение

Основная роль в самоочищении водоемов принадлежит биологическому фактору. В.И. Вернадский писал: «... нет химической силы, постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы».

В.И. Жадин (1960) оценивал роль организмов в самоочищении водоемов так: «Все виды загрязнения водоемов органическими веществами вызывают мощные процессы биологического самоочищения, в которых принимают участие различные группы организмов, поглощающих эти вещества: бактерии и грибы, водоросли, высшие растения и различные группы водных беспозвоночных, рыбы. Процессы биологического самоочищения проходят обычно три фазы – абсорбции и резорбции, усвоения организмами и, наконец, минерализации. По преобладающей роли той или другой группы водных организмов в процессе биологического самоочищения воды различают стадии самоочищения бактериальную, водорослевую и т.д.».

Биологическое самоочищение представляет собой основное звено процесса самоочищения вод и рассматривается как одно из проявлений биотического круговорота веществ в водоеме. По Г.Г. Винбергу, биологическим механизмом самоочищения называют утилизацию и трансформацию веществ и энергии, запасенной водными организмами всех трофических уровней.

Последовательность процессов:

- использование органических веществ сточных вод гетеротрофными бактериями;
- рост и размножение зоопланктона и зообентоса за счет бактерий, взвешенного и растворенного органического вещества;
- развитие водорослей и стимулирование процесса фотосинтетической аэрации (после процесса минерализации ОВ с выделением минеральных форм биогенов);
- развитие высшей водной растительности.

Наряду с микроорганизмами в самоочищении принимают участие и другие гидробионты: простейшие, фильтраторы, водоросли и т.д.

Роль их разнообразна и не всегда однозначна (биологическое загрязнение). Изучение роли гидробионтов в самоочищении открывает широкие перспективы для целенаправленного их использования в борьбе со стоками, в частности нефтью и нефтепродуктами (Миронов, 1975). Знание процессов биологической трансформации и деструкции органических веществ организмами способствуют правильному выбору типа строительства очистных сооружений - полей фильтрации, полей орошения, биологических очистных прудов, станций биологической очистки, аэротенков, метантенков, и т.п. (Жадин, 1960).

В.Е. Синельников (1980) так описывает процесс биологического (биохимического) самоочищения в общем виде: «Природные воды отличаются от водных растворов минеральных и органических веществ присутствием сложных сообществ живых организмов и постоянной (для данных условий) концентрацией химически активных частиц и соединений. С участием этих организмов и частиц осуществляется синтез

и разрушение органических веществ, преобразование их форм и в значительной мере - миграция химических элементов. Хотя промежуточные активные соединения (ферменты, перекиси) нестойки, а длительность жизни активных частиц (свободных радикалов) исчисляется долями секунды, секундами и минутами, тем не менее они всегда присутствуют в природной воде. Распавшиеся и прореагировавшие соединения заменяются вновь образующимися. Промежуточные активные соединения и частицы с высокой реакционной способностью участвуют в биохимических процессах превращения веществ в водоемах» (с. 4 - 6).

В природе еще до появления антропогенного фактора существовало естественное самоочищение, при котором загрязнения разрушаются до простых соединений, поступающих в общий биотический круговорот.

Природные воды отличаются от водных растворов минеральных и органических веществ присутствием сложных сообществ живых организмов и постоянной (для данных условий) концентрацией химически активных частиц и соединений. С участием этих

организмов и частиц осуществляется синтез и разрушение органических веществ, преобразование их форм и в значительной мере миграция химических элементов.

Распавшиеся и прореагировавшие соединения заменяются вновь образующимися. Промежуточные активные соединения и частицы с высокой реакционной способностью участвуют в биохимических и химических процессах превращения веществ в водоемах (Синельников, 1980).

Наиболее активно или интенсивно процессы самоочищения протекают в реках при наличии течения, и, чем течение сильнее, да еще при значительной ширине и глубине реки, тем успешнее река справляется с загрязнением. С зарегулированием стока реки плотиной меняется ее режим, который становится близким к режиму озер, изменяется и вся жизнь водоема. Основные черты изменения режима в водоемах озерного типа сводятся к замедлению скоростей течения и регулированию уровня (рис. 3). Водохранилища представляют собой отстойную накопительную систему, аккумулирующую вещества и энергию. Изменение режима водоема при зарегулировании сказывается на характере протекающих в нем биологических процессов (зарастании, цветении, накоплении биомассы водных организмов) и в связи с этим на качестве воды.

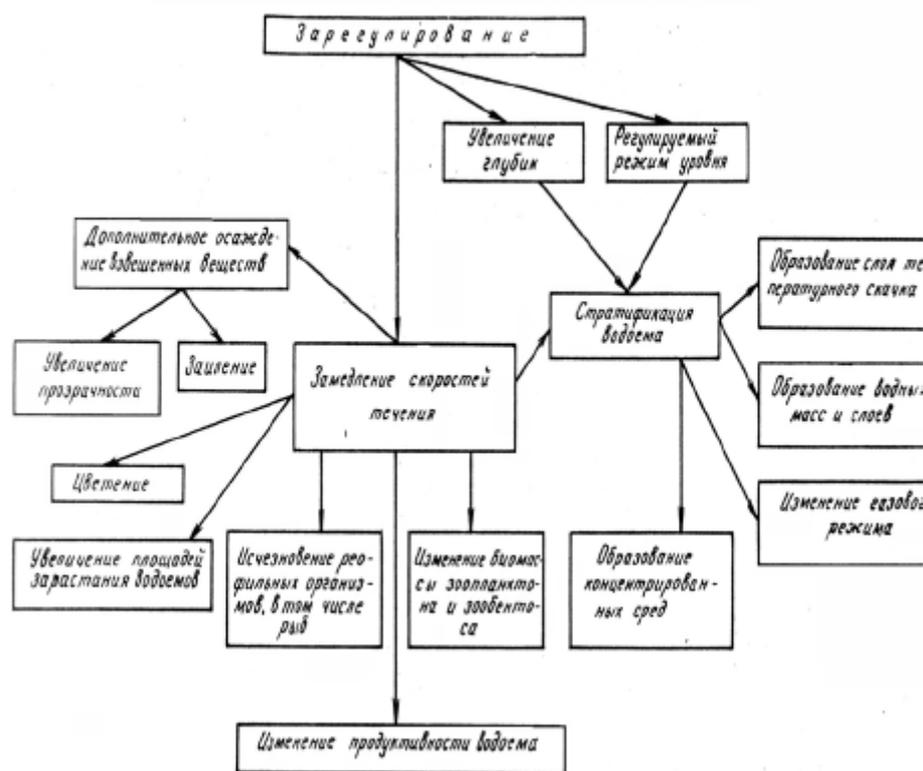


Рисунок 1. Изменение внутриводоемных процессов, связанное с зарегулированием водоемов

4. Использование веществ организмами. Биотический круговорот в водоеме.

В биотический круговорот веществ в водоеме включаются:

- автохтонное органическое вещество - ОВ, синтезированное в водоеме (первичная и вторичная продукция, живая и в виде детрита, поступающего на химическое и биохимическое окисление);

- аллохтонное органическое вещество - приточное органическое вещество с поверхностным стоком, речным, воздушным и антропогенным (загрязнения).

Загрязнение водоемов органическими веществами происходит двумя путями:

1) самозагрязнение воды продуктами метаболизма и отмирание животных и растений (вторичное загрязнение - частично).

2) загрязнение сточными водами (первичное загрязнение).

В биологическом самоочищении водоемов отмечается 2 фазы:

аэробная и анаэробная.

Аэробная - участвуют почти все группы гидробионтов. Органическое вещество дна минерализуется разными группами организмов и с разной скоростью, в зависимости от содержания кислорода. В реке при незначительном развитии планктона процессы самоочищения более интенсивно протекают на дне. Доля атмосферной аэрации воды в реках более значительна, чем фотосинтетическая, за счет фитопланктона, фитобентоса и макрофитов.

Анаэробная - участвуют бактерии в бескислородных условиях с выделением CH_3 , H_2S и продуктов неполного распада OB (фенолы, меркаптаны и т. д.).

Фитопланктон играет важную роль в биологическом самоочищении, выделяет кислород на окисление загрязнений.

Процессы биологического самоочищения водоемов и водотоков могут рассматриваться с позиций количественного выражения роли сообществ и популяций в биотическом круговороте вещества и энергии в водоеме. Важно, что биотический круговорот в загрязненных и чистых водах имеет общую основу. Пища, получаемая животными, расходуется ими на процессы обмена и построение массы своих тел. Это обычно выражается в виде балансового равенства:

$$C = P + R + F; P + R = A; C = A + F \text{ или } C = 1/U * A,$$

где C - рацион, P - прирост биомассы, R - траты на обмен, F - неусвоенная пища, A - ассимилированная пища, $1/U$ - усвояемость пищи. Все члены выражаются в единицах энергии (Алимов, Финогенова, 1976).

Главную роль в процессах самоочищения играет баланс (B) органического вещества и скорость деструкции:

$$B = P - D, \text{ где}$$

P - первичная продукция, D - деструкция, выраженная в единицах O_2 .

В Рыбинском водохранилище D больше P на 20 - 40% (62% органического вещества - аллохтонное; 62% - 20 - 40% = 20 - 40% - избыточное органическое в-во, накопленное водоемом, т.е. мы имеем дело с эвтрофированием). Водоемы с годовой первичной продукцией 350 - 450 г $C_{\text{орг.}}/\text{м}^2$ - слабоэвтрофные, с хорошим качеством воды по всем показателям и легко подвергаются обработке для получения питьевой воды, но из-за небольшого содержания избыточного органического вещества способны вызвать цветение воды, которое создает определенные помехи водоочистке.

Показателен процесс самоочищения в оз. Байкал. Фитопланктон продуцирует 3 925 тыс. т СОРГ. (130 г СОРГ. под 1 м^2), 95,5% от общего его количества подвергается деструкции в водной толще, незначительная часть выносится через р. Ангару, еще меньше изымается человеком (рыба, нерпа) - 1 тыс. т, оседает 126 тыс. т СОРГ. , т.е. 4 г СОРГ. на 1 м^2 в год. Фотосинтез идет практически круглый год - 344 г СОРГ. под 1 м^2 , летом возрастает. Рачок - эпишура пропускает всю воду Байкала через себя, отфильтровывая органическое вещество. В этом процессе участвует также макрогектопус (*Amphipoda*). На дне масса червей, моллюсков и личинок насекомых, детритофагов, минерализующих органическое вещество. В результате на дне Байкала не происходит накопления органического вещества, оно интенсивно окисляется при полном насыщении воды до дна кислородом (60%) и утилизируется организмами (Вотинцев, Поповская, 1973; Выхристюк, 1980).

На любом трофическом уровне потребляемая организмами пища не усваивается полностью. Усвоенная пища частично идет на прирост, ее энергия может использоваться

организмами следующего трофического уровня. Частично усвоенная пища окисляется с выделением энергии.

Взаимоотношения смежных трофических уровней количественно выражаются следующим образом (Биологические процессы ..., 1973; цит. по: Иванова, 1982):

$$K = P+T+N ; R = I(P+T) ;$$

$$K_1 = \frac{P}{R} ; K_2 = \frac{P}{P+T} ,$$

где R - рацион (количество пищи, потребленное за единицу времени),
P - продукция, T - траты на обмен, P - неусвоенная пища, K1 - коэффициент использования потребленной пищи на рост, K2 - коэффициент использования усвоенной пищи на рост, I - отношение рациона к усвоенной пище. Все показатели выражаются в одинаковых величинах, например в единицах или в количестве кислорода.

Важными факторами самоочищения является также деструкция и минерализация органического вещества. Скорость деструкции прямо зависит от количества легкоокисляемого органического вещества:

$$\frac{dC}{dt} = kC,$$

где C - количество легкоокисляемого органического вещества, k - константа скорости деструкции, t - время.

Процесс самоочищения охватывает следующие явления (см. рис. 4).

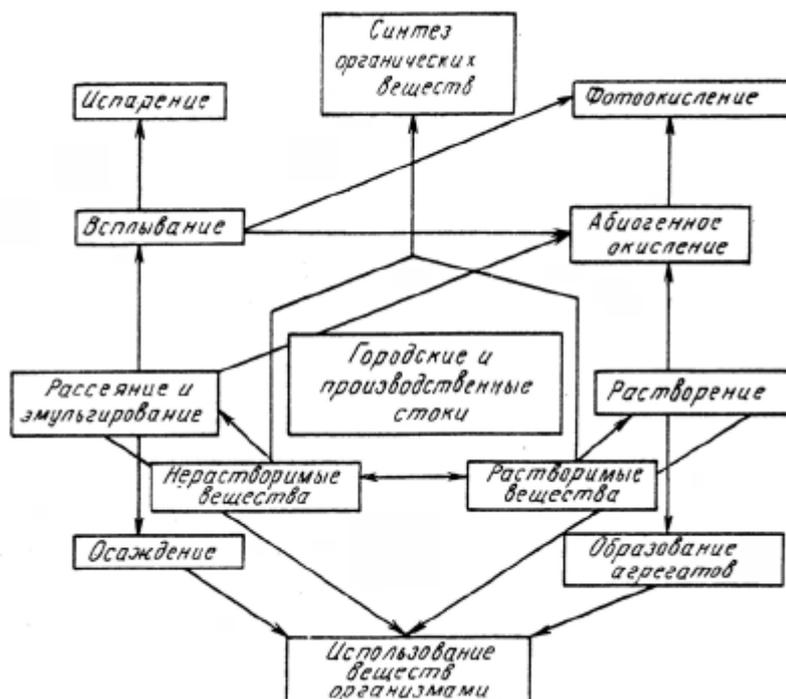


Рисунок 2. Отдельные составляющие процесса самоочищения

5. Роль гидробионтов в процессах самоочищения

По этому поводу Г.Г. Винберг (1975) писал: «Нет надобности доказывать, что знание физиологических особенностей водных организмов, участвующих в самоочищении или служащих показателями качества воды, имеет основное значение для санитарной гидробиологии» (с. 8).

В.Е. Синельников (1980) рассматривает сущность биологического самоочищения через деятельность водных организмов: «Оценка роли организмов водного биоценоза в распаде веществ составляет задачу изучения биологического механизма самоочищения. В этом плане изучается деструкционная роль микроорганизмов и простейших, фотосинтезирующая, антимикробная и деструкционная роль водорослей и высшей водной растительности. Деятельность всех перечисленных организмов регулируется метаболическими (пищевыми) взаимоотношениями внутри биоценоза и составляет основу биологического самоочищения (с. 20).

Биологическое самоочищение можно рассматривать или моделировать (Вавилин, Циткин, 1977; Streeter, Phelps, 1925) по двум основным направлениям: при загрязнении водоема минеральными формами биогенов, азота и фосфора и органическими веществами, например углеводородами или отходами сыро-маслоделия, фенолами.

В первом случае процес самоочищения начинается с усиленного развития водорослей (цветение синезелеными). По мере расходования биогенов и отмирания водорослей интенсивное первичное продуцирование сменяется не менее интенсивными деструкционными процессами, ведущую роль в которых играют бактерии в толще воды и на дне водоема. Бактерии подготавливают условия для развития зоопланктона (опыты М.М. Камшилова с фенолом), сами являясь кормом для зоопланктеров вместе с водорослевым детритом. Вспышка численности и биомассы зоопланктона сменяется его отмиранием и деструкцией в толще воды и на дне. Высвобождающиеся биогены и, прежде всего, фосфор переходят в толщу воды (при наличии хорошо выраженного гипolimниона может блокироваться в придонном слое) и при достаточном или повышенном содержании азота может иметь место новая, но затухающая волна цветения сине-зелеными или увеличение численности другой альгофлоры. В конце концов, при отсутствии нового возмущающего загрязнения нарушенный продукционно-деструкционный баланс восстановится и экосистема водоема примет свои «исходные» характеристики. Конечно, на деле все сложнее и зависит от состояния экосистемы и силы загрязняющего воздействия на нее.

6. Физико-химический механизм самоочищения. Методические основы оценки самоочищения.

«Химическим механизмом процесса самоочищения называют совокупность биохимических и химических реакций, отдельных их элементарных стадий и состояний вещества, через которые протекают процессы распада и синтеза внесенных в водоем соединений, в итоге приводящие к улучшению и восстановлению первоначального состояния водоема» (Синельников, 1980, с. 40).

Химический механизм самоочищения изучается на разных уровнях: 1) биологических систем организмов; 2) внешних метаболитов; 3) элементарных взаимодействий энергии и молекул в водной среде (изучение биофизических аспектов самоочищения водоемов).

В анаэробных условиях при высоких концентрациях органических веществ и резком дефиците кислорода в воде накапливаются недоокисленные промежуточные продукты валового органического вещества. В аэробных условиях легкоокисляемые вещества распадаются до азота, фосфора, углекислоты и воды. Соединения, содержащие карбонильную группу - C = O, характеризуются высокой реакционной способностью. Так же легко окисляются соединения, содержащие гидроксильную группу - OH. Распад сложных

органических соединений протекает ступенчато с образованием ряда кислородсодержащих соединений: эфиров, спиртов, карбоновых и жирных кислот, альдегидов, кетонов. Через образование гидроксильных производных и оксипроизводных протекает превращение многих стойких соединений, например парафиновых и ароматических углеводородов.

При высоких концентрациях органического вещества организмы водного биоценоза не могут быстро его использовать; оно накапливается и трансформируется в течение недель и месяцев.

Биогеохимическая роль фенольных соединений в природных водах проявляется в связи со свойством фенолов образовывать металлорганические комплексы и влиять на переформирование водных биоценозов при длительном поступлении токсиканта в среду.

Биогеохимическая роль фенола и продуктов его превращений проявляется на 7 - 17-й день, когда в воде накапливаются окрашенные соединения (продукты превращения фенола), а также перекисные соединения.

