

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра зоологии, генетики и общей экологии

Ю. Л. Герасимов

САНИТАРНАЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ГИДРОБИОЛОГИЯ

*Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Самара
Издательство «Самарский университет»
2014

УДК 577.472
ББК 28.082
Г37

Рецензенты : д-р биол. наук, проф. Л. М. Кавеленова,
канд. биол. наук, науч. сотрудник О. В. Мухортова

Герасимов, Ю. Л.
Г37 Санитарная и техническая гидробиология : учебное пособие /
Ю. Л. Герасимов. – Самара: Издательство «Самарский универси-
тет», 2014. – 48 с.

В учебном пособии рассмотрены предметы, цели, задачи и методы санитарной и технической гидробиологии. Основное внимание уделено подготовке компетентных специалистов для организаций, занимающихся эксплуатацией и охраной водных ресурсов.

Предназначено для студентов-бакалавров при изучении ими дисциплин специализации «Гидробиология общая и частная» и «Санитарная и техническая гидробиология» и подготовке к практическим занятиям по данным дисциплинам. Рекомендуется также для студентов биологических факультетов университетов и других вузов, где изучается курс общей гидробиологии.

УДК 577.472
ББК 28.082

© Герасимов Ю.Л., 2014
© ФГБОУ ВПО «Самарский
государственный университет»,
2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Глава 1. Качество воды	4
1.1. Качество воды	5
1.2. Критерии качества воды	6
Глава 2. Водопотребление	11
2.1. Масштабы потребления воды	11
2.2. Структура водопотребления	12
2.3. Запасы пресных вод	14
Глава 3. Биологическое самоочищение водоемов	15
3.1. Понятие биологического самоочищения водоемов	15
3.2. Вклад различных гидробионтов в самоочищение	17
3.2.1. Роль микроорганизмов в биологическом самоочищении	17
3.2.2. Роль растений в биологическом самоочищении	18
3.2.3. Роль животных в биологическом самоочищении	19
Глава 4. Биоиндикация	21
4.1. Принципы биоиндикации	21
4.2. Система сапробности Р. Кельквитца и М. Марссона	23
4.3. Совершенствование системы сапробности Р. Кельквитца и М. Марссона	25
4.4. Индексы загрязнения	28
4.5. Другие критерии оценки состояния водоемов	33
Глава 5. Техническая гидробиология	35
5.1. Обрастание	35
5.2. Основные группы организмов – обрастателей	36
5.3. Ущерб от обрастания	38
5.4. Методы борьбы с обрастаниями	39
5.5. Другие аспекты технической гидробиологии	42
Библиографический список	45

ВВЕДЕНИЕ

Нехватка чистой пресной воды – одна из основных проблем человечества. В ряде регионов воды не хватало всегда, но в XX веке это стало происходить на все больших территориях. Связано это и с аридизацией, и с ростом потребления воды, и с увеличением масштабов загрязнения водоемов. До середины XX века потребление чистой воды непрерывно росло, но доступные запасы быстро сокращались. переброска больших объемов воды из одних регионов в другие и рост использования подземных вод уже не могут компенсировать все возрастающий дефицит воды.

Исследования, впервые начатые в России еще в XIX веке, показали, что чистая вода – это результат нормального функционирования

пресноводных экосистем. В настоящее время расширяются масштабы мероприятий по защите водоемов от загрязнения, а водных биоценозов – от деградации.

ГЛАВА 1. КАЧЕСТВО ВОДЫ

Санитарная гидробиология является одним из разделов прикладной гидробиологии. Водоемы рассматриваются как целостные экосистемы, при функционировании которых появляются и перерабатываются загрязнения, происходит формирование качества воды.

В рамках санитарной гидробиологии разрабатываются основы охраны вод от загрязнений, в том числе предотвращение загрязнения чистых водоемов и оздоровление загрязненных водоемов. Одна из важнейших задач санитарной гидробиологии – разработка теории биологического самоочищения и её применения на практике, т. е. уменьшение загрязнения воды в результате жизнедеятельности гидробионтов, процессы трансформации и ликвидации загрязнителей. Данные о процессах очистки воды гидробионтами используются в разработке установок биологической очистки сточных вод. Исследуется также влияние физико-химических факторов на жизнедеятельность очищающих воду гидробионтов.