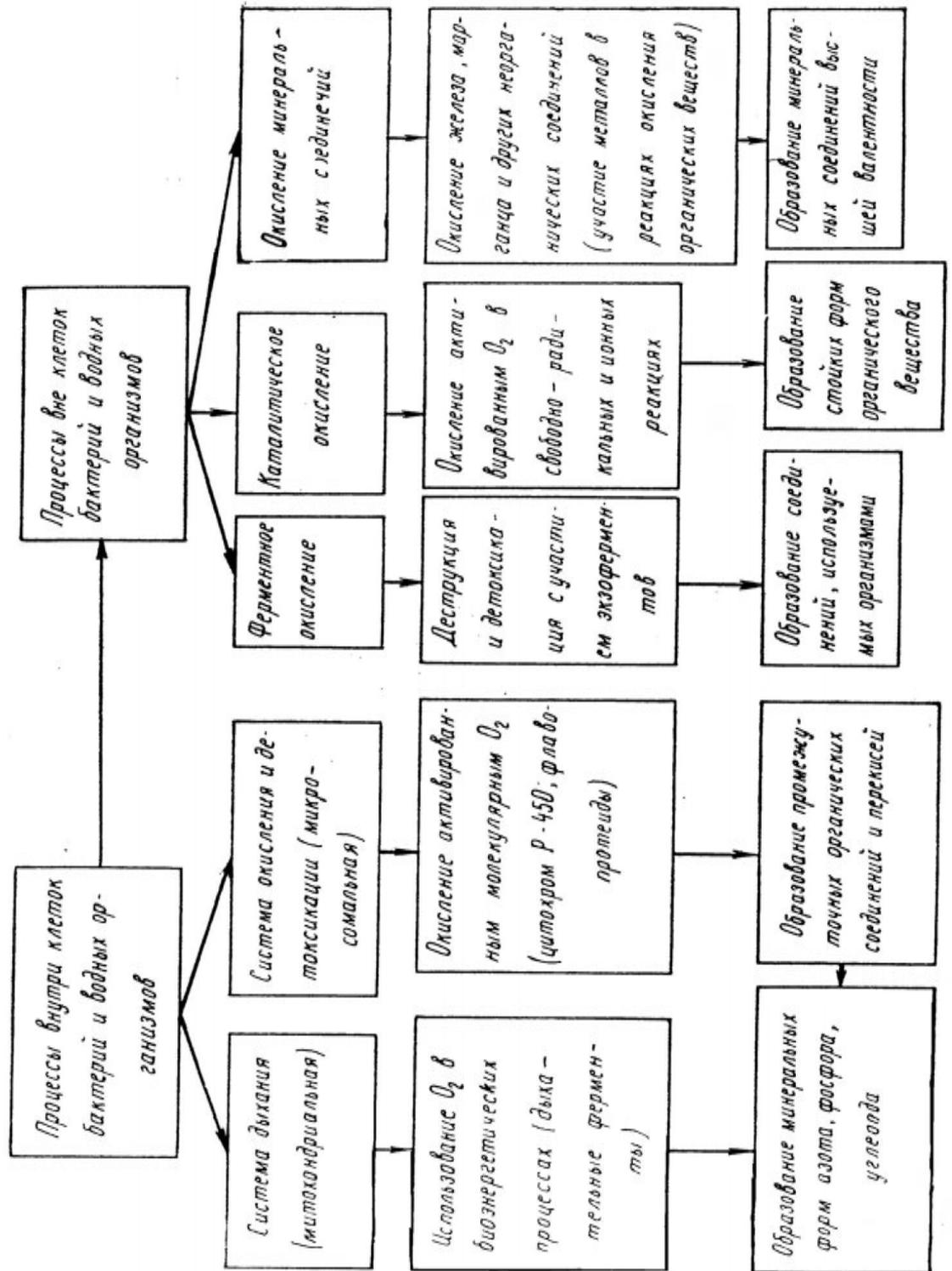


Рисунок 3. Схема основных механизмов потребления кислорода природной водой.

Распад органических веществ происходит в результате различных биохимических реакций: гидролиза, окисления, дегидрирования, дегалогенирования и др. Этот процесс осуществляется главным образом организмами, которые используют кислород на внутреннее и внешнее биологическое окисление (рис. 5).

В процессе минерализации легко распадающихся веществ потребляется большое количество кислорода; часть этих веществ переходит в биохимически устойчивую форму, снижая величину БПК. Увеличение содержания в водоеме высокомолекулярных веществ типа гумусовых соединений ухудшает качество воды: возрастает цветность и окисляемость воды, в результате чего стоимость подготовки воды для питьевых целей значительно повышается.

Биохимическое потребление кислорода (БПК). Процесс потребления кислорода в водоеме сложен и определяется большим числом факторов. В биохимическом потреблении К. Медлер (1973) рассматривает несколько модификаций:

- стандартное БПК - пятисуточное и полное;
- БПК при насыщении воды кислородом и добавлении H_2O_2 ;
- БПК с подавлением процесса нитрификации путем прибавления к исследуемой воде 1 мг/л метиленовой сини или 0,1 М NH_4Cl при $pH=7$;
- предлагается подкислять воду до $pH=2,5$ и через 20 мин нейтрализовать ее;
- БПК с пробой на токсичность воды - определение поглощения кислорода при разных кратностях разбавления (не менее трех) исследуемой воды чистой природной водой;
- кратковременное БПК, определяемое за 6 – 24 часа при внесении в исследуемую воду адаптированной культуры бактерий;
- непрерывное БПК, определяемое с помощью респирометров и оксиметров, для получения данных об изменении этого показателя во времени;
- БПК, определяемое при разных температуре и скорости течения воды. Определения только BPK_5 , составляющей 60 -90% $BPK_{полн}$, недостаточно ни при контроле качества воды загрязненного водоема, ни при общей оценке его состояния. Оценка легкоокисляемого органического вещества по $BPK_{полн}$ предусмотрена «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» (1976). Только при определении $BPK_{полн}$ могут быть сделаны выводы о снижении легкоокисляемого органического вещества на различных расстояниях от источников загрязнения (отношение $BPK_{полн} / XPK$). Отношение $BPK_{полн} / XPK$ может возрастать не только в связи с загрязнением водоема бытовыми сточными водами, но и за счет естественных процессов, которые нужно выделять при учете антропогенного влияния на водоем. Если на участках рек $BPK_{полн} / XPK$ не превышает 10%, это явно свидетельствует о присутствии в водоеме соединений, не распадающихся при очистке на городской станции аэрации. Известно, что 37% углеродсодержащих органических веществ бытовых сточных вод не подвергается полному биохимическому окислению. Во второй фазе окисления (после 5-10 суток) интенсивно идет процесс нитрификации, который оценивается по расходу O_2 после посева в сильно разбавленные сточные воды нитрифицирующих микроорганизмов, выделенных из очищенных стоков. Процесс распада азотсодержащих соединений наиболее активно идет после 15-го дня инкубации.

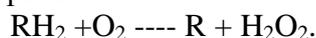
В потреблении O_2 водой большая роль принадлежит взвешенным веществам, прежде всего органическим, образующимся при отмирании планктона и поднимающимся в толщу воды со дна при волновом взмучивании. Ю.В. Ларионов и Б.А. Скопинцев (1975) показали, что из всех взвешенных частиц на величины БПК самое большое влияние оказывает планктон. Отмерший планктон служит субстратом для питания бактерий, и поэтому в тех случаях, когда планктон отмирает медленно, БПК чистой воды низкая.

В водоеме и особенно на его дне всегда имеется запас неокисленного органического вещества. В.И. Романенко (1971) на примере волжских водохранилищ показал, что количество органического вещества, разрушаемого в водохранилищах в течение года (деструкция), больше, чем его образуется в результате фотосинтеза. Расчет баланса

органического вещества в Рыбинском водохранилище показал, что 62% массы органического вещества не связано с первичной продукцией. Накопление органического вещества в водохранилищах происходит из притоков и поверхностного стока (Синельников, 1980).

Биохимическая активность воды. Потенциальная способность воды водоемов к разрушению различных органических соединений характеризует ее ферментную и окислительную активность в отношении отдельных групп соединений. Высокая биохимическая активность воды характерна для участков рек, подвергающихся постоянному загрязнению. Сапрофитная микрофлора природных вод может адаптироваться к разрушению самых различных органических веществ. При окислении хотя бы одного простого по строению соединения (глюкозы, фенола) работает не один фермент, а сложная окислительная система, подобная системе биологического окисления высших организмов.

Для оценки окислительной активности воды предлагается определять H_2O_2 и сумму окислителей в воде после удаления O_2 . Перекись водорода образуется в реакциях с участием аэробных дегидрогеназ, при которых в качестве акцептора водорода используется кислород, присутствующий в разрушаемом субстрате.



Перекись водорода как промежуточный продукт образуется в большом количестве биохимических реакций, а также в химических реакциях самоокисления (окисления органических веществ кислородом воздуха при обычных температурах и давлениях); в этом случае образуется H_2O_2 и органические перекиси.

Самоочищение водоемов от гидрофобных органических веществ. Группа гидрофобных органических веществ включает большое число соединений, к общим признакам которых относится хорошая растворимость в неполярных или малополярных органических растворителях: эфире, хлороформе, гексане, четыреххлористом углероде.

В зависимости от происхождения можно выделить следующие группы гидрофобных органических веществ.

1. Природные соединения воды и донных отложений чистых водоемов - продукты распада и превращения планктона, микроорганизмов, высшей водной растительности и гидрофобные вещества, выщелачиваемые из незагрязненной почвы (битумоиды, углеводороды). Общее количество этих веществ составляет фон гидрофобного органического вещества и донных отложений, учитывать который необходимо при оценке загрязнения водоемов.

2. Соединения бытового происхождения - легкоомыляемые органические вещества (жиры, масла), которые, как правило, относятся к неконсервативным веществам, легко окисляющимся в условиях водоема.

3. Промышленные вещества:

а) нефть и нефтепродукты - гидрофобные вещества, состоящие преимущественно из углеводородов и сложной смеси элементарноорганических соединений, основные из которых относятся к смолам асфальтенам (нефтяным битумам);

б) синтетические смолы - высокомолекулярные, твердые, всплывающие со взвешенными веществами и концентрирующиеся на дне (вместе с природными смолами, нефтяными битумами, имеющими общие с ними аналитические признаки, они входят в состав битумоидов).

Фоновые концентрации хлороформрастворимых и эфирорастворимых органических веществ вод верхневолжских водохранилищ состав ляют для первой группы веществ 0,3 - 0,8 мг/л, в отдельных случаях до 1,5 мг/л (Ершов, Синельников, 1974) и для второй группы - 0,6 - 2 мг/л.

Хлороформом и эфиром извлекаются зеленые и желтые пигменты. По данным В.А. Елизаровой (1975), сумма хлорофилла (а, б, с) может колебаться от 1 до 48 мкг/л, а каротиноидов - от 1,6 до 25 мкг/л. Биомасса хлорофилла на единицу биомассы водорослей может изменяться в 6 раз, а каротиноидов - в 8 раз. Липиды составляют 3 - 10% сухого веса

водорослей, а в зоопланктоне - около 20%. В зависимости от трофности липиды от фитопланктона могут составлять 1 – 300 мкг/л (Кузьмин,1974). Липиды по сравнению с белками и углеводами, по мнению многих исследователей, - наиболее стойкая часть автохтонных органических соединений. Они в значительной мере связаны с органогенными взвешенными веществами, концентрируются на дне, частично превращаются в маслянистые и смолистые компоненты природных битумоидов.

Фоновые содержания битумоидов в воде верхневолжских водохранилищ колеблются от 0,05 до 0,5 мг/л.

Самоочищение водоемов от нефтепродуктов. Нефть и нефтепродукты имеют сложный состав: парафиновые и нафтеновые углеводороды составляют 50 - 90%, ароматические углеводороды - от 1 до 20%, кислородосодержащие соединения - около 5%, органические соединения серы – 1 - 5%, смолы и асфальтены - от 3 до 12%. Некоторые виды мазутов содержат до 50% смол. Водоемы загрязняются чаще не сырой нефтью, а нефтепродуктами, состав и физико-химические свойства которых отличаются от нефти. Например, бензины имеют значительно большую растворимость в воде и быстрее испаряются с ее поверхности, а мазуты практически не растворимы и оседают в значительной мере на дно.

Водоем следует считать загрязненным нефтью и нефтепродуктами в том случае, когда в местах водопользования постоянно обнаруживаются нефтепродукты, содержание их в русле и на участках с преобладающими глубинами постоянно превышает ПДК, а в донных отложениях накапливаются нефтяные битумы и углеводороды. Помимо этого наблюдаются органолептические признаки присутствия нефтепродуктов; нефтепродукты обнаруживаются в рыбе, в водных организмах и нарушают жизнедеятельность водного биоценоза. В количественной оценке нефтепродуктов используется отношение N/M, где N - концентрация нефтепродуктов в 1 м³, а M - их количество на 1 м² площади поверхности. Высокие показатели N/M оказываются при диспергированном состоянии нефтепродуктов в воде.

Разрушение нефти в водоеме происходит в результате ее самоокисления и с помощью микроорганизмов. На постоянно загрязняемых участках обнаруживается большое число бактерий, окисляющих керосин, соляровое масло, парафин и нафталин. Потенциальная способность микрофлоры к окислению этих нефтепродуктов оказывается в 3 - 10 раз выше ее способности на чистых участках. Топочный мазут распадается в 9 – 14 раз медленнее, чем керосин, еще медленнее - машинное масло.

Для распада нефтепродуктов обязательно участие O₂. На окисление 1 мг углеводов идет 3 – 4 мг O₂, а при интенсификации процесса на 1 моль углеводов необходимо 7 - 8 моль O₂. Анаэробные условия способствуют почти полному прекращению распада углеводов, которые могут сохраняться 2 – 7 лет. Специалисты гидробиологи, отбирающие пробы зообентоса, часто сталкиваются с замазученностью грунтов и наличием мелких шариков битумоидов или смолистых веществ. Очищенные сточные воды нефтеперегонных заводов даже после 6 - 9 месяцев отстаивания оказались токсичными для водорослей и дафний.

Таким образом, распад нефтепродуктов в водоеме может привести к следующим изменениям состава природных вод:

- к увеличению численности бактерий;
 - изменению органолептических свойств;
 - увеличению концентрации растворимых в воде органических веществ;
 - увеличению концентрации токсических продуктов (фенолов, нафтолов и других оксипроизводных углеводов);
 - увеличению концентрации легко окисляющихся кислородосодержащих соединений;
- возрастанию поверхностно-активных свойств,
вспениванию воды;

- увеличению содержания биогенов в воде и развитию зоопланктона и водорослей фитопланктона и перифитона.

В общем виде, разовый процесс самоочищения водоема от нефти (углеводородов) можно представить в следующей схеме:

Углеводороды ---- бактерии ---- зоопланктон ---- бактерии толщи
воды и дна + деструкторы на дне ---- фитопланктон.

Здесь:

- углеводороды являются пищевым субстратом для бактерий (нефтеокисляющих), - бактерии способствуют развитию простейших, колероваток, рачкового планктона, - при их отмирании увеличивается микрофлора воды и грунтов, - далее освобождение азота и фосфора, идущих на питание водорослей.

Процесс идет с затуханием до полного освобождения водоема от нефтепродуктов и продуктов их разложения.

Самоочищение воды от нефти - многостадийный процесс, иногда растягивающийся на длительное время.

Самоочищение на дне водоемов. Состояние дна водоемов не нормируется, хотя исследования донных отложений считаются необходимыми для оценки характера загрязнения вод.

Для оценки состояния дна в зависимости от степени его загрязнения рекомендуется использовать следующие методы:

1) на участках, расположенных вдали от мест выпусков сточных вод, определяется общее количество органического вещества по потере при прокаливании и общее содержание гидрофобного органического вещества по количеству хлороформрастворимых веществ, концентрации углеводородов и битумоидов;

2) на постоянно загрязняемых участках прodelывается то же и учитывается количество серы и азота. Соотношение показателей и будет характеризовать состояние загрязнения дна на отдельных участках водоема или реки.

Очищение дна естественным путем происходит в весенний, паводковый период. В водохранилищах промывной режим образуется при шлюзовых попусках и особенно в весенний паводок при открытой плотине.

Поскольку на дне концентрируются нерастворимые или труднорастворимые органические вещества и металлы, в ряде случаев дно может быть загрязнено в значительно большей степени, чем вода водоема, и главным образом - нефтепродуктами, смолами и другими гидрофобными соединениями. Содержание природных битумоидов в донных отложениях на чистых участках водоемов может в 103 - 104 раз превышать их концентрацию в воде. Здесь могут встречаться красители и гидрофобные соединения бытового происхождения. Последние содержат органического углерода 70 - 76% и ниже и 8 - 15% O₂. Самоочищение на дне водоемов протекает медленно, особенно в глубоких озерах с выраженным гипolimнионом, дефицитом кислорода у дна, низким Eh и малокомпонентностью донных биоценозов (кроме оз. Байкал).

Методические основы оценки самоочищения

Степень самоочищения водоема или отдельных его участков выражается в количествах распавшихся веществ (кг, т) или в процентах от снижения суммарного расхода отдельных соединений или их групп.

Валовые количества веществ, определенные в местах водопотребления или у приплотинных участков водохранилищ, вычисляются в процентах этих же веществ, поступающих в водоем со сточными водами или с поверхностным стоком.

Для количественной оценки самоочищения водоема необходимо составить балансы расхода основных элементов. (Сорг, N, P) и отдельных соединений. Отдельные показатели, найденные в воде загрязняемого участка, сравнивают с этими же показателями в стоках, на чистых участках водоема и с предельно допустимыми концентрациями. Эти данные

используют для составления приходной и расходной части баланса соединений, поступающих в водоем со стоками. Приходная часть баланса состоит из величин поступления соединений со сточными водами, поверхностным стоком, водами боковых притоков и в некоторых случаях - с атмосферными осадками.

Расходная часть получается из концентрации веществ, содержащихся в водах устьевых участков рек и нижних бьефов плотин водохранилищ.

С.М. Драчев (1968) сделал балансовый расчет самоочищения р. Москвы. В него вошли суточное поступление легкоокисляемого органического вещества, его содержание в очищенных сточных водах, в поверхностном стоке и на дне, а также образование органического вещества в результате прироста биомассы фитопланктона на участке самоочищения. В расходной части учтено количество распавшихся органических веществ за время прохождения воды до г. Коломны.

А.П. Львовым и др. (1973) показано, что в р. Тагил в течение 20 суток распадается 47 - 99% легкоокисляющегося органического вещества бытового происхождения.

Более продолжительно (примерно в 6 раз) и сложнее происходит самоочищение водоема от трудно окисляющихся соединений, например нефтяных битумов, содержащих смолы и асфальтены, плохо поддающиеся распаду.

Содержание в воде растворенного кислорода - существенный параметр, определяющий скорость трансформации органических веществ. Г.Г. Винберг (1975) указывал на необходимость изучения количественного баланса загрязненных вод как показателя хода самоочищения и их самоочистительной способности.

Окисление органических веществ быстро нарастает при повышении температуры воды. Выпуск в реку подогретых вод исключает образование ледового покрова и способствует ускорению распада легко окисляющихся органических веществ.

Анализ составляющих и динамики процессов самоочищения водоемов от загрязнений, свидетельствует о том, что самоочищение нужно понимать в широком смысле как по типам (физического, химического, биологического), так и по параметрам восстановительного процесса, характерного для каждого типа и вида загрязнения. Глубина процесса самоочищения различна для разнообразных водоемов. Исследование процессов самоочищения должно быть комплексным с привлечением специалистов разного профиля.

Вопросы для самоконтроля

1. Сущность процесса самоочищения. Его механизм.
2. Распределение веществ.
3. Биотический круговорот. Использование веществ организмами.
4. Гидробионты и их роль в самоочищении.
5. Биологический фактор в самоочищении воды.
6. Физико-химические процессы в самоочищении.
7. Биохимическое потребление кислорода (БПК).
8. Самоочищение водоемов от гидрофобных органических веществ
9. Самоочищение водоемов от нефтепродуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Танкевич, П.Б.** «Санитарная и техническая гидробиология»: Конспект лекций для студентов специальности 6.130.300 «Водные биоресурсы» дневной формы обучения / П.Б. Танкевич. – Изд-во.: Керченский государственный морской технологический

университет, 2008.-79 с.

2. **Семерной, В.П.** Санитарная гидробиология: Учеб. пособие по гидробиологии. 2-е изд., перераб. и доп. Яросл. гос. ун-т. / В.П. Семерной Ярославль, 2002. 147 с.

Дополнительная

1. **Дворецкий, А.И.** Водная микробиология./ А.И. Дворецкий, Г.П. Емец, С.О. Баздеркина– Изд-во Днепропетровского ун-та, 2000, - 91с.

2. **Долгопольская, М.А.** Биологические механизмы действия основных ядов противообрастаемых красок. / М.А. Долгопольская, С.А. Горомосова и др. – В сб. «Биологические основы борьбы с обрастанием». Киев. «Наукова думка». 1973. – с.194 – 202.

Лекция 8

Биологическая индикация качества вод. Биотические индексы. Индексы сапробности. Биоценологические индексы или оценка качества воды по показательным микроорганизмам. Индексы сапробности. Индексы сходства видового состава.

Основоположником гидробиологических методов оценки качества вод принято считать Фердинанда Кона, благодаря его соотечественнику Мецу, объявившему год появления известного сочинения Кона годом микроскопического анализа вод. Однако в 1850 году, в Лондоне была опубликована монография Хессела где он давал оценку качества воды по организмам фитопланктона и зоопланктона. Английский гигиенист прошлого века Паркс включил метод Хессела в руководство по практической гигиене. Коном была обнаружена зависимость видового состава гидробионтов от химического состава вод и, прежде всего, от растворенных в воде органических веществ. Интерес к гидробиологическим методам во многом был возрожден исследованиями Меца предложившим списки гидробионтов-антагонистов, встречающихся только в исключительно или в сильно загрязненных водах, а также списки «промежуточных» форм, характеризующих различные уровни загрязнения. К показателям абсолютно чистых вод Мец отнес типичных обитателей холодных вод горных ручьев и родников, не выносящих никакого загрязнения, например *Aphanocapsa fonticola*, *Aphanothece saxicola*, *Cladophora declinata*, *Desmonema vrangeli*, *Nostoc verrucosum*,

Oscillatoria rubescens, *Pleurococcus mucosum* и др. К их антагонистам Мец отнес организмы, которые, по его мнению, в абсолютно чистых водах не встречаются, а в сточных водах могут достигать большой численности, например *Leptomitus lacteus*, *Sphaerotilus natans*, *Beggiatoa alba*, *Oscillatoria tenerrima*, *O. tenuis*, *Carchesium lachmanii*. Мец отмечал, что наличие некоторых из этих форм в небольшом количестве еще не указывает на то, что вода сточная, но нахождение даже их одиночных экземпляров не позволяет считать воду безусловно чистой. В список гидробионтов сточных вод вошли также организмы, исполняющие, согласно Мецу, менее выраженную индикационную роль, например *Amphimonas fusiformis*, *Bodo mutabilis*, *Euglena viridis*, *Chilodon uncinatus*, *Colpidium colpoda*, *Euplotes charon*, и др.

В группу гидробионтов, выносящих слабое загрязнение, Мец внес 40 видов, в том числе: *Anabaena macrosperma*, *Cladophora fracta*, *Cymbella ehrenbergi*, *Diatoma vulgare*, *Fragillaria virescens*, *Gomphonema olivaceum*, *Zygnema stellenum* и др.

К промежуточной группе гидробионтов, выносящих довольно сильное загрязнение, Мец отнёс 37 видов, в том числе: *Closterium acerosum*, *C. parvulum*, *Cocconeis pediculus*, *Cymbella cistula*, *Gomphonema acuminatum*, *Synedra ulna*, *Vaucheria dichotoma* и др.

Санитарно-экологическая характеристика многих гидробионтов, данная Мецем, соответствует современной классификации гидробионтов-индикаторов сапробности. В дальнейшем шло накопление и систематизация данных относительно сапробных комплексов гидробионтов. Расширение списков сапробных организмов позволяло дать сравнительную оценку влияния различных сточных вод на качество воды водоемов и водотоков. Классическая система показательных организмов была создана ботаником Р. Кольквитцем и зоологом М. Марссоном. В статье, 1902 года содержащей подробное изложение вопроса о гидробиологическом анализе воды, эти авторы предложили дать установленным Мецем двум основным группам показательных организмов-антагонистов название **сапробионты** (от греч. Sargos - гнилой) для обитателей сточных вод и **катаробионты** (от греч. katharos - чистый) для организмов, населяющих исключительно чистые воды. Под сапробностью авторы системы понимали способность организмов развиваться при большем или меньшем содержании в воде органических загрязнений. Позднее экспериментально было доказано, что сапробность организма обуславливается как его потребностью в органическом питании, так и резистентностью по отношению к вредным продуктам распада и дефициту кислорода в загрязненных водах.

Кольквитц и Марссон разделили сапробионтов на три группы:

1) организмы собственно сточных вод – полисапробионты (р-сапробы); 2) организмы сильно загрязненных вод - мезосапробионты (две подгруппы: α -мезосапробы и β -мезосапробы); 3) организмы слабо загрязненных вод – олигосапробионты (о-сапробы). В 1908-1909 годах эти ученые опубликовали обширные списки показательных растительных и видов-индикаторов животных организмов. В дальнейшем эти списки были дополнены и уточнены рядом отечественных и зарубежных исследователей (Г.И. Долгов (1926) Я.Я. Никитинский (1927) В.И. Жадиным и А.Г. Родина (1950), М. Зелинка и П. Марван, В. Сладечек 1964-1969, 1973),

А.В. Макрушин (1974)).

Варианты списков видов-индикаторов даны в «Унифицированных методах исследования качества вод» (1966). Дополнения к ним по составу (43 вида) с изменениями в степенях сапробности (s), сапробных валентностях и индикаторного веса некоторых видов сделаны Макрушиным (1974).

Системы видов-индикаторов сапробности вод положены в основу гидробиологических методов оценки качества вод в средневропейских странах. Они хорошо известны и в той или иной мере наряду с другими методами применяются и в других странах.

Выдающуюся роль в дополнении и совершенствовании системы индикаторов сапробности вод сыграл чешский гидробиолог В. Сладечек (Сладечек, 1967; Sladecsek, 1973). В его книге (Sladecsek, 1973) опубликован самый полный список - около 2 000 видов-индикаторов сапробности.

В бывшем Советском Союзе системы индикаторов сапробности широко использовались и совершенствовались (Долгов, 1926; Долгов и Никитинский, 1927; Захаров, 1930; Родина, 1961; Смирнова, 1969; Балужкина, 1976; Макрушин, Кутикова, 1976; Финогенова, 1976; Хлебович, 1976; Охапкин, Кузьмин, 1978; Поливанная, Сергеева, 1978; Семерной, 1982).

Существующая ныне система индикаторных организмов не универсальна для всех материков и наиболее применима в европейской части Палеарктики. Более того, первоначальный смысл термина «сапробность», как способность организмов обитать в загрязненных органическими веществами водах, утрачен из-за повсеместного преобладания промышленных загрязнений над бытовыми стоками, относительно которых строилась изначально система Кольквитца - Марссона, но термин продолжает использоваться в смысле степени общего загрязнения (таблица 4).

Характеристики вод (зон деградации), загрязненных (обогащенных) органическими веществами, в настоящее время можно представить в развитии - от Кольквитца и Марссона до настоящего времени.

Таблица 4

Система сапробности воды

Показатели	Зоны сапробности			
	р-сапробная	α -сапробная	β -сапробная	о-сапробная
Концентрация бактерий в 1 мл	Сотни тысяч, миллионы	Сотни тысяч	Десятки тысяч	Десятки, сотни
Пожиратели бактерий	Масса	Много	Немного	Очень мало
Продуценты органического вещества	Нет	Мало	Немного	Много
Водные цветковые растения	Нет	Нет или мало	Немного	Много
Источник кислорода	Диффузия	Слабое*	Сильное*	Энергично е*

Потребность в кислороде	Ничтожная	Слабая	Значительная	Очень большая
Кислородные условия	Анаэробные	Полуанаэробные	Аэробные	
Характер окислительных процессов	Восстановительные	Восстановительно-окислительные	Окислительные	
Степень минерализации органического вещества	Белковые вещества, полипептиды, углеводы	Аммиак, аминокислоты, амиды, амидокислоты	Аммиак, нитриты, нитраты	нитриты
Угольная кислота	Очень много	Порядочно	Немного	Очень мало
Сероводород	Много	Порядочно	Очень мало	Нет
Форма соединений железа	FeS	FeS+Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃

Примечание: * - выделение свободного кислорода при фотосинтезе.

Оригинальная система оценки качества вод была разработана Е.Н. Болохонцевым (1911) и А.С. Скориковым (1922). Эта система отличалась от классической схемы Кольквитца и Марссона прежде всего тем, что в основу каждой группы указателей, с одной стороны, чистоты воды, а с другой - загрязнения было положено определенное биологическое содержание. Система включала в себя пять групп показательных организмов: полисапробионтов, мезосапробионтов, олигосапробионтов, альгобионтов и катаробионтов. Первые две группы системы Болохонцева и Скорикова вполне соответствовали системе Кольквитца и Марссона и характеризовали зоны высшего и сильного загрязнения. Малочисленные представители мезосапробионтов встречаются и в чистой воде, но массовое развитие имеют в сильно загрязненных водах. Олигосапробионты в этой системе характеризуют водоемы естественного загрязнения: болота, пруды, рвы, лужи, а также водоемы, слабо загрязненные сточными водами. Альгобионты становились связующим звеном между олигосапробионтами и катаробионтами. Это организмы зарослевой прибрежной зоны и катаробионты - организмы планктона чистых вод; олигосапробионты - обитатели дна чистых вод. Эта система не получила признания, но она достаточно информативна.

Система сапробности Кольквитца и Марссона с момента ее опубликования стала классической, но постоянно корректируется и дополняется данными по химическому и биологическому качеству сапробных вод (зон) и по спискам групп гидробионтов с учетом физиологических характеристик экологических популяций в разных регионах.

В.И. Жадин (1964) предложил строить «шкалу сапротоксобных организмов», в которой должна учитываться не только загрязненность органическими, но и токсическими веществами. Н.С. Строганов (1964) предложил термин «биогидрохимическая область или район», обозначающий не только чистые, не загрязняемые водоемы, но и загрязняемых стоками промышленных предприятий. Чешским специалистом Владимиром Сладечком (1967) разработана полная система сапробности или биологическая схема качества воды (терминология и циклограмма) (приведена ранее).

Отдельные степени сапробности характеризуются биологически присутствием или отсутствием организмов, во многих случаях биоиндикаторов. Зная условия жизни биоценозов, мы можем судить об общих свойствах биотопа. Очень трудной работой является определение связи биологических, бактериологических и химических результатов анализов. В.П. Семерной обобщил результаты различных авторов в таблице и привел ориентировочные данные.

В данной схеме находятся также четыре степени, которые являются или могут быть абиотическими. Это катаробность, ультрасапробность, антисапробность и

криптосапробность. В каждом из этих случаев можно найти причину, вызывающую отсутствие организмов» (с. 27-29) (таблица 5).

Н.Н. Банина и др. (1983) были дополнены характеристики сапробных и антисапробных зон по Сладечку (Sladecsek, 1973, цит. по: Банина, 1983).

Катаробная и ксеносапробная зоны. Насыщение воды кислородом достигает 95%, БПК₅ не превышает 1 мгО₂/л, и количество взвешенных в воде веществ не выше 3 мг/л.

Изосапробная зона. Пример изосапробности - свежие бытовые стоки. Вода лишена растворенного кислорода. Сероводород отсутствует или имеются его следы. Значения БПК₅ очень высокие, и в течение 5 дней колеблется от 120 000 до 400 мгО₂/л и к концу срока до 50 мгО₂/л. Численность бактерий типа *coli* равно 20 млн. – 3 млрд./л. Заселение простейшими последовательное за бактериями – бесцветные жгутиконосцы, прежде всего *Polytoma uvella*. Вслед за ними - инфузории.

Метасапробная зона. К сильному загрязнению органическими веществами добавляются токсические вещества. Условия анаэробные, идет анаэробный распад с образованием больших количеств H₂S.

БПК₅ – 200 – 700 мгО₂/л. Вода содержит огромное количество гнилостных бактерий и серобактерий. Простейшими представлены в основном бесцветными жгутиконосцами. Вода непригодна для какого-либо использования.

Гиперсапробная зона характеризуется исключительно большим насыщением органическими веществами, разложение которых происходит в анаэробных условиях. Эта зона включает главным образом индустриальные органосодержащие стоки, и одним из типичных примеров ее можно считать стоки сахарных заводов.

Вода гиперсапробной зоны содержит огромное количество анаэробных бактерий и организмов группы *Mycophyta*. Других организмов в активном состоянии, здесь нет. Значения БПК₅ очень велики: 500 – 1 500 мгО₂/л и выше. Бактерий и *Mycophyta* содержится около 50 млн в 1 мл и около 1 млн бактерий типа *coli* в 1 мл.

Ультрасапробная зона известна как «безжизненная» зона, в которой нет живых организмов в активном состоянии; обнаружены споры бактерий, водорослей, цисты простейших, яйца нематод, колеровок и пр. Это индустриальные стоки, например целлюлозных заводов. Значения БПК₅ равно 60 000 и выше, SO₂ и H₂S отсутствуют.

Антисапробная зона обнаружена в промышленных стоках, содержащих токсические вещества неорганической и органической природы. Активных форм жизни, спор и цист нет. Показатель БПК₅ равен 0.

Радиоактивная зона опасна содержанием радиоактивных веществ, которые могут, не оказывая губительного влияния на растения и животных, обитающих в воде этой зоны, накапливаться в них и передаваться через пищевые цепи.

Криптосапробная зона отличается неблагоприятными физическими условиями: слишком высокой или низкой температурами, содержанием больших количеств угольной пыли и мелких частиц разнообразных минералов, минеральных масел и других примесей, загрязняющих воду и создающих неблагоприятные условия для гидробионтов.

Сладечек (Sladecsek, 1967, 1969, цит. по: Макрушин, 1974) сопоставил отдельные ступени сапробности с бактериологическими и химическими показателями (табл. 5). Биологические критерии оценки качества воды дают более обобщенные данные о состоянии водоема, чем химические показатели. Они характеризуют изменения состояния водоема, происходящие за большой отрезок времени воздействия на водоем. Биологический анализ используют для характеристики процессов антропогенного эвтрофирования и для оценки степени загрязнения.

Показатели сапробности

Категория вод	Степень сапробности	Значение индекса сапробности	Психрофильные бактерии на 1 мл	Кол-во бактерий р. <i>Coli</i>
Катаробная	Катаробность		< 5.10 ²	
Лимносапробная	Ксеносапробность	0 - 0,5	10 ³	10 ⁴
	Олигосапробность	0,51 - 1,5	10 ⁴	5.10 ⁴
	β-мезосапробность	1,51 - 2,5	5.10 ⁴	10 ⁵
	α-мезосапробность	2,51 - 3,5	25.10 ⁴	
	Полисапробность	3,51 - 4,5	2.10 ⁶	3.10 ⁷
Эусапробная	Изосапробность	4,51 - 5,5	10 ⁷	3.10 ⁹
	Метасапробность	5,51 - 6,5	10 ⁸	10 ¹⁰
	Гиперсапробность	6,51 - 7,5	10 ⁹	10 ⁶
	Ультрасапробность	7,51 - 8,5	10	0
	Транссапробная	Антисапробная		0
Радиосапробность			Разное	
Криптосапробность			0 или разное	

Категория вод	Степень сапробности	БПК ₅ , мл/л	Концентрация, мг/л		Специфические вещества и показатели
			O ₂	H ₂ S	
Катаробная	Катаробность	0	Разная	0	Остаточный хлор
Лимносапробная	Ксеносапробность	1	>8	0	
	Олигосапробность	2,5	>6	0	
	β-мезосапробность	5	>4	0	
	α-мезосапробность	10	>2	0	
	Полисапробность	50	>2	0	Следы Eh<+200 mV
Эусапробная	Изосапробность	400	Следы	<1	Eh = +200 mV до Eh+50 mV
	Метасапробность	700	0	<100	Eh = +50 mV
	Гиперсапробность	2000	0	<10	Птомаины
	Ультрасапробность	120000	0	0	
Транссапробная	Антисапробная	0	Разная	0	Токсические вещества
	Радиосапробность	Разное	Разная	0	Радиоактивные вещества
	Криптосапробность	0 или разное	Разная	0	Физические факторы

Преимущество биологической индикации состоит в том, что:

- 1) биологические процессы интегрируют влияние среды и изменение в структуре сообщества;
- 2) биологические процессы вскрывают скорость и направление изменения отдельных параметров среды;

3) морская (также и пресноводная. - В.С.) биота, аккумулируя и трансформируя химические соединения, указывает на пути миграции и места накопления загрязняющих веществ в экологической системе.