Все исследования в рамках санитарной гидробиологии проводятся с позиций охраны здоровья людей.

В России первые серьезные исследования качества воды начались в 1863 г. в г. Казани, где Н.П. Вагнер обследовал состояние озер Черное и Кабан. В 1891-1893 гг. О. Грумм и А.М. Никольский начали изучать загрязнение Волги и северной части Каспийского моря нефтью. В 1912 г. создан Временный комитет по изысканию и охране водоемов от загрязнения сточными водами (с 1918 г. – Центральный комитет водоохранения).

В 1967 г. В.И. Жадин предложил программу санитарно-гидробиологических исследований:

– периодическое картирование качества воды по физико-химическим и биологическим признакам;

- разработка экспресс-методов определения качества воды на основе биологических показателей;
- исследования экологии гидробионтов в чистых водоемах;
- исследования физиологии и экологии гидробионтов, изменения их под влиянием токсикантов и сточных вод;
- полевое и лабораторное изучение процессов самоочищения водоемов.

1.1. Качество воды

Качество воды – это социально-экономическая категория. Водоем считается загрязненным, если показатели состава и свойств воды в них изменились под прямым или косвенным влиянием хозяйственной деятельности и стали частично или полностью непригодны для одного из видов водопользования. Критерии качества воды неодинаковы у разных водопользователей (т.е. всех, кто использует воду). Нередко качество воды определяют только по требованиям основного водопользователя.

Чистой водой можно считать пресную воду без взвеси (прозрачную). Из воды для охлаждения агрегатов не должен выпадать осадок в трубках теплообменников, и не должно быть организмов, способных поселиться на стенках этих трубок. В воде для химических и биотехнологических процессов не должно быть ни взвеси, ни растворенных веществ, для этого воду дистиллируют по 2-3 раза или очищают в ионообменных колонках. Стоимость получения сверхчистой воды очень велика. В питьевой воде не должно быть взвесей, микроорганизмов, токсичных веществ, у нее не должно быть неприятных вкуса и запаха, окраски, но должны присутствовать в определенных концентрациях более 20 растворенных минеральных солей. Очистка питьевой воды также обходится недешево: в США для очистки воды расходуют в год более 6 млн. т реагентов стоимостью более 4 млрд. долларов.

Биологически полноценная (питьевая) вода должна обеспечивать нормальное прохождение биохимических и физиологических процессов в организме, на базе которых поддерживается их нормальное существование и наследственность. Человек, как биологический вид, сформировался в ходе длительной эволюции, в ходе которой его предки использовали для питья воду из природных водоемов. В эти водоемы поступали из донных грунтов, с берегов и из атмосферы разнообразные вещества, много органических веществ попадало в водоемы в результате жизнедеятельности организмов и при разложении их трупов и отходов. Химический состав воды в каждом водоеме своеобразен, т.к. является продуктом функционирования сложного уникального сообщества. В биологически полноценной воде содержатся различные растворенные вещества: ионы солей, микроэлементы, спирты, сахара, липиды, спирты, аминокислоты, белки, витамины и многие другие органические и неорганические вещества. Люди, как и другие животные, приспособились потреблять такую воду. Вода пригодная для питья в разных регионах сильно различается по химическому составу и на вкус, и все же является биологически полноценной, а дистиллированная действует на организм неблагоприятно.

но. Одной из наилучших для питья считается родниковая вода, профильтрованная при прохождении через минеральные пласты. Она содержит очень мало взвешенных частиц, но в ней всегда есть растворенные вещества, иногда в достаточно высокой концентрации (минеральные воды). В ряде водоемов вода для питья не пригодна, т.к. содержит слишком много неорганических веществ (соленая, жесткая), или органических веществ (в ней размножаются микроорганизмы, придающие воде неприятные вкусы и запахи, а также болезнетворные). Сильные различия химического состава биологически полноценной воды затрудняют разработку единых требований к ее качеству. Отдельные физические и химические показатели только обозначают границы, при превышении которых вода становится непригодной для употребления. Применять эти показатели можно только комплексно.