Особенности водных биоценозов отражают качество вод и могут служить для его индикации. Если в биоценозе наблюдается увеличение численности организмов, устойчивых к некоторому типу загрязнения, по сравнению с численностью других организмов, то это может указывать на появление данного типа загрязнения. Сдвиг в доминировании по численности от тубифицид, хирономид и личинок стрекоз к поденкам, веснянкам и некоторым видам ручейников явно указывает на улучшение качества вод, на уменьшение в воде биогенных элементов.

Хозяйственно-фекальное загрязнение вод лучше оценивается по микробиологическим показателям. Бактериологический и микологический анализ воды может показать начальное или кратковременное органическое загрязнение. Массовое развитие бактерий или специфическое бактериальное загрязнение вызывают вспышку численности и разнообразия простейших, которых эффективно можно использовать в качестве индикаторов загрязнения.

Состав и численность бактерий и простейших являются хорошим показателем качества активного ила в аэротенках и эффективности биологической очистки сточных вод по населению прудов-отстойников в отсутствие токсических загрязнений. Другие беспозвоночные, многоклеточные (черви, моллюски, ракообразные, личинки насекомых) используются в сравнении зон, степени и качества комплексных загрязнений водоемов и водотоков.

Биологические эффекты (последствия) загрязнения проявляются в изменении физиологических, биохимических и генетических свойств организма и связанных с ними проявлений морфологического, этологического, популяционно-биоценотического и экосистемного характера.

1. Биотические индексы

Биологическое качество водных экосистем в целом и их участков можно оценивать через структуру сообществ. Структура сообществ характеризуется количественным и качественным сочетанием организмов - индикаторов разного уровня загрязнений вод.

Каждый организм осваивает среду обитания в пределах своих морфофизиологических характеристик (экологического спектра) или толерантности. Концепция организма-индикатора лежит в основе «биотического индекса».

Каждый биотический индекс может быть специфичным для одного, возможно двух-трех типов загрязнения, но не может быть чувствительным ко всем видам загрязнения (органического, нефтяного, металлами, детергентами, пестицидами и т. д.).

Биотические индексы должны отражать специфику загрязнений с учетом географии распространения видов растений и животных. Наличие или отсутствие вида в сообществе должно соотноситься с ареалом вида. Расширение ареала может быть показателем загрязнения, например, теплового в северных широтах. В отличие от индексов разнообразия биотические индексы базируются на специфических (биологических, экологических, физиологических) особенностях организмов индикаторов.

А.В. Макрушин (1974), обобщив большое число отечественных и зарубежных работ, систематизировал апробированные методы биологического анализа качества вод и разделил их на две группы. В первой объединены все системы и способы, в которых результаты анализа истолковываются на основе численного значения показательных организмов (по индикаторным организмам). Во второй группе рассматриваются способы оценки степени загрязнения по видовому разнообразию сообщества водных организмов на загрязненных участках и где загрязнение отсутствует. В данном пособии автор в целом следует этому разделению, но предлагается несколько иное деление.

1. Био(цено)тические индексы, характеризующие качество воды по составу и структуре сообществ.

2. Индексы сапробности (расчетные индексы степени загрязнения воды).
3. Индексы сходства видового состава сообществ, находящихся в разных условиях относительно загрязнения.

2.Био(цено)гические индексы, или оценка степени загрязнения воды по показательным организмам

Оценка загрязнения воды по индикаторным организмам кажется простой: наличие или отсутствие организмов известной степени сапробности в анализируемой пробе планктона или бентоса сразу ориентирует исследователя (специалиста, студента или школьника) относительно качества воды (загрязнения). Однако здесь не все так однозначно. Например, речка может быть сильно загрязнена, в нее сбрасываются бытовые сточные воды или стоки бродильного, или молочного производства. Налицо все признаки загрязнения: заиление дна, развитие нитчаток и грибов, «цветение» воды и пр. Если взять пробу грунта там, где создаются условия для накопления ила (слабое течение, замедленный водообмен), то найденные там организмы покажут сильное загрязнение (альфа-мезо-полисапробную зону). Там, где течение посильнее, грунт будет представлен более или менее заиленным песком, и внем мы обнаружим больший состав донных организмов, пусть того же уровня сапробности. Там же, где течение быстрое (стрезень), грунт будет представлен песком, возможно с галькой. Взятые здесь пробы могут дать состав организмов, характерных для участков реки, не подвергающихся загрязнению, типичных бэта-мезосапробов. Более того, пробы,

отобранные сачком в прибрежной зоне с растительностью (рипаль), могут дать вообще олигосапробных, но больше бэта-мезосапробных организмов: личинки стрекоз, поденки кроме *Baetis rhodani*, олигохеты наидиды, рачки-хидориды, т.е. «чистых» видов. Неопытный исследователь будет сбит с толку. В связи с этим, к оценке загрязнения водоема надо подходить дифференцированно и правильнее будет выделять отдельные зоны по сапробности относительно места или источника загрязнения. Наконец, при оценке загрязнения по индикаторным организмам необходимо давать оценку не по отдельным видам, а по сообществам (биоценозам). На этом принципе основаны приведенные ниже индексы (степень) качества или загрязнения воды.

Патрик (Patrick, 1950) выделила семь таксономических групп качества воды (биологической меры качества реки) по совокупности групп и индикаторных организмов, характеризующих тот или иной уровень загрязнения реки:

1. Сине-зеленые водоросли, роды зеленых водорослей: *Stygoclonium*, *Spirogyra*, *Tribonema*; коловратки - сем. *Bdelloidae*, плюс *Cephalodella megalocephala* и *Proales decipiens*.
2. Олигохеты, пиявки и легочные моллюски.
3. Protozoa.
4. Диатомовые, красные и большинство зеленых водорослей.
5. Все коловратки, кроме включенных в группу 1, двусторчатые моллюски, переднежаберные моллюски и планарии-триклаиды.
6. Все насекомые и ракообразные.
7. Все рыбы.

В оценке питьевого качества воды из этих групп 7, 6 и 4-я показывают хорошее (здоровое) качество, 5-я и 3-я - сомнительное, 2-я - грязное и 1-я - очень грязное.

Биотический индекс как индекс загрязнения вод основывается (базируется) на характеристиках сообществ относительно степени загрязнения воды (Beck, 1965) (табл. 6).

Биотический индекс (ТБИ - Trent Biotic Index) учитывает наличие групп животных, которые могут быть показательными в отношении качества воды. В понятие «группа» включены виды или комплексы видов, индикаторное значение которых оценивается в зависимости от общего числа групп животных в пробе. Таким образом, биотический индекс в целом оценивает структуру сообщества, однако к его недостаткам можно отнести

недостаточную корреляцию «группы» с численностью входящих в нее животных. При этом значение очень малочисленной «группы» может быть завышено.

Таблица 6

Биотический индекс «Река»

Статус загрязнения	Биот. индекс	Тип сообщества макробеспозвоночных	Рыбный потенциал
Незагрязненная	6	Широкое представительство чувствительных, факультативных и толерантных хищных, травоядных, фильтраторов и детритофагов без указания определенных видов	Все характерные рыбы для естественных вод
Слабое до умеренного загрязнение численности с более низким индексом	5 - 4	Чувствительные хищники и травоядные, редуцированные до обособленных популяций или отсутствуют совсем. Факультативные хищники, растительноядные и, возможно, фильтраторы и детритофаги характерные для чистых вод. Рост численности с более низким индексом	Более чувствительные виды рыб убывают в численности
Умеренное загрязнение	3	Все чувствительные виды отсутствуют. Факультативные хищники (пиявки) отсутствуют или редки. Хищники сем. <i>Pelopiinae</i> и растительноядные тендипедицы присутствуют в довольно плотных популяциях	Только «грубые» рыбы
От умеренного до сильного загрязнения	2	Факультативные и устойчивые виды сильно уменьшаются в численности, если загрязнители токсичные; если органики не много, то виды, устойчивые к недостатку кислорода, присутствуют в больших количествах	Рыбы только с высокой устойчивостью к загрязнениям
Сильное загрязнение	1	Только очень устойчивые детритофаги (<i>Tubificidae</i>) присутствуют в большом количестве	Рыб очень мало, если они вообще есть
Определенное (отдельное) загрязнение, обычно токсичное.	0	Макробеспозвоночные отсутствуют	Рыб нет

Индекс (система) Вудивисса вполне пригоден для биоиндикации состояния малых рек европейской части, загрязняемых большей частью бытовыми стоками. Пробы бентоса можно взять прямо с берега реки сачком, малой драгой или даже ведром. Этим индексом успешно пользуются школьники при квалифицированной помощи учителя или специалиста-

гидробиолога и студенты под руководством преподавателя, знакомого с фауной пресных вод региона. Этот индекс плохо работает на быстрых речках с каменистым или песчаным дном.

3. Индексы сапробности

В отличие от биоценологических индексов, индексы сапробности характеризуют качество воды или ее сапробиологическую оценку по набору и количественным показателям популяций видов индикаторов в пробах планктона и бентоса. Индексы сапробности могут характеризовать как точечные или локальные состояния воды водоема, так и позволяют дать оценку процессов самоочищения, например, в реке при отборе проб по заданной сетке станций относительно места сброса сточных вод. Пробы обычно отбираются до (выше) сброса, в районе сброса (на небольшом удалении) и далее по факелу распространения сточных вод.

Индекс сапробности Пантле и Букк (Pantle und Buck, 1955).

$$S = \frac{\sum sh}{\sum h},$$

где S - индекс сапробности, s - индикаторная значимость вида (s = 1 - олигосапробы, = 2 - мезосапробы, = 3 - мезосапробы, = 4 - полисапробы); h - относительное количество особей вида (h = 1 - случайные (единичные) находки, = 3 - частая встречаемость, = 5 - массовое развитие). При S = 4.0-3.5 - полисапробная зона, = 3.5 - 2.5 - мезосапробная зона, = 2.5-1.5 - мезосапробная зона, = 1.5 - 1.0 - олигосапробная зона, = 0.5 - 0 - ксеносапробные воды.

Метод Пантле - Букк широко применяется гидробиологами в оценке загрязнения природных вод (оценке сапробности) по фито- и зоопланктону и зообентосу. Существующие сейчас списки видов - индикаторов сапробности (Макрушин, 1974б) дают значения (s).

Н.А. Дзюбан и С.П. Кузнецова (1981) предложили модификацию индекса Пантле - Букк:

$$S = \frac{\sum (n*s)}{\sum n},$$

где n - фактическая численность индикаторного вида в пробе, S - средний индекс сапробности, s - сапробность отдельных видов. Определение сапробности по этому модифицированному индексу

Пантле - Букк проводится по следующим значениям (Захаров, 1997) (таблица 7):

Таблица 7

Значения и шкала сапробности

Шкала сапробности	Значения сапробности S
Ксеносапробная	<1
Олигосапробная	≥1<2
β - мезосапробная	≥2<3
α - мезосапробная	≥3<4
Полисапробная	≥4

Авторы считают расчеты по этой формуле более объективными. Она позволяет регистрировать даже небольшие изменения качества воды.

Некоторые сложности при вычислениях по этому модифицированному индексу связаны с возможными большими численностями индикаторных видов в пробах.

В.Ю. Захаров (1997) в Методическом руководстве приводит расчет сапробности по модифицированной формуле Пантле - Букк для не скольких рядов наблюдений (например, индексов сапробности для нескольких групп организмов из одного места сбора материала).

$$S1 \sum n1 + S2 \sum n2 + \dots + Sk \sum nk$$

$$S_m = \frac{\sum n_1 + \sum n_2 + \dots + \sum n_k}{n},$$

где S_m - средний индекс сапробности для анализируемых групп организмов; S_1, S_2, \dots, S_k - индексы сапробности для групп организмов 1, 2, ...k (например, для фитопланктона, зоопланктона и зообентоса); $\sum n_1 + \sum n_2 + \dots + \sum n_k$ - суммы численностей видов в анализируемых группах организмов. Он предлагает вычислять статистики для описания варьирования индекса: среднеквадратичное (несмещенное) отклонение, ошибку средней и коэффициент вариации. Наиболее достоверные результаты получаются при наличии в расчетах более 7 видов.

Для определения сапробности водотока используется индекс сапротаксобности (St) (Яковлев, 1988, по: Балужкина, 1997):

$St = (\sum St * n) / n$, где $(\sum St * n)$ - сумма произведений значений индексов сапротаксобности

отдельных видов на соответствующее им количество особей, n - число особей всех индикаторных видов.

Этот индекс отражает качественное разнообразие и количественное соотношение отдельных индикаторных видов. Индикаторное значение видов устанавливалось, с одной стороны, на основе индикаторов сапротаксобности (т.е. органического загрязнения), с другой стороны, на высокой чувствительности отдельных видов животных к различного рода токсичным веществам, в большом количестве поступающих вместе с органикой в водоемы промышленно развитых регионов и часто затрудняющим применение систем сапробности в связи с изменением индикаторной значимости отдельных видов под влиянием токсических веществ. Индекс сапротаксобности равен 1.0 - 1.5 в олигосапротаксобной зоне, 1.5 - 2.5 в мезосапротаксобной зоне, 2.5 - 3.5 в α-мезосапротаксобной зоне, 3.5 - 4.0 - в полисапротаксобной. Индекс сапротаксобности применим как к водоемам, так и к водотокам, высокочувствителен, хорошо зарекомендовал себя применительно к экосистемам северо-запада России и позволяет характеризовать водоем по степени смешанного токсического и органического загрязнения, что особенно важно в условиях промышленного развития регионов (Балужкина, 1997).

Райт (Wright, 1955), Карр и Хилтонен (Carr and Hiltonen, 1965) для оценки уровня загрязнения использовали данные по плотности олигохет-тубицид:

- слабое загрязнение - 100-999 экз./м²,
- среднее загрязнение - 1000-5000 экз./м²,
- тяжелое загрязнение - более 5000 экз./м².

Олигохеты - одна из повсеместно встречающихся и часто доминирующая в бентосе и в зарослевой фауне группа животных большинства водоемов. Они наиболее часто привлекаются различными авторами для целей биоиндикации, так как в местах сильного органического загрязнения наблюдается массовое развитие некоторых из них. Многие виды олигохет могут служить индикаторами качества вод, однако надо иметь в виду, что только немногие виды характеризуют степень загрязнения воды. Это виды: *Tubifex tubifex*, *Limnodrilus hoffmeisteri* и *L. udekemianus*. Практически только эти виды следует использовать в формулах индексов сапробности, где указываются олигохеты, причем, *Tubifex tubifex* наиболее определенно характеризует органические, легкоокисляемые загрязнения, например хозяйственно-фекальные, молочные или бродительного производства, в то время как *Limnodrilus hoffmeisteri* и *L. Udekemianus* - массе развиваются в зоне промышленных загрязнений, особенно стоками ЦБК. Есть два вида наидид - *Nais elinguis* и *Aulophorus*

furcatus, которые наряду с предыдущими могут использоваться как индикаторы альфа-мезо и полисапробных вод, но ввиду их редкой встречаемости и малочисленности в пробах они мало пригодны в расчетах. В связи с этим, важно заметить, что если в формуле указываются олигохеты (О или Т - тубициды), то надо оговаривать, о каких видах идет речь.

Известно также, что олигохеты не могут служить индикатором разового или прерывистого загрязнения (за исключением случаев катастрофической гибели при чрезмерной нагрузке), так как продолжительность их жизненного цикла достаточно велика. Они дают информацию об определенном состоянии водоема за довольно длительный период, предшествующий времени наблюдения, что иногда бывает очень важно.

В настоящее время разработано много методов оценки качества воды по составу донной фауны, среди которой чаще всего используются ее доминирующие виды. Некоторые исследователи создали индексы загрязнения воды на основе видового состава и численности малощетинковых червей. Обзор таких материалов приведен Н.П. Финогеновой и А.Ф. Алимовым (1976), считающими наиболее универсальным индекс Гуднайта и Уитлея.

Гуднайт и Уитлей (Goodnight and Whitley, 1961) о санитарном состоянии рек судят по соотношению олигохет и других обитателей дна.

Ими использовались следующие показатели:

- река в хорошем состоянии - олигохет менее 60% от общего числа всех донных организмов,
- в сомнительном состоянии – 60 - 80%,
- тяжелое загрязнение - более 80%.

Цанер (Zaner, 1964) качество вод оценивает по величинам абсолютной численности *Tubifex tubifex* и видов *p. Limnodrilus* (таблица 8)::

Таблица 8

Качество вод в зависимости от величины абсолютной численности *Tubifex tubifex* и видов *p. Limnodrilus*

Класс чистоты воды	<i>T. tubifex</i> , тыс. экз./м ²	<i>L. hoffmeisteri</i> , тыс. экз./м ²
1 – 2	0,1 - 1,0	0,1 - 0,2
2 – 3	1,0 - 2,0	2,0 - 10,0
3	2,0 - 10,0	10,0 - 50,0
3 – 4	10,0 - 50,0	50,0 - 100,0
4	50,0 - 100,0	более 100,0

Э.А. Пареле, изучавшая загрязнения малых рек Латвии, предложила 4 олигохетных индекса, каждый из которых был более или менее эффективен для определенных рек и условий загрязнения:

$$D_1 = \frac{O}{B+T};$$

$$D_2 = \frac{O}{S};$$

$$D_3 = \frac{O}{S};$$

$$D_4 = \frac{O}{T},$$

где Т - тубифициды, В - все организмы бентоса + олигохеты без некоторых тубифицид, О - все олигохеты + тубифициды, S - отдельный вид тубифицид (*Tubifex tubifex*, *Limnodrilus hoffmeisteri*).

Примечание: В - может включать биомассу тубифицид родов *Isochaetides*, *Rhyacodrilus*, *Pyodrilus* и др. Такие виды, как *Spirosperma ferox*, *Potamothrix hammoniensis*, могут встречаться в зоне слабого загрязнения, причем последний вид является показателем

(увеличение численности и биомассы) интенсивного эвтрофирования более-менее стагнированных водоемов (озер, водохранилищ).

В условиях Латвии хорошо зарекомендовал себя метод (Пареле, Астапенко, 1975), основанный на оценке отношения численности тубифицид к численности олигохет:

$$D_2 = N \text{ Tubificidae} / N \text{ Oligochaeta} ,$$

где индекс 0,3 - относительно чистая река, 0,3 - 0,54 - слабо загрязненная, 0,55 - 0,79 - загрязненная, 0,8 - 1,0 - сильно загрязненная река.

Для рек, где немалое значение имеют и другие организмы бентоса, можно применять и другой индекс (Пареле, 1981), основанный на оценке доли олигохет в составе зообентоса:

$$D_1 = N \text{ Oligochaeta} / N \text{ зообентоса} .$$

На основании показателей D_1 участки исследованных водотоков подразделяются на шесть групп: 0,01 - 0,16 - очень чистая, 0,17 - 0,33 - чистая, 0,34 - 0,5 - умеренно (слабо) загрязненная, 0,51 - 0,67 - загрязненная, 0,68 - 0,84 - грязная, 0,85 - 1,0 - очень грязная.

С учетом экологического и зоогеографического облика малоцетинковых червей для оценки состояния чистоты внутренних вод Европейского Севера В.И. Попченко (1988) предложен индекс, характеризующий отношение массовых видов (обладающих разным потенциалом устойчивости к загрязнению) к общему составу фауны малоцетинковых червей:

$$I_s = N_t + N_h + N_f / N_o ,$$

где I_s - индекс сапробности по олигохетам, N_t - средняя численность *Tubifex tubifex*, N_h - средняя численность *Limnodrilus hoffmeisteri*, N_f - средняя численность *Spirosperma ferox*, N_o - средняя численность всех олигохет в биотопе.

По значениям показателя I_s для разных условий водных экосистем Европейского Севера целесообразны четыре группы количественных показателей в пределах: $I_s = 0,9 - 1,0$ - сильно загрязненные, $I_s = 0,5 - 0,89$ - загрязненные, $I_s = 0,3 - 0,49$ - слабо загрязненные, $I_s = < 0,3$ - чистые и относительно чистые воды.

Е.В. Балушкина (1976) предложила хирономидный индекс:

$$K = \frac{\alpha t + 0,5 \alpha ch}{\alpha o} ,$$

где $\alpha = N+10$ - относительная численность особей всех видов подсемейств (t - Tanypodinae, ch - Chironominae, o - Orthoclaadiinae). Слагаемое 10 подобрано эмпирически.

При $K = 0,136 - 1,08$ - чистая вода; $1,08 - 6,5$ - умеренно загрязненная; $6,5 - 9,0$ - загрязненная; $9,0 - 11,5$ - грязная вода.

Представители п/сем Chironominae и Tanypodinae встречаются в массе в загрязненных водах. Род Chironomus - полиморфный и эврибионтный род, виды которого трудно и часто неправильно идентифицируются, поэтому один и тот же вид разными авторами указывается в качестве индикатора для разной степени загрязнения вод. Chironomus plumosus может быть в массе в сильно эвтрофированных водоемах и отсутствовать в водоемах, в которые поступают стоки с полей фильтрации и скотного двора. Здесь встречаются Ch. annularius и Glyptotendipes barbipes. При сильном загрязнении легко окисляемой органикой Ch. plumosus может быть в массе. При промышленном загрязнении (стоки ЦБК) в массе развивается Ch. tummi, менее требовательный к кислороду.

П/сем. Tanypodinae: Prodiamesa olivacea - р - α - мезосапроб; Prokladius choreus и P. Ferrugineus - эврисапробы. Род Psectrotanypus - в слабо загрязненной зоне. Macropelopia nebulosa - эврисапроб (β - мезо - олигосапроб). Ablabesmija monilis - α - мезосапроб. П/сем. Orthoclaadiinae - в большинстве стеноксифильны, оксифильны.

В «Руководстве...» Гидромета (1992) приводится таблица оценки состояния экосистемы по показателям развития бактериопланктона.

Данные об общем количестве бактерий (А), числе гетеротрофов (Б) и их соотношении позволяют охарактеризовать состояние экосистемы (таблица 9):

Состояние экосистемы в зависимости от численности бактерий

Состояние экосистемы	А, млн. клеток /мл	Б, тыс. клеток/мл	А/Б
Фоновое	<1,0	<0,5	>1000
Экологический прогресс (антропогенное экологическое напряжение)	1,0-4,0	0,5-10,0	1000-400
Элементы экологического регресса	4,0-20,0	10,0-200,0	400-100
Экологический регресс	20,0-40,0	100-70	100-70
Метаболический регресс	>40,0	>700	<70

4. Индексы сходства видового состава

Показатели сходства биоценозов представляют интерес для сравнения между собой целых водоемов, их участков, определенных экологических зон и особенно в оценке степени деградации биоценозов в одном водоеме (реке) на пути переноса и трансформации (разбавления) сточных вод, иначе говоря, индексы биоценологического сходства позволяют оценить интенсивность процессов самоочищения в реке. В озере индексы сходства позволяют оценить продолжительность, характер и степень загрязняющих отложений на дне по многолетним сборам зообентоса.

Наиболее удобно проводить попарное сравнение биоценозов по Жаккару (Jaccard, 1908, 1912):

$$k = \frac{c}{a + b + c} \cdot \frac{1}{2} 100 ;$$

$$k = \frac{c}{a + b - c} \cdot \frac{1}{2} 100 ;$$

$$k = \frac{c}{a + b} \cdot \frac{1}{2} 100 ,$$

где с - число видов, общих для двух участков (биотопов, биоценозов), а и b - число видов соответственно на обоих участках.

Сёренсен (Sorensen, 1948) использует индекс Жаккара в измененном виде:

$$k = \frac{2j}{a + b} \cdot \frac{1}{2} 100 ,$$

здесь j - число видов, общих для двух участков (биотопов, биоценозов).

По данным k для сравниваемых участков составляется матрица:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0									
2		0								
3			0							
4				0						
5					0					
6						0				
7							0			
8								0		
9									0	
10										0

Коэффициент k имеет значения от 0 до 100%. Нулевое значение показывает полное несовпадение списков в сравниваемых пробах; 100% означает полное совпадение списков, чего практически не бывает.

Полученные данные матрицы делятся на группы сходства, соответствующие степени загрязнения, например, 65 - 80% - высокое сходство - может быть между участками, близкими по условиям: чистые или одинаково загрязненные, 50 - 64% - показывают слабое загрязнение относительно чистых участков, 30 - 49% - умеренное загрязнение, 15 - 29% - низкое сходство, например между чистыми участками и сильно загрязненными (разные загрязнения).

Б.А. Вайнштейн (1967) для оценки сходства биоценозов по обилию и видовому составу применил коэффициент биоценологического сходства (Кб):

$$K_b = \frac{K_0 * K_v}{100} \%,$$

где K_v - коэффициент сходства видового состава (В.В. Алехин и др., 1925):

$$K_v = \frac{V_3 * 100}{V_1 + V_2 - V_3},$$

где K₀ - коэффициент общности удельного обилия, предложенный А.А. Шорыгиным (1939, 1952) для сравнения спектров питания рыб и использованный Б.А. Вайнштейном (1949) для оценки сходства сообществ вычисляется следующим образом. Сначала определяется удельное обилие каждого вида в каждом биоценозе, т.е. процент числа особей данного вида от общего их числа в биоценозе.

$$O = \frac{n}{N} \cdot \frac{1}{2} 100.$$

Затем в двух сравниваемых биоценозах удельные обилия общих им видов сравниваются, отбираются меньшие величины для каждого вида и суммируются:

$$K_0 = \sum O_{\text{мин.}}$$

Надежность использования зообентоса в качестве индикатора степени загрязненности водных объектов давно обсуждается в работах многих гидробиологов (Абакумов, Качалова, 1981; Винберг, 1983; Алимов, 1986; Яковлев, 1987; и др.).

В основу группы индексов видового разнообразия положено правило уменьшения числа видов с увеличением загрязнения. Чаще всего используется модификация индекса разнообразия Шеннона, предложенная Вильмом и Доррисом (Wilhm, Dorris, 1968) в качестве показателя степени загрязнения вод.

$$d = - \sum_{i=1}^s (n_i / n) \frac{1}{2} \log_2 (n_i / n),$$

где n_i - число особей i -го вида, n - число особей в пробе, s - число видов. Считается, что $d > 3$ соответствует чистым, d от 1 до 3 - загрязненным, $d < 1$ - грязным водам.

Индекс Шеннона позволяет анализировать сообщества по их популяционной структуре в естественных и нарушенных условиях (средах).

Этот же индекс может быть использован с данными по биомассе видов в пробах.

При хорошем знании фауны реки, на взгляд автора данного пособия, достаточно информативным может быть индекс «видового дефицита» Коте (Kothe, 1962, цит. по: Макрушин, 1974):

$$I = \frac{A_i - A_x}{A_i} \cdot \frac{1}{2} 100,$$

где A_i - число видов выше сброса сточных вод или загрязнения, A_x - число видов ниже сброса сточных вод или загрязнения.

При всем многообразии индексов оценки качества вод или степени загрязнения их, следует подходить к ним дифференцированно и выбирать их в соответствии с уровнем и задачами исследования. Для специальных исследований, выполняемых по научным программам, следует использовать расчетные индексы, например Пантле - Букк, Шеннона, олигохетные индексы Пареле, хирономидный индекс Балушкиной. Для экспресс-анализов нужно использовать более простые индексы видового сходства, например индексы Коте, Жаккара, Сёренсена или биоценологические индексы Бека, Вудивисса.

Вопросы для самоконтроля

1. Сущность биологической индикации качества вод.
2. Биотические индексы.
3. Оценка качества воды по показательным микроорганизмам.
4. Индексы сапробности для сапробиологической оценки воды.
5. Индексы видового состава. Их расчет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Танкевич, П.Б.** «Санитарная и техническая гидробиология»: Конспект лекций для студентов специальности 6.130.300 «Водные биоресурсы» дневной формы обучения / П.Б. Танкевич. – Изд-во.: Керченский государственный морской технологический университет, 2008.-79 с.

2. **Семерной, В.П.** Санитарная гидробиология: Учеб. пособие по гидробиологии. 2-е изд., перераб. и доп. Ярослав. гос. ун-т. / В.П. Семерной- Ярославль, 2002. 147 с.

Дополнительная

1. **Санитарная и техническая гидробиология.** Материалы I съезда ВГБО. – М.: Наука, 1967. – 178с.
2. **Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии./Н.А. Березина- М.: Агропромиздат, 1989. – 208с.
3. **Брагинский, Л.П.** Санитарная гидробиология. Термин и его содержание./Л.П. Брагинский - Гидробиологический журнал, 1971, т.7, №1. – с.126 – 132.

4. **Когановский, А.М.** Очистка промышленных сточных вод. / А.М. Когановский, Л.А. Кульский и др.– Киев, изд-во «Техника», 1974. – 258с.
5. **Мионов, О.Г.** Морская санитарная гидробиология и медицинская океанография. / О.Г. Мионов – Экология моря, № 47, 1998. с. 75 – 78.
6. **Яшнов, В.А.** Практикум по гидробиологии./ В.А. Яшнов М.: «Высшая школа», 1969. – 428с.

Лекция 9 Гидробиологический мониторинг.

1. Гидробиологический мониторинг

Гидробиологический метод контроля качества воды получил международное признание. Это стало возможным благодаря его преимуществам по сравнению с химическим методом. Биологический метод дает интегрированную оценку влияния всей совокупности загрязняющих веществ на состояние популяций гидробионтов.

Гидробиологическая служба наблюдений и контроля водной среды была создана в СССР в 1972 году и во весь период своей деятельности представляла одну из наиболее развитых подсистем экологического мониторинга, осуществляемого Гидрометслужбой (Роскомгидромет).

Ее роль заключалась в систематическом контроле над состоянием загрязнения водных объектов по гидробиологическим показателям, в определении изменений биотической компоненты водных экосистем под влиянием антропогенного воздействия, и в выяснении долгосрочных изменений в водных экосистемах.

Основные задачи гидробиологической службы заключались в:

- 1) обеспечении народнохозяйственных организаций систематической информацией о качестве вод и состоянии биоценозов;
- 2) оценке эффективности мероприятий по защите от загрязнений водной среды;
- 3) планировании и осуществлении мероприятий по охране и рациональному использованию континентальных и морских вод;
- 4) разработке и определении унифицированной системы гидробиологических показателей для оценки загрязнения водных экосистем.

Информация гидробиологической службы контроля за загрязнениями водных объектов необходима водопользователям и водопотребителям, рыбному хозяйству, проектировщикам гидротехнических сооружений, промышленных предприятий, рекреационных учреждений и водопроводному хозяйству.

По Г.Г. Винбергу (1981) : суть гидробиологических методов контроля качества внутренних вод состоит «не в недостижимой унификации данных, относящихся к разнородным объектам, а в том, чтобы, применяя нужные методы, специалисты гидробиологи, занятые в системе контроля, могли давать вполне определенные и научно обоснованные оперативные заключения о состоянии экосистем и качества вод и поставлять данные длительного хранения, адекватно отражающие главнейшие особенности взятых под наблюдение водных экосистем и отвечающие достигнутому уровню лимнологических знаний».

Главными принципами организации гидробиологической службы являются:

- 1) массовость гидробиологических наблюдений;
- 2) комплексность работ, т.е. проведение гидробиологических наблюдений совместно с гидротехническими и гидрологическими наблюдениями;
- 3) единство методического руководства гидробиологического контроля состояния морских вод;
- 4) единство методического руководства гидробиологического контроля состояния континентальных вод;
- 5) централизация всей гидробиологической информации;
- 6) унификация и стандартизация методов гидробиологических наблюдений и контроля.

Для решения этих задач необходима разработка информативных биологических показателей, унифицированных методов отбора проб и их камеральной обработки,

обеспечивающих сопоставимость результатов и высокую эффективность работ в условиях сетевых лабораторий, и позволяющих:

- оценить качество воды как среды обитания организмов, населяющих водоемы и водотоки;
- оценить совокупный эффект комбинированного воздействия загрязняющих веществ;
- определить трофические свойства воды, а в некоторых случаях специфический химизм и его происхождение;
- установить возникновение «вторичного» загрязнения воды.

Гидробиологические показатели позволяют дать не только количественные, индикаторные оценки качества воды и биоты, но и общую качественную экологическую характеристику водоема на основе визуальной оценки цвета воды, характера прибрежной растительности и обрастания подводных предметов (например, нитчаткой), обитателей поверхностной пленки воды (нейстон и плейстон: ряски).

Обязательными отчетными гидробиологическими показателями являются:

- 1) количественные и качественные характеристики развития планктонных и бентосных сообществ;
- 2) микробиологические характеристики;
- 3) соотношение продукционно-деструкционных процессов;
- 4) биоиндикация зон сапробности.

Выбор исследователями биотических индексов не регламентируется, а использование их в комплексном и расширенном наборе приветствуется, так как при этом возможны не только ситуационные оценки, но и сравнение индексов и их применимости в каждом конкретном случае и для конкретного водного объекта.

Большой интерес к качеству поверхностных вод проявляет общественность. Во многих городах, юннатские организации под руководством опытных педагогов и научных работников проводят гидробиологический мониторинг состояния малых рек и водоемов. На базе натуральных наблюдений и приборных методов сбора фауны и флоры, используя известные индексы сапробности, школьники дают вполне правильную и определенную картину сапробных зон в речках, не входящих в крупные региональные и государственные программы мониторинговых наблюдений. Помимо практической пользы для местных природоохранных учреждений это имеет важное образовательное значение для учащихся.

В системе глобального экологического мониторинга гидробиологические наблюдения должны быть направлены на решение следующих важнейших задач:

- 1) разработка сапробиологической классификации водных экосистем в связи с фактическим отсутствием в мире водоемов, не подверженных антропогенным (антропическим) воздействиям;
- 2) установление общих принципов сукцессионных и эволюционных перестроек водных экосистем под влиянием загрязнений, ацидификации и евтрофикации;
- 3) законодательное установление нормативов по объемам и качественному составу загрязнений;
- 4) установление общих закономерностей развития внутриводоемных загрязняющих процессов;
- 5) способствовать выработке межгосударственных, государственных, региональных и в субъектах федерации законодательных решений

по предотвращению или минимизации загрязняющих воздействий на водные экосистемы.

Гидробиологическая служба, должна оперативно оценивать качество вод по степени нарушенности экосистем и получать биологические материалы длительного хранения как основу для прогноза вызванных природными антропогенными причинами изменений в водных экосистемах.

При большом и разнообразном объеме гидробиологических материалов они должны быть максимально информативны в качественных и количественных характеристиках: четкая видовая принадлежность анализируемых популяций, особенно индикаторных видов, количественные данные должны строго относиться к определенному показателю, например, количество хлорофилла а должно быть отнесено к определенной группе водорослей; численность и биомасса зообентоса или планктона должны быть дифференцированы относительно доминантов, субдоминантов и второстепенных видов, особо следует выделить показательные виды, тем более если по ним известны расчетные индексы сапробности (*Tubifex tubifex*, виды р. *Limnodrilus*, р. *Chironomus*, виды сине-зеленых водорослей и т.д.).