В СССР был разработан ГОСТ на питьевую воду, который применяется в России и в настоящее время. В ГОСТ включены физические показатели (температура, электропроводность, содержание взвеси, цвет, вкус и запах); химические показатели (жесткость, кислотность, щелочность, окисляемость, сухой и прокаленный остаток, ионный состав и т.д.) и биологические показатели (численность бактерий, водорослей и других организмов).

В настоящее время действует Постановление № 24 от 26 09 2001 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». В нём приведён список веществ, контролируемых в питьевой воде, и их допустимых концентраций.

1.2. Критерии качества воды

Концентрация растворенного кислорода

Это важнейший показатель состояния водоема. Кислород необходим для дыхания водных организмов, но он расходуется и на реакции окисления растворенных органических веществ. Поэтому при загрязнении водоема концентрация растворенного кислорода уменьшается и может начаться замор. Разница между максимально возможной концентрацией растворенного кислорода (она зависит от температуры) и реальной его концентрацией называется дефицитом кислорода. Допустимая минимальная концентрация растворенного кислорода – 4 мг/л в любое время года до 12 часов дня. Разработаны формулы, позволяющие рассчитать через сколько суток концентрация растворенного кислорода станет минимальной.

Биологическое потребление кислорода (БПК)

Характеризует интенсивность дыхания микроорганизмов, количество которых зависит от концентрации растворенных органических веществ. Измеряется БПК в миллиграммах растворенного кислорода, оставшегося в 1 л воды через определенный промежуток времени (обычно через 5 суток или 20 суток). Экспериментально установлено, что примерно за 20 суток микроорга-

низмы полностью перерабатывают растворенные органические вещества, затем в воде начинают накапливаться нитриты и нитраты. БПК₂₀ (полное БПК) используется в нашей стране с 1975 г. Для определения БПК пробу воды отстаивают, разбавляют чистой водой (чтобы внести дополнительное количество кислорода), определяют концентрацию кислорода, наливают воду в герметически закрывающийся сосуд и помещают на 20 суток в термостат при температуре +20⁰С. Через 20 суток снова измеряют концентрацию растворенного кислорода и вычитают её из первоначальной – разность и есть величина БПК.

Для питьевой воды величина БПК₂₀ не должна превышать 3 мг/л, для воды культурно-бытового назначения – не более 6 мг/л.

Существуют быстрые методы определения БПК. Манометрический метод – по изменению давления в сосуде в течение 1 суток. Метод прокачки пробы воды через колонку с фиксированной биомассой микроорганизмов и метод внесения в пробу адаптированного активного ила позволяют определить БПК за 1 час. Метод с использованием микробиологического датчика требует всего 30 минут.

Химические токсиканты в водоемах подавляют развитие микроорганизмов, в результате БПК не отражает реального содержания растворенных органических веществ в воде химически загрязнённых водоёмов. Существует определенное соотношение между величиной БПК и концентрацией хлорофилла в водоеме, однако оно также соблюдается только в водоемах не загрязненных химическими токсикантами.

Химическое потребление кислорода (ХПК)

Это количество кислорода, необходимое для полного окисления всех веществ-восстановителей, содержащихся в воде. Для ускорения процедуры вместо кислорода применяют более сильные окислители: KMnO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, KJ , Cl_2 . Используют процедуру титрования: в пробу воды вносят индикатор, затем при перемешивании добавляют один из вышеперечисленных окислителей до изменения окраски индикатора. После этого по формулам пересчитывают израсходовавшееся количество окислителя на количество кислорода.

Величина pH

В воде растворены соли Ca^{2+} и Mg^{2+} (карбонаты и гидрокарбонаты) и ионы угольной кислоты. В воде водоемов существует ионное равновесие, и величина pH обычно составляет около 7 единиц, с небольшими суточными и сезонными колебаниями. Кислые или щелочные стоки промышленных предприятий могут сдвигать ионное равновесие в водоеме. В воде кислые стоки вступают в реакцию с карбонатами (CaCO_3) или бикарбонатами ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) с выделением CO_2 . Щелочные стоки реагируют с ионами угольной кислоты (HCO_3^-). Изменение величины pH можно рассчитать по формуле:

$$\text{pH} = 6,52 + \lg (\text{HCO}_3^-) - \lg \text{CO}_2.$$

Величины концентраций HCO_3^- и CO_2 можно выражать в мг/л. Однако в санитарной гидробиологии кислотность чаще выражают в мл нормального раствора кислоты, а щелочность – в мл нормального раствора щелочи.

Для питьевой воды величина рН от 6,5 до 8,5. Если в водоеме много фитопланктона, то пробы воды следует отбирать не позже 10-12 часов дня и при непрямом освещении.

Температура воды

Этот показатель контролируют в водоемах, в которые поступают горячие сточные воды ТЭС, АЭС и промышленных предприятий. Летняя температура воды в таких водоёмах не должна повышаться более чем на 3⁰С по сравнению со среднемесячной температурой самого жаркого месяца года за последние 10 лет.

Взвешенные вещества

Количество взвеси во всех водоемах разное, зависит от типа грунта, скорости течения и т.д. В промышленных стоках взвеси обычно немного. В стоках обогатительных фабрик содержание взвеси доходит до нескольких грамм в литре. В бытовых стоках содержание взвеси достигает 50 г на 1 человека в сутки. Содержание взвеси в водоемах питьевого водоснабжения при сбросе сточных вод не должно увеличиваться более чем на 0,25 мг/л, в рекреационных водоемах – более чем на 0,75 мг/л. Если содержание природной взвеси более 30 мг/л, допускается увеличение содержания на 5 %. Скорость выпадения взвеси не должна превышать 0,4 мм/с в проточных водоемах и 0,2 мм/с в стоячих.

Плавающие вещества

Это нефть и нефтепродукты, минеральные масла, кремы, создающие пленки на поверхности воды. Можно визуально определять загрязнение водоемов нефтью (табл. 1).

Таблица 1

Шкала оценки наличия пленок плавающих веществ в водоемах

Балл	Значение
1	Нет пленок и пятен
2	Отдельные пятна и сырые пленки на поверхности воды
3	Пятна и ирридирующие пленки на поверхности воды, отдельные промазки нефти по берегам и прибрежной растительности. Купание неприятно.
4	Пятна и пленки покрывают большую часть поверхности воды, берега и прибрежная растительность испачканы. Купание невозможно.
5	Поверхность воды покрыта нефтью, видимой во время волнения, берега береговые сооружения испачканы. Купание невозможно.

Разработана также (Лисовский, 1986) шкала визуального определения количества разлитой нефти по цвету нефтяной пленки (табл. 2).

Таблица 2

**Шкала оценки количества нефти в водоемах
по параметрам плавающей пленки**

Визуальные показатели пленки	Толщина пленки	Концентрация
Пленка видна при благоприятном освещении	0,038 мкм	44 л/км ²
Серебристый блеск на поверхности воды	0,076 мкм	88 л/км ²
Радужные блики на поверхности воды	0,152 мкм	176 л/км ²
Яркие радужные разводы	0,305 мкм	351 л/км ²
Темные радужные разводы	1,016 мкм	1168 л/км ²
Радужные разводы затемнены	2,023 мкм	2337 л/км ²

Для водоемов питьевого водоснабжения загрязнение не должно превышать 1-2 балла. Не должны обнаруживаться плавающие пленки и пятна.

Токсические вещества

Токсические вещества не должны содержаться в питьевой воде в концентрациях, в которых они могут прямо или косвенно оказать вредное влияние на здоровье человека. Запрещается сброс в водоемы сточных вод с веществами, для которых не установлена ПДК.

Возбудители заболеваний

Вода водоемов любого типа водопользования не должна содержать возбудителей заболеваний. Для характеристики микробиологического состояния водоемов используют несколько показателей.