Государственный мониторинг водных объектов представляет собой систему регулярных наблюдений за гидрологическими или гидрогеологическими и гидрогеохимическими показателями их составляющих, обеспечивающих сбор, передачу и обработку информации (Водный кодекс РФ).

Мониторинг водных объектов как целенаправленное непрерывное наблюдение за состоянием водной среды и биоты предполагает целую систему необходимых условий и требований. По мнению Г.М. Баренбойма (устное сообщение), мониторинг должен быть тщательно спланирован и обязан учитывать:

- цель (водохозяйственный, гидробиологический, общеэкологический мониторинг и др.);
- физико-географический очерк и использование водоема (водопользование и водопотребление);
- загрязнение (коммунальное, сельскохозяйственное, промышленное) с данными по составу, количеству и распределению стоков, данные (базы данных) по загрязнению водосборной территории;
- биоту (флора, фауна), ее природные особенности и состояние на период наблюдений;
- демографический и социальный статус населения, его хозяйственные и рекреационные интересы к водоему;
- установление контрольных (реперных) участков водоема и территорий;
- установление заинтересованных в мониторинге и информации по нему организаций и учреждений, определение организации по принятию управляющих решений по итогам мониторинга.

Непосредственное проведение мониторинговых наблюдений должно вестись по Программе, определяющей:

- заказчика и финансирование;
- маршруты и оборудование для отбора и доставки проб на обработку (анализ);
- методы отбора проб, их консервации и обработки, получение данных, средства их анализа и представления, носители информации.

Необходима максимальная унификация и стандартизация методов сбора материала, его обработки и представления данных;

- учреждения, лаборатории и эксперты, ответственные за отбор проб, их обработку и данные;
- хранение данных (протоколы), форму их представления и условия получения и поиска другими заинтересованными сторонами.

Большое значение для исследования динамики экологического состояния водоемов (интенсивное токсическое загрязнение, евтрофикация, ацидификация, тепловое загрязнение и пр.) имеет видовой состав флоры и фауны водоема в целом или отдельных сообществ (планктон, бентос). Бедность или богатство видового состава при разовых наблюдениях дает мало информации к экологическому состоянию водоема.

Необходимо знать тип водоема (гидрохимический и трофический статус) и знание регионального фаунистического комплекса. Наиболее полную экологическую информацию

несут комплексные исследования в сочетании гидрохимических и гидробиологических данных по всем биосистемам или полные по отдельным сообществам. Например, для лотических систем менее показателен зоопланктон, а более - зообентос; для лимнических систем зоопланктон более показателен, зообентос же может отражать скорее локальные условия.

Для экологической, тем более сапробиологической интерпретации натуральных данных совершенно необходимо хорошее знание биологии и экологии видов, их географии, предпочтительности сред и распределения в них во времени и пространстве (суточные и сезонные вертикальные или горизонтальные миграции), сезонную структуру сообществ для определения сроков наблюдений и отбора проб.

Таким образом, гидробиологическая служба наблюдений (гидробиологический мониторинг) должна строиться на принципах соответствующей задачам организации наблюдений:

- знание географических и гидрологических особенностей водоема;
- наличие или сбор собственных гидрохимических материалов;
- сроки и периодичность экспедиций или отбора проб;
- количество необходимого для анализа материала;
- предпочтительность сроков, оборудования и приборов в сборе материала и получении данных;
- достаточно высокая квалификация специалистов по отдельным группам организмов;
- склонность к экологическому мышлению специалистов в комплексном исследовании;
- использование в анализе данных известных или собственных адекватных биотических индексов и систем сапробности.

Вопросы для самоконтроля

1. Сущность гидробиологического мониторинга.
2. Функции гидробиологической службы наблюдений и контроля водной среды.
3. Задачи гидробиологической службы.
4. Обязательные гидробиологические показатели.
5. Гидробиологические наблюдения и их задачи.
6. Мониторинг водных объектов.
7. Мониторинговые наблюдения за водными объектами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Танкевич, П.Б.** «Санитарная и техническая гидробиология»: Конспект лекций для студентов специальности 6.130.300 «Водные биоресурсы» дневной формы обучения / П.Б. Танкевич. – Изд-во.: Керченский государственный морской технологический университет, 2008.-79 с.
2. **Семерной, В.П.** Санитарная гидробиология: Учеб. пособие по гидробиологии. 2-е изд., перераб. и доп. Ярослав. гос. ун-т. / В.П. Семерной- Ярославль, 2002. 147 с.

Дополнительная

1. **Санитарная и техническая гидробиология.** Материалы I съезда ВГБО. – М.: Наука, 1967. – 178с.

2. **Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии./Н.А. Березина- М.: Агропромиздат, 1989. – 208с.
3. **Брагинский, Л.П.** Санитарная гидробиология. Термин и его содержание./Л.П. Брагинский - Гидробиологический журнал, 1971, т.7, №1. – с.126 – 132.
4. **Когановский, А.М.** Очистка промышленных сточных вод. / А.М. Когановский, Л.А. Кульский и др.– Киев, изд-во «Техника», 1974. – 258с.
5. **Миронов, О.Г.** Морская санитарная гидробиология и медицинская океанография. / О.Г. Миронов – Экология моря, № 47, 1998. с. 75 – 78.
6. **Яшнов, В.А.** Практикум по гидробиологии./ В.А. Яшнов М.: «Высшая школа», 1969. – 428с.

Лекция 10

Очистка сточных вод. Механическая, физико-химическая и биологическая очистка сточных вод. Очистка сточных вод. Реакторы для очистки сточных вод.

1. Очистка сточных вод. Механическая, физико-химическая и биологическая очистка сточных вод.

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

Сначала сбрасываемые воды подвергаются физико-механической очистки, во время которой из жидкости удаляют нерастворимые компоненты загрязнения, такие как волокна, жиры, смолы, нефть и т.д. В одних случаях они удаляются путем фильтрации, в других – осаждением тяжелых компонентов или флотацией легких.

Для фильтрации применяются различные решетки, сита, эффективность работы которых повышается путем нанесения на них слоя из волокнистой массы. Такие сита, в частности, применяются в текстильной, целлюлозно-бумажной и др. отраслях, стоки которых содержат большое количество волокнистых веществ. Для осаждения тяжелых фракций применяют различного рода отстойники, для удаления легких фракций – различного рода ловушки, представляющие собой систему вертикальных отсеков, в которые сточная вода поступает сверху, а выходит снизу. В верхней точке ловушки накапливаются легкие продукты, такие, как масла, нефть и др., которые по мере необходимости удаляются.

Физико-химическая очистка сточных вод, главным образом, производится путем реагентной коагуляции вредных компонентов, нейтрализацией кислот и щелочей, биохимическим окислением с помощью хлора, электрохимическим методом анодного окисления и фильтрованием через ионообменные материалы. В качестве коагуляторов чаще всего применяются сернокислые алюминий и железо, а также гашеная известь. В результате обработки воды этими веществами происходит связывание различных соединений и осаждение их на дно.

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

Методы биологической очистки сточных вод

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

Биологические методы очистки можно разделить на две основные группы: 1.- воспроизведение процессов биохимического распада органических веществ в почве (поля орошения, поля фильтрации, биологические фильтры, аэрофильтры); 2- воспроизведение этих процессов в водной среде (биологические пруды, аэротэнки, метатенки).

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

Почвенная фильтрация освобождает воды от бактерий на 98 – 99 %.

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

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

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

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

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

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

Помимо бактериальной флоры в биопленке весьма разнообразны и многочисленны водоросли. Среди них ведущая роль принадлежит **диатомовым** – донным и эпифитным формам. Преобладающее развитие сине-зеленых водорослей свидетельствует обычно об ухудшении работы биофильтров. Из более крупных организмов здесь присутствуют нематоды, олигохеты, низшие ракообразные, личинки насекомых. Биопленка играет роль основного активного агента в очистке воды. Процессы очистки идут в 2 фазы: 1 – растворенные и коллоидные вещества стоков адсорбируются микроорганизмами; 2 – происходит окисление и минерализация этих веществ тоже с помощью микроорганизмов.

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

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

Очистка стоков происходит в условиях, наиболее близких к процессам самоочищения в природных водоемах. Время пребывания стоков в прудах колеблется в летний период от 3-х до 20 дней при условии их интенсификации культурой протококковых водорослей: при

этом выбираются такие виды водорослей, которые при внесении их в пруд в минимальном количестве вызывают массовое развитие (виды *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus*, *Chlorella* и др.)

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

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

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

2. Очистка сточных вод. Реакторы для очистки сточных вод. Современные станции очистки сточных вод

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

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

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

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

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

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

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

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

Процесс очистки прост в управлении и может быть полностью автоматизирован.

Количество необходимых контролируемых параметров минимально, например, для аэробных биореакторов – это t_0 , pH и ХПК очищенного стока.

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

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

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

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

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

Общая себестоимость аэробно-анаэробной технологии в биореакторах значительно ниже традиционной одно- или двухступенчатой аэробной очистки, а надежность и качество очистки стока выше.

Классификация реакторов, применяемых в очистке сточных вод по Танкевичу, 2008

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

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

Развитие реакторов не стоит на месте. С каждым годом растет их число, разнообразие конструкций и различных процессов, происходящих в них. Так, появились реакторы, в которых в одной части происходят биохимические процессы в анаэробных условиях, а в другой части – в аэробных условиях. Изменяются их формы, появляются комбинированные сооружения, создаются новые виды загрузки.

По методу очистки сточных вод реакторы делятся на:

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

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

1. По подаче воздуха:
 - а) аэробные;
 - б) анаэробные;

- с) аэробно-анаэробные.
- 2. По иммобилизации микроорганизмов в аппарате:
 - а) с прикрепленными микроорганизмами на загрузке;
 - б) с плавающей микрофлорой;
 - в рабочем объеме;
 - в рабочем слое;
 - с) комбинированные.
- 3. По конструктивным особенностям:
 - а) с прикрепленной насадкой;
 - б) с вращающейся насадкой;
 - с) с псевдооживленным слоем.
- 4. По конструктивно-технологическим признакам:
 - а) биофильтры;
 - б) биосорберы;
 - с) биотенки;
 - д) фильтр – биореактор;
 - е) флототенки.
- 5. По другим признакам:
 - а) по виду загрузки (плоская, объемная и др.);
 - б) по форме реактора (конические, цилиндро-конические, пирамидальная и др.);
- II. Физико-химические реакторы бывают:
 - а) химические (реакторы нейтрализации) и др.;
 - б) электрохимические (плазмохимические) и др.;
 - с) физические (реактор-смеситель) и др.;

Биореакторы для очистки сточных вод

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

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

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

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

В нижней части биореактора активный ил находится во взвешенном состоянии.

Аэрация осуществляется придонными аэраторами. Процесс очистки СВ осуществляется биоценозом микроорганизмов в восстановительных условиях, постепенно переходящих в окислительные. Оба процесса происходят одновременно. Прикрепленный биоценоз микроорганизмов последних камер характеризуется формированием богатого и разнообразного видового состава простейших, которые являются регулятором прироста активного ила. Избыточный активный ил не имеет достаточно высокую степень минерализации, поэтому хорошо обезвоживается. Он вывозится в мешках и используется как органическое удобрение. Прирост ила в 3 – 4 раза меньше, чем у аэротенков такого класса. Небольшое количество взвешенных веществ в сбрасываемом очищенном стоке составляют гидробионты 2-го и 3-го трофических уровней. При сбросе они не нарушают естественный баланс водоема, включаясь в трофические системы (хищные коловратки, олигохеты,

сосущие инфузории) – представители 3-го трофического уровня являются отличным кормом для рыб; бактериядные инфузории, нематоды, колероватки - представители 2-го уровня усиливают бактериальную очистку в планктоне, перифитоне, тем самым улучшая санитарное состояние водоемов.

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

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

Станция с применением таких биореакторов имеет следующие достоинства:

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

Аэробные и анаэробные биореакторы «БРИЗ».

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

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

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

Для интенсификации протекания окислительных процессов предусмотрено рециркуляционное перемешивание насосом. После 1-ой ступени окисления сточная вода подается на анаэробный биореактор 2-ой ступени, где происходит дальнейший процесс анаэробной переработки загрязнений микроорганизмами, дополнительное осветление воды и уплотнение избыточной биомассы. Очищенная вода подается на фильтрацию и обеззараживание.

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

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

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

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

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

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

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

Одним из ключевых факторов анаэробного процесса является температура. Считается, что скорость роста микробной популяции и, соответственно, ее активность, удваиваются при повышении t_0 рабочей среды на каждые 100С. Эта зависимость наблюдается в диапазоне $t_0 = 35 - 37$ 0С (мезофильный режим), в котором работают большинство анаэробных биореакторов. Установлено, что чем интенсивнее процесс метанообразования, тем меньше прирост биомассы, и наоборот. Так как потребность в азоте ниже, чем при очистке в аэробных условиях, многие производственные сточные воды могут быть обработаны без биогенной подпитки.

Кроме вышеназванных биореакторов применяют и целый ряд других:

а) Анаэробный биореактор со свободноплавающей микрофлорой в рабочем объеме.

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

б) Анаэробный биореактор со свободноплавающей флорой в рабочем слое.

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

в) Анаэробный биореактор с прикрепленной микрофлорой на неподвижной загрузке.

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

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

г) Аэробный биореактор с прикрепленной микрофлорой на подвижной загрузке.

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

д) Анаэробные биореакторы с иммобилизированной микрофлорой на закрытой насадке.

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

е) Биореакторы с прикрепленной микрофлорой на псевдооживленной загрузке.

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

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

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

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

Достоинства биореакторов:

1. Высокая окислительная способность ХПК = 20 – 70 кг/м³ сутки.
2. Высокая концентрация активного ила в реакторе до 40 мг/л.
3. Аппараты компактны, не требуют больших производственных площадей.
4. Не подвержены заиливанию.

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

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

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

Несмотря на достоинства анаэробных биореакторов, а именно:

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

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

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

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

Биосорберы

Биосорбер – сооружение биологической очистки хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод, работающий на принципе псевдоожидания слоя активированного угля, который представляет собой инертный носитель для микроорганизмов.

Основным признаком материала, определяющим его в качестве носителя для микроорганизмов, является способность его к адсорбции и развитая поверхность контакта.

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

Биосорберы имеют диаметр 1,5 – 2,2 и 3 м, высоту от 4,8 до 18,6 м, объем реакционной зоны 8,4 – 131,3 м³. Эксплуатация установки показала высокую надежность и устойчивость процесса при значительном колебании содержания органических веществ.

Фильтр – биореактор с загрузкой из стеклоершей

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

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

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

Системы биологической очистки СВ на установке BIOTAL

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

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

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

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

- не требуется ассенизационная машина для отвоза продуктов очистки;
- установка производит в результате процесса очистки два конечных продукта, пригодных для непосредственного использования:

- а) техническую воду, пригодную для использования во вторичном водообороте;

- б) минеральные удобрения в форме обезвоженного избыточного активного ила;

- установка изготовлена из полипропилена, который химически не активен, не подвержен коррозии, имеет малые габариты и вес;

- управление процессом очистки производится с помощью компьютера, что позволяет оптимизировать все процессы, обеспечивает автоматическое переключение установки в I, а затем во II режим экономии, при отсутствии притока СВ, и форсированный режим при поступлении СВ в количестве, превышающем норму;

- при отключении электроэнергии установка продолжает работать как многоступенчатый отстойник и, по-прежнему, обеспечивает очистку сточных вод от жиров и поверхностных нечистот. При появлении электропитания установка переходит в нормальный режим работы;

- не происходит выделение метана и отсутствует неприятный запах;

- за счет особенностей технологии установка выдерживает сброс стоков с высокой концентрацией химических веществ (марганец, хлор и т.д.), применяемых для промывки

- систем очистки питьевой воды;

- в установках проводится автоматическое дозирование дезинфицирующего раствора (при необходимости);

- съемные элементы установки позволяют при ремонте (после 10 – 15 лет работы) не откачивать очищаемые СВ из установки.

Антропогенная эвтрофикация. Методы борьбы с «цветением» водоемов

Для борьбы с антропогенной эвтрофикацией водоемов существует два подхода: 1 – устранение причин эвтрофикации; 2 – устранение последствий этого явления.

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

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

Для защиты водоемов от загрязнений, в основном стоками с с/х угодий, применяют меры лесозащитного и агротехнического характера. По берегам многих водохранилищ

создают лесные полосы, препятствующие размыванию почв и попаданию биогенных элементов в воду.

Химические методы заключаются в том, что в водоемы вносят те или иные альгициды: медный купорос, хлор и др. Однако все эти методы в настоящее время используются мало. Временный эффект их действия, трудность правильной дозировки, часто наблюдаемое повторное «цветение», опасность токсического действия альгицидов на другие организмы – все это затрудняет широкое применение химических методов.

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

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

Вопросы для самоконтроля

1. Методы очистки сточных вод.
2. Поля фильтрации, биологические пруды, биофильтры и аэротенки.
3. Современные станции очистки. Аэробная и анаэробная очистка сточных вод.
4. Классификация биологических реакторов.
5. Принцип действия аэробно – анаэробного биореактора.
6. Назовите основные достоинства и недостатки биореакторов.
7. Биосорбенты, их отличительная особенность от других типов биореакторов.
8. Технологии BIOTAL. Отличительные особенности.
9. Методы борьбы с цветением водоемов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Танкевич, П.Б.** «Санитарная и техническая гидробиология»: Конспект лекций для студентов специальности 6.130.300 «Водные биоресурсы» дневной формы обучения / П.Б. Танкевич. – Изд-во.: Керченский государственный морской технологический университет, 2008.-79 с.
2. **Семерной, В.П.** Санитарная гидробиология: Учеб. пособие по гидробиологии. 2-е изд., перераб. и доп. Яросл. гос. ун-т. / В.П. Семерной- Ярославль, 2002. 147 с.

Дополнительная

1. **Санитарная и техническая гидробиология.** Материалы I съезда ВГБО. – М.: Наука, 1967. – 178с.
 2. **Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии./Н.А. Березина- М.: Агропромиздат, 1989. – 208с.
 3. **Брагинский, Л.П.** Санитарная гидробиология. Термин и его содержание./Л.П. Брагинский - Гидробиологический журнал, 1971, т.7, №1. – с.126 – 132.
- Долина, Л.Ф. Реакторы для очистки сточных вод./ Л.Ф. Долина– Днепропетровск, «Стандарт», 2001. – 82с.