Микробное число – общее количество микроорганизмов в 1 л воды. Для его определения пробу воды высевают на стандартную среду (мясопептонный агар) и инкубируют 48 часов при температуре +20⁰С или 24 часа при температуре +37⁰С. Затем подсчитывают число образовавшихся колоний. Чем сильнее загрязнена вода, тем больше в ней содержится микроорганизмов и тем вероятнее присутствие патогенных форм.

Коли-титр – наименьшее количество жидкости (миллилитров) или грунта (грамм) в котором содержится 1 кишечная палочка. Кишечная палочка устойчивее других микроорганизмов к действию факторов окружающей среды, поэтому, чем меньше в воде кишечных палочек, тем менее вероятно присутствие патогенных форм. Для питьевой воды коли-титр не должен быть более 300 мл. Определяют количество кишечных палочек посевом на среду Эндрю.

Коли-индекс – количество кишечных палочек в 1 л воды или в 1 кг грунта. Для питьевой воды он должен быть не более трех.

Вместо кишечных палочек в ряде стран используют энтерококка.

Органолептические показатели

Запахи

Для оценки запаха воды разработана шкала (табл. 3).

Таблица 3

Шкала запахов природной воды

Балл	Значение	Объяснение
0	Нет запаха	Отсутствует ощущение запаха
1	Очень слабый	Запах не ощущается потребителем, но обнаруживается в лаборатории
2	Слабый	Запах не привлекает внимание потребителя, но обнаруживается, если обратить на него внимание потребителя
3	Заметный	Запах легко обнаруживается и может сделать воду неприятной для питья
4	Отчетливый	Запах обращает на себя внимание потребителя и делает воду неприятной для питья
5	Сильный	Запах очень сильный и делает воду непригодной для питья

Основные запахи: ароматический, землистый, затхлый, болотный, рыбный, травяной и др. Запахи химических веществ обозначают по названиям этих веществ: фенольный, бензольный, керосиновый и др.

Вкусы

Основных вкусов 4: горький, кислый, соленый и сладкий. Остальные вкусовые ощущения называют привкусами. Вкусы оценивают по той же шкале.

Питьевая вода не должна приобретать запахов и привкусов интенсивностью более 2 баллов, обнаруживаемых непосредственно или после хлорирования. Вода не должна сообщать посторонних запахов и привкусов мясу рыб.

Цвет воды

Для определения цвета воды ее наливают в стеклянный цилиндр и смотрят на нее сверху. Окраска питьевой воды не должна обнаруживаться в ее столбике высотой 20 см, для других видов воды – 10 см.

ГЛАВА 2. ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ

2.1. Масштабы потребления воды

Водопотребление непрерывно растет всем мире. Вода необходима для удовлетворения биологических и культурно-бытовых потребностей (питья, приготовления пищи, мытья, стирки). В промышленности (химия, металлургия) вода требуется для охлаждения агрегатов, станков, реакторов, для промывки сырья и изделий. В горнодобывающей отрасли вода используется для гидродобычи и гидротранспорта сырья, в процессе флотации для получения сырьевых концентратов. Энергетике требуется очень много воды на охлаждения агрегатов на ТЭС и, особенно, АЭС, а также для обеспечения стабильной работы гидроэлектростанций.

В сельском хозяйстве вода потребляется для орошения полей (в 2000 – 70% всего сельскохозяйственного водопотребления), для промывки солончаков, на нужды животноводства и рыбоводства.

В 1985 г. в мире потребляли 4000 км^3 воды, в 2000 г. – 6000 км^3 . США в 1900 г. потребляли 6% своих запасов пресной воды, а в 1960 г. – уже 27%.

В СССР водопотребление в 1988 г. 365 км^3 (223 км^3 сельское хозяйство, 112 км^3 промышленность и 27 км^3 на нужды коммунального хозяйства). Следует учитывать, что 274 км^3 использовались неоднократно, а потери при транспортировке достигали 31 км^3 , т.е. реальное потребление воды достигало 660 км^3 . В РФ в 1988 г. потреблялось 115 км^3 пресной воды, в 1998 г. – 88 км^3 , причём потребление промышленностью уменьшилось с 71 до 53%.