4. **Когановский, А.М.** Очистка промышленных сточных вод. / А.М. Когановский, Л.А. Кульский и др.– Киев, «Техника», 1974. – 258с.
5. **Миронов, О.Г.** Морская санитарная гидробиология и медицинская океанография. / О.Г. Миронов – Экология моря, № 47, 1998. с. 75 – 78.
6. **Яшнов, В.А.** Практикум по гидробиологии./ В.А. Яшнов М.: «Высшая школа», 1969. – 428с.

Лекция 11

Техническая гидробиология. Основные понятия, методы и проблемы технической гидробиологии.

1. Основные проблемы технической гидробиологии

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

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

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

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

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

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

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

Продолжающийся быстрый технический процесс, расширение масштабов и областей использования Мирового океана, как источника биологических, минеральных и энергетических ресурсов, создание специальных подводных устройств и систем промышленного и военного значения; применение оборудования и приборов для обеспечения связи выдвигают все новые и новые требования в смысле защиты от обрастания и биологического повреждения материалов. Специфичность требований и условий эксплуатации в каждом отдельном случае приводит к изысканию специальных средств защиты, созданию совершенно новых необрастаемых покрытий, отличающихся и по длительности действия, и по эксплуатационным качествам. Учитывая все вышеизложенное,

наряду с изучением частных эколого-биологических вопросов, касающихся самих организмов обрастания, большое значение приобретают всесторонние физиологобиохимические исследования, необходимые для установления характера и степени влияния на организмы тех или иных воздействий, а также выяснения взаимодействия организмов, окружающей среды и применяемых средств защиты.

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

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

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

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

Как показали многолетние стационарные наблюдения, несмотря на хорошо выраженные биологические сезоны в Черном море, процесс обрастания практически идет в течение почти всего года, но состав и интенсивность его имеют свой помесечный ход для каждого вида с максимумом в теплые месяцы и минимумом зимой.

Размах колебаний численности обрастателей, особенно в прибрежных и сравнительно мелководных районах, чрезвычайно велик, и период возрастания и убывания ее в отдельные годы может значительно перемещаться в ту или иную сторону. Так, например, в одни годы максимальная численность осевших баянусов наблюдалась в июне и составляла всего несколько тысяч экземпляров на 1 м², в другие – превышали 1000000 экз/м². Количество оседающих мидий в разные годы также может отличаться в десятки и сотни раз.

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

Для развития обрастания большое значение имеет плотность первоначального поселения.

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

В этих случаях, чем больше первичное оседание, тем меньше общий вес обрастания.

Замечено, что циприс – последняя личиночная стадия баянусов, осуществляющая процесс оседания, и прикрепления к субстрату – предпочитает и в большем количестве заселяет нижнюю затененную или черную поверхность предмета, находящегося в море.

Круглогодичными многолетними наблюдениями установлена четкая зависимость состава, количества, размеров и общего веса обрастания от положения обрастаемой поверхности по отношению к странам света. Максимальное оседание и общая численность обрастателей, особенно в летние месяцы, отмечены на пластинках, ориентированных на восток.

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

Исследования развития обрастаний в Черном море в 12 – 15 милях от берега при общей глубине в пункте исследований около 100 м показали, что наибольшая плотность оседания наблюдается на горизонте до 15 м. На глубине 8 – 10 м вес годового обрастания превышает 20 кг/м². С возрастанием глубины плотность поселения и, соответственно, общий вес обрастания падают, и на глубине 70 – 80 м бывают очень незначительными. Вместе с уменьшением поселения с глубиной уменьшается также интенсивность роста организмов, очевидно как следствие более низких температур, и возможного недостатка пищи и пр.

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

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

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

Необрастающие краски и биологический контроль их токсичности Основным способом защиты от обрастания является применение так называемых необрастаемых красок, содержащих преимущественно закись меди, окись ртути и др.

Эффективность необрастаемых красок определяется:

- 1) составом, количеством и специфичностью действия входящих в них ядов;
- 2) степенью их растворимости в окружающей воде (что зависит от %, t₀, и многих других причин);
- 3) скоростью выщелачивания ядов, зависящей от структуры краски, растворимостью самих ядов и пленкообразующей основы, способности основы служить пищей, а, значит, разрушаться микробами морской воды, открывая доступ к глубжележащим зернам яда.

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

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

При этом следует иметь ввиду, что один и тот же яд может действовать различно на организмы не только разных систематических групп, но даже на отдельные стадии развития

одного и того же вида организма, тем более взятого в разные сезоны года или из разных географических районов.

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

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

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

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

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

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

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

1) условия испытания должны быть возможно более близкие к тем, которые могут быть встречены в эксплуатации;

2) испытываемые образцы должны быть ориентированы всей своей поверхностью по направлению к преобладающему течению, приносящему личинок обрастателей и не должны экранировать друг друга;

3) испытываемые образцы должны находиться на относительно равной глубине, не менять ориентацию к свету, течениям.

4) Испытания должны проводиться в наиболее жестких условиях обрастания, рядом с мощными естественными обрастаниями или обросшими предметами.

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

Развитие микробрастаний, т.е. появление первичной бактериально-диатомовой пленки, с большей или меньшей интенсивностью происходит в течение всего года, и может

предшествовать, происходить одновременно и даже отставать от оседания личинок макрообрастателей. Осевшие в результате адсорбции клетки микроорганизмов затем прикрепляются к поверхности – субстрату биологическим путем – с помощью выделяемого ими слизистого или клеящего вещества. Сила сцепления бактерий и диатомовых даже с гладкой стеклянной поверхностью значительна.

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

Использование ультразвука

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Вопросы для самоконтроля

1. «Обрастание». Способы защиты от обрастания.
2. Эффективность необрастаемых красок.
3. Основные требования к стендовым испытаниям эффективности противообрастаемых средств.
4. Воздействие ультразвуковых волн на организмы – обрастатели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Танкевич, П.Б.** «Санитарная и техническая гидробиология»: Конспект лекций для студентов специальности 6.130.300 «Водные биоресурсы» дневной формы обучения / П.Б. Танкевич. – Изд-во.: Керченский государственный морской технологический университет, 2008.-79 с.

2. **Семерной, В.П.** Санитарная гидробиология: Учеб. пособие по гидробиологии. 2-е изд., перераб. и доп. Яросл. гос. ун-т. / В.П. Семерной- Ярославль, 2002. 147 с.

Дополнительная

1. **Санитарная и техническая гидробиология.** Материалы I съезда ВГБО. – М.: Наука, 1967. – 178с.
2. **Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии./Н.А. Березина- М.: Агропромиздат, 1989. – 208с.
3. **Брагинский, Л.П.** Санитарная гидробиология. Термин и его содержание./Л.П. Брагинский - Гидробиологический журнал, 1971, т.7, №1. – с.126 – 132.
4. **Долгопольская, М.А.** Биологические механизмы действия основных ядов противообрастаемых красок./ М.А. Долгопольская, С.А. Горомосова и др. – «Биологические основы борьбы с обрастанием». Киев. «Наукова думка». 1973. – с.194 – 202.
5. **Долгопольская, М.А.** Биологические исследования как основа для изыскания, разработки и повышения эффективности средств защиты от обрастания. / М.А. Долгопольская –Биологические основы борьбы с обрастанием. – Киев, «Наукова думка», 1973. с.5 – 26.
6. **Когановский, А.М.** Очистка промышленных сточных вод. / А.М. Когановский, Л.А. Кульский и др.– Киев, изд-во «Техника», 1974. – 258с.
7. **Миронов, О.Г.** Морская санитарная гидробиология и медицинская океанография. / О.Г. Миронов – Экология моря, № 47, 1998. с. 75 – 78.
8. **Яшнов, В.А.** Практикум по гидробиологии./ В.А. Яшнов М.: «Высшая школа», 1969. – 428с.

Список использованных источников литературы

1. Абакумов, В.А. К истории контроля качества вод по гидробиологическим показателям / В.А. Абакумов // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям: Тр. Всесоюз. конф. Москва, 1-3 ноября 1978 г. Л.: Гидрометеиздат, 1981. С. 46-74.
2. Абакумов, В.А. Контроль качества вод по гидробиологическим показателям в системе Гидрометеорологической службы СССР / В.А. Абакумов // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям: Тр. советско-английского семинара. Л., Гидрометеиздат, 1977. С. 93-99.
3. Абакумов, В.А. О наблюдениях и сравнительных оценках состояния экологических систем / В.А. Абакумов // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1978. Т. 1. С. 64-69.
4. Артари, А.П. Руководящие принципы оценки воды по ее флоре. / А.П. Артари. М., 1913.
5. Бабаянц, Р.Д. По поводу критерия вредности в проблеме санитарной охраны водоемов / Р.Д. Бабаянц // Гигиена и санитария, 1949. № 7. С. 6-10.
6. Балушкина, Е.В. Применение интегрального показателя для оценки качества вод по структурным характеристикам донных сообществ / Е.В. Балушкина // Реакция озерных экосистем на изменение биотических и абиотических условий: Тр. Зоологического ин-та РАН. Т. 272. СПб., 1997. С. 266-291.
7. Балушкина, Е.В. Хирономиды как индикаторы степени загрязнения вод / Е.В. Балушкина // Методы биологического анализа пресных вод. Л.: Изд-во ЗИН АН СССР, 1976. С. 106-118.
8. Белихов, Д.В. Санитарно-биологическое исследование рек Исети, Чусовой и Волги в зоне Куйбышевского водохранилища. / Д.В. Белихов. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1964.
9. Березина, Н.А. Практикум по гидробиологии. / Н.А. Березина. М.: Агропромиздат, 1989. – 208с.
10. Биоповреждения. Учебное пособие для ВУЗов. Под ред. проф. Ильичева В.Д. –М.: Высшая школа, 1987. – 352с.
11. Брагинский, Л.П. Санитарная гидробиология. Термин и его содержание./ Л.П. Брагинский. - Гидробиологический журнал, 1971, т.7, №1. – с.126 – 132.
12. Былинкина, А.А. О приемах графического изображения аналитических данных о состоянии водоема/ А.А. Былинкина, С.М. Драчев, А.И. Ицкова // Матер. XVI гидрохим. совещ. Новочеркасск: Гидрохим. инст. АН СССР, 1962. С. 8-15.
13. Вавилин, В.А. Математическое моделирование и управление качеством водной среды / В.А. Вавилин, М.Ю. Циткин // Водн. ресурсы. 1977. № 5. С. 114-132.
14. Верниченко, А.А. Актуальные задачи оценки качественного состояния поверхностных вод / А.А. Верниченко, В.Р. Лозанский // Контроль качества природных и сточных вод: Сб. науч. трудов. Харьков, 1982. С. 3-14.
15. Винберг, Г.Г. Опыт применения разных систем биологической индикации загрязненных вод/ Г.Г. Винберг, А.Ф.Алимов, Е.В. Балушкина, В.Н. Никулина, Н.П. Финогенова, С.Я. Цалолыхин // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям: Тр. советско-английского семинара. Л.: Гидрометеиздат, 1977. С. 124-131.
16. Винберг, Г.Г. Значение гидробиологии в решении водохозяйственных проблем / Г.Г. Винберг // Гидробиол. журнал. 1969. Т. 5, № 4. С. 9-24.
17. Винберг, Г.Г. Значение гидробиологии в решении водохозяйственных проблем / Г.Г. Винберг // Теория и практика биологического самоочищения загрязненных водоемов. М.: Наука, 1972. С. 7-12.

18. Винберг, Г.Г. Концептуальные основы, перспективные задачи и вопросы кадрового обеспечения гидробиологических исследований / Г.Г. Винберг // Гидробиол. журнал. 1988. Т. 24, № 3. С. 3-30.
19. Винберг, Г.Г. Общегидробиологическая основа санитарно-гидробиологических исследований / Г.Г. Винберг // Биологическое самоочищение и формирование качества воды. М.: Наука, 1975. С. 5-9.
20. Винберг, Г.Г. Успехи лимнологии и гидробиологические методы контроля качества внутренних вод / Г.Г. Винберг // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям / Тр. Всесоюз. конф. Москва, 1-3 ноября 1978 г. Л.: Гидрометеиздат, 1981. С. 17-45.
21. Винберг, Г.Г. Эвтрофирование и охрана вод / Г.Г. Винберг // Гидробиол. журнал. 1974. Т. 10, № 2. С. 129-134.
22. Винберг, Г.Г.. Биологические процессы и самоочищение на загрязненном участке реки / Под ред. Г.Г. Винберга. Минск: Изд-во БГУ, 1973. 190 с.
23. Вислоух, С.М. Биологический анализ воды / С.М. Вислоух // Практическая медицина. 1915. № 7. С. 225-256; № 8. С. 257-304; № 10. С. 305; № 11. Табл. 1-10.
24. Вислоух, С.М. О применимости показательных организмов Кольквитца и Марссона в России / С.М. Вислоух // Журнал микробиологии. 1916. Т. 3, № 3-4. С. 377-386.
25. Вотинцев, К.К. О круговороте органического вещества в озере Байкал / К.К. Вотинцев, Поповская // Круговорот вещества и энергии в озерах и водохранилищах. Лиственничное-на-Байкале, 1973. С. 75-77.
26. Вудивисс, Ф. Биотический индекс р. Трент. Макробеспозвоночные и биологическое обследование / Ф. Вудивисс // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям: Тр. Советско-английского семинара. Л.: Гидрометеиздат, 1977. С. 132-161.
27. Выхристюк, Л.А. Органическое вещество донных осадков Байкала / Л.А. Выхристюк Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1980. 80 с.
28. Говорин, И.А. Роль черноморских мидий в процессе элиминации аллохтонных бактерий из морской среды / И.А. Говорин // Гидробиол. журнал. 1991. Т. 27, № 4. С. 15-17.
29. Гусев, А.Г. Охрана рыбохозяйственных водоемов от загрязнения. / А.Г. Гусев – М.: Пищевая пром-ть, 1975. – 367с.
30. Дворецкий, А.И. Водная микробиология./ А.И. Дворецкий, Г.П.Емец, С.О. Баздеркина . – Изд-во Днепропетровского ун-та, 2000, - 91с.
31. Дворецкий, А.И. Запорожское водохранилище. / А.И. Дворецкий, Ф.П. Рябов и др. – Изд-во Днепропетровского университета, 2000. – 169с.
32. Дзюбан, Н.А. Зоопланктон как показатель загрязнения водохранилищ / Н.А. Дзюбан, С.П. Кузнецова // Гидробиол. журнал. 1978. Т. 14, № 1. С. 42-48.
33. Дзюбан, Н.А. О гидробиологическом контроле качества воды по зоопланктону / Н.А. Дзюбан, С.П. Кузнецова // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям: Тр. Всесоюз. конф. Москва, 1-3 ноября 1978 г. Л.: Гидрометеиздат. 1981. С. 160-166.
34. Долгов, Г.И. Биологические исследования водоемов / Г.И. Долгов // Гидробиологические основы самоочищения вод. Л., 1976. С. 112-123.
35. Долгов, Г.И. Гидробиологические методы исследования / Г.И. Долгов, Я.Я. Никитинский // Стандартные методы исследования питьевых и сточных вод. М.: Мосполиграф, 1927. С. 1-76.
36. Долгов, Г.И. Изменения и дополнения к списку сапробных организмов Кольквитца и Марссона / Г.И. Долгов // Русский гидробиол. журнал. Саратов, 1926. Т. 5, № 5-6. С. 91-104.

37. Долгопольская, М.А. Биологические исследования как основа для изыскания, разработки и повышения эффективности средств защиты от обрастания. /М.А. Долгопольская. –сб.«Биологические основы борьбы с обрастанием». – Киев, «Наукова думка», 1973.с.5 – 26.
38. Долгопольская, М.А. Биологические механизмы действия основных ядов противообрастаемых красок. /М.А. Долгопольская, С.А. Горомосова и др. –сб. «Биологические основы борьбы с обрастанием». Киев. «Наукова думка». 1973. – с.194 – 202.
39. Долина, Л.Ф. Реакторы для очистки сточных вод./ Л.Ф. Долина. – Днепропетровск, Изд-во «Стандарт», 2001. – 82с.
40. Драчев, С.М. Изменения химического состава и свойств воды р. Москвы в связи с загрязнением и процессами самоочищения. / С.М. Драчев. Л.: Наука, 1968.
41. Драчев, С.М. Борьба с загрязнением рек, озер и водохранилищ промышленными и бытовыми стоками./ С.М. Драчев. М.: Наука, 1964.
42. Драчев, С.М. Приемы санитарного изучения водоемов. / С.М. Драчев, А.С. Разумов, Б.А. Скопинцев, Н.М. Кабанов. М.: Медгиз, 1960.
43. Жадин, В.И. Донные биоценозы реки Оки и их изменения за 35 лет. Некоторые изменения в фауне Оки / В.И. Жадин // Загрязнение и самоочищение реки Оки. 1964. С. 226-288.
44. Жадин, В.И. Проблемы санитарной гидробиологии внутренних водоемов / В.И. Жадин // Санитарная и техническая гидробиология. Материалы I съезда Всесоюз. гидробиол. об-ва. М.: Наука, 1967. С. 5-18.
45. Жукинский, В.Н Принципы и опыт построения экологической классификации качества поверхностных вод суши / В.Н. Жукинский, О.П. Окснюк, Г.Н.Олейник, С.И. Кошелева // Гидробиол. журн. 1981. 17, № 2. С. 38-39.
46. Захаров, Н.Г. О сапробной характеристике некоторых показателей загрязнения / Н.Г. Захаров // Тр. совещания по очистке сточных вод. 1930. 12. С.104-106.
47. Зинченко, Т.Д. Хирономиды - основная группа фауны обрастаний Учинского водопроводного канала и некоторые вопросы биоиндикации качества вод / Т.Д. Зинченко // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям: Тр. Всесоюз. конф. Москва, 1 - 3 ноября 1978 г. Л.: Гидрометеиздат, 1981. С. 183-193.
48. Иванова, Г.Г. Санитарная гидробиология с элементами водной токсикологии: Учеб. пособие. /Г.Г. Иванова. Изд-во Иркутского ун-та, 1982. 80 с.
49. Израэль, Ю.А. Гидробиологическая служба наблюдений и контроля водной среды в СССР/ Ю.А. Израэль, Н.К. Гасилина, А.В. Абакумов, А.В. Цыбань // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям: Тр. Всесоюз. конф. Москва, 1 - 3 ноября 1978 г. Л.: Гидрометеиздат, 1981. С. 7-15.
50. Ильин, И.Н. Океаническое обрастание в тропической зоне Атлантического и Индийского океанов./ И.Н. Ильин– Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. Биол. Наук. Москва, 1983. – 21с.
51. Когановский, А.М. Очистка промышленных сточных вод./ А.М. Когановский, Л.А. Кульский и др. –Киев, изд-во «Техника», 1974. –258с.
52. Козицкая, В.Н. Фенольные соединения в «пятнах цветения» водорослей / В.Н. Козицкая // Биологическое самоочищение и формирование качества воды. М.: Наука, 1975. С. 81-84.
53. Козлова, Н.М. Процессы бактериологического самоочищения в нижнем течении р. Москвы / Н.М. Козлова, Э.Е. Храмова // Процессы загрязнения и самоочищения р. Москвы. М.: Стройиздат, 1972.

54. Ларионов, Ю.А. Некоторые показатели лабильности и стойкости органического вещества взвесей озер разной степени трофности / Ю.А. Ларионов, Б.А. Скопинцев // Инф. бюлл. ИБВВ АН СССР. 1975. № 27.
55. Лесников, Л.А. Особенности рыбохозяйственной оценки влияния загрязнений на водоемы по гидробиологическим данным / Л.А. Лесников // Материалы XIV конф. по изучению внутренних водоемов Прибалтики. Рига: Зинатне, 1968. Т. 2. С. 87-91.
56. Макрушин, А.В. Биологический анализ качества вод / Под ред. Г.Г. Винберга. Л.: Изд-во ЗИН АН СССР, 1974. 60 с.
57. Макрушин, А.В. Сравнительная оценка методов Пантле и Букка в модификации Сладчека и Зелинки и Марвана для определения степени загрязнения по зоопланктону/ А.В. Макрушин, Л.А. Кутикова // Методы биологического анализа пресных вод. Л.: Изд-во ЗИН АН СССР, 1976. С. 90-94.
58. Методические указания № 40 по организации системы наблюдения и контроля над загрязнением морей и устьев рек. –М.: Гидрометеиздат, 1978. –13с.
59. Миронов, О.Г. Морская санитарная гидробиология и медицинская океанография./ О.Г. Миронов.–Экология моря, № 47, 1998. с. 75 –78.
60. Миронов, О.Г. Проблема самоочищения и гидробиологический метод борьбы с загрязнением морской среды / О.Г. Миронов // Биологическое самоочищение и формирование качества воды. М.: Наука, 1975. С. 19-22.
61. Михайлов, С.Р. Обрастание судов промыслового и транспортного флотов. / С.Р. Михайлов. - Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. Биол. Наук. Владивосток, 1985. –25с.
62. Можаяев, Е.А. Загрязнение водоемов поверхностно-активными веществами (Санитарно-гигиенические аспекты). / Е.А. Можаяев. М.: Медицина, 1976. 124 с.
63. Мордухай-Болтовской, Ф.Д. Тепловые электростанции и жизнь водоемов / Ф.Д. Мордухай-Болтовской // Природа. 1975. № 1. С. 57-66.
64. Накани, Д.В. Действие цинка, хрома и кадмия на интенсивность фотосинтеза в краткосрочных экспериментах: Научные доклады высшей школы. Биологические науки./ Д.В. Накани, М.Н. Корсак. 1976. № 9. С. 23-28.
65. Никитинский, Я.Я. Гидробиология и санитария/ Я.Я. Никитинский // Русский гидробиол. журнал. 1922. Т. 1, № 3. С. 88-90.
66. Никитинский, Я.Я. К вопросу об очистке сточных вод бумажной промышленности биологическим методом / Я.Я. Никитинский // Материалы по очистке сточных вод бумажной промышленности: Тр. центр. комитета водоохран. 1928. № 7. С. 100-103.
67. Никитинский, Я.Я. Некоторые итоги в области санитарно-технической гидробиологии / Я.Я. Никитинский // Микробиология. 1938. № 7 (1). С. 3-35.
68. Никитинский, Я.Я. Роль биологического исследования в санитарной оценке водоемов и выборе источников водоснабжения городов, сел, фабрик, и других поселков. / Я.Я. Никитинский. М., 1914. С. 22.
69. Никулина, В.Н. Опыт использования разных методов оценки степени загрязнения вод по альгофлоре / В.Н. Никулина // Методы биологического анализа пресных вод. Л.: Изд-во ЗИН АН СССР, 1976. С. 38-58.
70. Оксуюк, О.П. Количественная оценка формирования некоторых показателей качества воды в водотоках / О.П. Оксуюк, Ф.В. Стольберг // Гидробиол. журн. 1988. Т. 24, № 5. С. 23-29.
71. Оксуюк, О.П. Оценка состояния водных объектов Украины по гидробиологическим показателям. 1. Планктон / О.П. Оксуюк, Г.А. Жданова, С.Л. Гусынская, Т.В. Головка // Гидробиол. журн. 1994. Т. 30, № 3. С. 26-31.
72. Оксуюк, О.П. Оценка состояния водных объектов Украины по гидробиологическим показателям. Бентос, Перифитон и Зоофитос / О.П. Оксуюк, Л.Н. Зимбалевская, А.А.

- Протасов, Ю.В. Плигин, А.В. Ляшенко // Гидробиол. журнал. 1994. Т. 30, № 4. С. 31-35.
73. Оксуюк, О.П., Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод / О.П.Оксуюк, В.Н. Жукинский, Л.П. Брагинский, П.Н. Линник, М.И. Кульменко, В.Г. Кленус // Гидробиол. журнал. 1993. Т. 29, № 4. С. 62-76.
74. Охапкин, А.Г. Оценка сапробности Волгоградского водохранилища по фитопланктону/ А.Г.Охапкин, Г.В.Кузьмин // Гидробиол. журнал. 1978. Т.44, № 3. С. 44-48.
75. Паркс, Э.А. Руководство к практической гигиене, составленное преимущественно для употребления в военно-медицинской службе./ Э.А. Паркс. СПб., 1869. С. 460.
76. Пасичный, А.П. Анализ и оценка процессов самоочищения водной среды / А.П.Пасичный, И.М. Величко, А.И. Мережко // Гидробиол. журнал. 1994.Т. 30, № 3. С. 32-39.
77. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: Санитарные правила и нормы (СанПиН 2.1.4.559-96). М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996. 111 с.
78. Поливанная, М.Ф. Об использовании организмов зоопланктона в биоиндикации качества вод / М.Ф. Поливанная, О.А. Сергеева // Гидробиол. журнал. 1978.Т. 14, № 3. С. 48-53.
79. Полтаруха, О.П. Об изучении сукцессии сообщества обрастания на противоположающихся покрытиях./ О.П. Полтаруха.– Экология моря, № 52, 2000. – с.39 – 44.
80. Попченко, В.И. Закономерности изменения сообщества донных беспозвоночных в условиях загрязненной природной среды / В.И. Попченко // Научные основы биомониторинга пресноводных систем: Тр. советско-французского симпозиума. Астрахань, СССР, 9-12 сентября 1985 г. Л.:Гидрометеиздат, 1988. С. 135-140.
81. Рамад, Ф. Основы прикладной экологии. Воздействие человека на биосферу. / Ф. Рамад. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 543 с.
82. Родина, А.Г. О распространении серобактерий в пресных водах и месте их в системе показательных организмов Кольквитца и Марссона / А.Г. Родина // Микробиология. 1961. № 30 (6). С. 1080-1083.
83. Россолимо, Л.Л. Антропогенное этрофирование водоемов / Л.Л. Россолимо // Общая экология, биоценология, гидробиология. М.: Изд-во ВИНТИ,1975. Т. 2. С. 8-60.
84. Россолимо, Л.Л. Антропогенное этрофирование водоемов, его сущность и задачи исследования / Л.Л. Россолимо // Гидробиол. журнал. 1971. Т. 7, № 3.
85. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. проф. В.А. Абакумова. СПб.: Гидрометеиздат, 1992.
86. Самоочищение и диффузия во внутренних водоемах. Новосибирск: Наука, 1980. 192 с.
87. Санитарная и техническая гидробиология. Материалы I съезда ВГБО. – М.:«Наука», 1967. – 178с.
88. Семерной, В.П. Об индикаторном значении *Aulophorus furcatus* (Muller) (*Oligochaeta, Naididae*) / В.П. Семерной // Проблемы экологии Прибайкалья: Тезисы докладов к Всесоюзной научной конференции. Иркутск, 19-22 октября 1982 г. III. Мониторинг сообществ водных животных. Иркутск,1982. С. 55.
89. Семерной, В.П. Организация и результаты гидробиологического мониторинга в устье р. Северная Двина / В.П. Семерной., О.Г. Воробаева, Н.В. Верховцева, О.В. Верина, А.В. Еремейшвили // Проблемы охраны природы:Тез. докл. Байкальск, 1984. С. 72-74.

90. Семерной, В.П. Санитарная гидробиология: Учеб. пособие по гидробиологии. 2-е изд., перераб. и доп. Яросл. гос. ун-т. / В.П. Семерной. Ярославль, 2002. 147 с.
91. Синельников, В.Е. Механизм самоочищения водоемов. / В.Е. Синельников. М.:Стройиздат, 1980. 111 с.
92. Синельников, В.Е. О происхождении перекиси водорода, содержащейся в воде открытых водоемов / В.Е. Синельников, В.И. Демина // Гидрохимические материалы. 1974. Т. 60.
93. Сиренко, Л.А. «Цветение» воды и эвтрофирование. / Л.А. Сиренко, М.Я. Гавриленко. Киев: Наукова думка, 1978. 232 с.
94. Сиренко, Л.А. Эвтрофирование континентальных водоемов и некоторые задачи по его контролю / Л.А. Сиренко // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям: Тр. Всесоюз. конф. Москва, 1 - 3 ноября 1978 г. Л.: Гидрометеиздат, 1981. С. 137 - 153.
95. Соколова, Н.Ю. Фауна обрастаний водоводов Учинского водохранилища как индикатор качества воды и ее изменения в зависимости от гидрологического режима / Н.Ю.Соколова, Т.Д.Зинченко, А.А. Львова // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям: Тр.Всесоюз. конф. Москва, 1 - 3 ноября 1978 г. Л.: Гидрометеиздат, 1981.С. 175-182.
96. Строганов, Н.С. Допустимые уровни загрязнения водоемов / Н.С. Строганов // Влияние загрязняющих веществ на гидробионтов и экосистемы водоемов: Материалы двух советско-американских симпозиумов. Л.: Наука,1979. С. 9-16.
97. Строганов, Н.С. Химизация и вопросы водной токсикологии/ Н.С. Строганов //Зоол. журнал. 1964. № 43 (12). С.1737-1752.
98. Сысин, А.Н. Внешняя среда как предмет изучения гигиены / А.Н. Сысин // Загрязнение и самоочищение внешней среды. М.: Изд-во АМН, 1949.С. 23-39.
99. Сысин, А.Н. Санитарная охрана водоемов и критерий вредности / А.Н. Сысин // Гигиена и санитария, 1949. № 12. С. 18-24.
100. Танкевич, П.Б. «Санитарная и техническая гидробиология»: Конспект лекций для студентов специальности 6.130.300 «Водные биоресурсы» дневной формы обучения / П.Б. Танкевич. – Изд-во.: Керченский государственный морской технологический университет, 2008.-79 с.
101. Тарзвелл, К.М. Краткая история исследований загрязнения вод в США / К.М. Тарзвелл // Влияние загрязняющих веществ на гидробионтов и экосистемы водоемов: Материалы двух светско-американских симпозиумов. Л.:Наука, 1979. С. 17-39.
102. Телитченко, М.М. Растворенное органическое вещество и биологическая полноценность воды./ М.М. Телитченко, В.И. Чернышев // Физиологически активные соединения биогенного происхождения. М.: Изд-во МГУ, 1971.С. 6-7.
103. Телитченко, М.М., Кокин К.А. Санитарная гидробиология: Руководство к практикуму./ М.М. Телитченко, К.А. Кокин М.: Изд-во МГУ, 1968.
104. Термальное загрязнение водоемов и влияние повышенных температур на водные организмы // Рыбохозяйственное использование внутренних водоемов. 1973. Вып. 3.
105. Топачевский, А.В. «Цветение» воды как результат нарушения процессов регуляции в гидробиоценозах / А.В. Топачевский, Я.Я. Цееб, Л.А. Сиренко, А.И. Макаров // Биологическое самоочищение и формирование качества воды. М.: Наука, 1975. С. 41-49.
106. Требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников: Санитарные правила (СанПиН 2.1.4.544-96). М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996. 26 с.

107. Федий, С.П. Влияние промышленных сточных вод на видовой состав, численность и биомассу фитопланктона пресных водоемов / С.П. Федий, А.В. Мисюра // Биологическое самоочищение и формирование качества воды. М.: Наука, 1975. С. 85-88.
108. Федоров, В.Д. Загрязнение водных экосистем (принципы изучения и оценка действия). / В.Д. Федоров. М.: Наука, 1980. С. 21-38.
109. Хлебович, Т.В. Роль инфузорий в процессе самоочищения водоема / Т.В. Хлебович // Гидробиологические основы самоочищения вод. Л.: Зоологический институт АН СССР, 1976. С. 25-29.
110. Хоботьев, В.Г. Детоксикация вод, содержащих тяжелые металлы, хлорококковыми водорослями / В.Г. Хоботьев // Биологическое самоочищение и формирование качества воды. М.: Наука, 1975. С. 62-63.
111. Хоботьев, В.Г. Роль гидробионтов в концентрировании тяжелых металлов из промышленных водоемов. Теория и практика биологического самоочищения загрязненных водоемов. / В.Г. Хоботьев, В.И. Капков. М.:Наука, 1972. С. 70-73.
112. Цееб, Я.Я. Исследования по антропогенному евтрофированию пресных водоемов в СССР / Я.Я. Цееб, Ю.А. Чугунов // Круговорот веществ и биологическое самоочищение водоемов. Киев: Наукова думка, 1980. С.39-53.
113. Цыбань, А.В. Микробиологическая индикация качества морской среды/ А.В. Цыбань, Н.Г. Теплинская, М.Ю. Пфейфере, С.П. Барина // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям: Тр. Всесоюз. конф. Москва, 1 - 3 ноября 1978 г. Л.: Гидрометеиздат, 1981. С. 90-109.
114. Черепанов, В.В. Об экологической классификации качества поверхностных вод суши/ В.В. Черепанов // Гидробиол. журнал. 1983. Т. 19, № 2. С. 56-59.
115. Черкинский, С.Н. Критерий вредности в проблеме санитарной охраны водоемов/ С.Н.Черкинский // Гигиена и санитария. 1949. № 3. С. 3-10.
116. Шилькрот, Г.С. Роль культурных почв в поступлении в озера биогенных веществ / Г.С. Шилькрот // Второе совещание по вопросам круговорота веществ и энергии в озерных водоемах. Ч. 2. Новосибирск: СО АН СССР, 1969.
117. Якубовский, К.Б. Накопление высшими водными растениями элементов минерального питания / К.Б. Якубовский, А.И. Мероежко, Н.П. Нестеренко // Биологическое самоочищение и формирование качества воды. М.:Наука, 1975. С. 5-9.
118. Яшнов, В.А. Практикум по гидробиологии. / В.А. Яшнов. М.: «Высшая школа», 1969. – 428с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.	3
Лекция 1. Цель, задачи, предмет и история становления санитарной гидробиологии.	
Основные понятия, определения, термины	4
Вопросы для самоконтроля	8
Список литературы	8
Лекция 2. Методология и методы санитарной гидробиологии	9
Вопросы для самоконтроля	12
Список литературы	12
Лекция 3. Вода в природе. Состояния воды. Физические, химические и биологические показатели качества воды	13
Вопросы для самоконтроля	18
Список литературы	18
Лекция 4. Система сапробности водоемов и ее развитие.	20
Вопросы для самоконтроля	25
Список литературы	25
Лекция 5. Проблема загрязнения водоемов. Минерализационная работа гидробионтов.	26
Вопросы для самоконтроля	36
Список литературы	36
Лекция 6. Евтрофирование водоемов. Типы и источники загрязнений водоемов. Естественное и антропогенное евтрофирование и их последствия.	38
Вопросы для самоконтроля	44
Список литературы	44
Лекция 7. Самоочищение водоемов. Механизм самоочищения. Распределение веществ. Биологическое самоочищение. Использование веществ организмами. Биотический круговорот в водоеме. Роль гидробионтов в процессах самоочищения. Физико-химический механизм самоочищения. Методические основы оценки самоочищения. 45	
Вопросы для самоконтроля	59
Список литературы	59
Лекция 8. Биологическая индикация качества вод. Биотические индексы. Биоценологические индексы или оценка качества воды по показательным микроорганизмам. Индексы сапробности. Индексы сходства видового состава.	61
Вопросы для самоконтроля	75
Список литературы	75
Лекция 9. Гидробиологический мониторинг. Методы биоиндикации. Гидробиологический анализ сточных вод.	77
Вопросы для самоконтроля	80
Список литературы	80
Лекция 10. Очистка сточных вод. Механическая, физико-химическая и биологическая очистка сточных вод. Реакторы для очистки сточных вод.	82
Вопросы для самоконтроля	92
Список литературы	92
Лекция 11. Техническая гидробиология. Основные понятия и методы технической гидробиологии.	94
Вопросы для самоконтроля	95
Список литературы	95
Список использованных источников литературы	100