В бассейне р. Волги расположено много промышленных центров, в 1987 г. водозабор достиг 112 км^3 , но затем уменьшился. На территории Самарской области в 2012 – 2006 гг. забор воды составлял $0,885 \text{ км}^3$ в год. Реально воды потребляют больше, чем указывается в официальных отчетах, т. к. существуют незарегистрированные водозаборы, особенно в сельской местности, дачных массивах, коттеджных поселках.

В ряде рек за счет создания водохранилищ изъятие воды иногда сопоставимо с объемом годового стока: в Днепре в конце 1980-х годов изымали 95% годового стока, поэтому на днепровских гидроэлектростанциях уменьшали, а в некоторые годы полностью прекращали сброс воды для поддержания уровня на нерестилищах - это вызвало сокращение уловов рыбы.

Выкачивание воды из рек значительно сократило поступление воды в моря. Среднегодовой сток Волги в 1941-55 гг. составлял $144 \text{ км}^3/\text{г}$; в 1958–70 гг. $110 \text{ км}^3/\text{г}$. Для нормального нереста осетровых рыб весенний сток Волги должен составлять $110\text{-}125 \text{ км}^3$, летний $60\text{-}65 \text{ км}^3$, а в маловодные 1970-е годы он был всего 56 км^3 . Это стало одной из причин понижения уровня Каспийского моря на 3 м и уменьшения площади моря на 40 тыс. км^2 . В Северном Каспии мелководья покрылись густыми зарослями, из-за которых не доходят до открытого моря биогенные элементы и органические вещества из рек Волги и Урала. Это вызвало уменьшение численности моллюсков дрейссены и абры, а затем

и питающейся ими воблы. В 10–100 раз сократились численность и уловы непроходных каспийских сельдей. Осолонение Северного Каспия между устьями рек Волги и Урала негативно сказалось на нагуле и миграциях осетровых и других проходных рыб. В 1980-е количество осадков увеличивалось, а водопотребление уменьшалось – к 1997 году уровень Каспийского моря восстановился, но разрушенные гидробиоценозы восстанавливаются очень медленно.

Речной сток составлял 12% объема Азовского моря, но изъятие из впадающих в море рек более 25 км³ воды в год привело к осолонению, в результате на нерестилищах судака, леща, тарани начала гибнуть почти вся икра. Резко сократилось поступление в Азовское море речного зоопланктона, после осолонения из Черного моря вселились медуза аурелия и гребневик мнемнописис, всё это значительно ухудшило кормовую базу промысловых рыб. В более соленой воде у леща и тарани замедлился рост. Уловы уменьшились с 310-420 тыс. т/г, до 57 тыс т/г, а доля ценных рыб в улове сократилась в 35 раз. В 1980-е годы вода Азовского моря распреснилась, но планктонные и бентосные сообщества изменились так сильно, что популяции ценных рыб не восстанавливаются. Для этого нужны десятилетия.

Из впадающих в Аральское море рек Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи выкачивали столько воды для орошения хлопковых полей, что в результате вода вообще перестала доходить до Аральского моря, оно сильно уменьшилось и разделилось на 2 части. Большинство промысловых рыб вымерло, ветры разносят соленую пыль с обсохшего морского дна по окрестностям.

2.2. Структура водопотребления

Структура водопотребления сильно различается в разных странах. В развивающихся странах больше расходуется воды на орошение, особенно в засушливых регионах. В промышленно развитых странах большая часть воды расходуется промышленностью и энергетикой. В США орошение потребляло 40% воды, промышленность и энергетика – 52%. Однако в разных регионах одного государства структура водопотребления может быть неодинаковой. В РФ энергетика потребляет 30% забираемой воды, в сельском хозяйстве расход воды на орошение стал меньше на 10%, коммунально-питьевое водопотребление к 1997 г. увеличилось с 9 до 19% и стабилизировалось (363 л/сут. на одного человека, но сюда входят и потери в сетях).

Производство большинства изделий требует прямо или косвенно определенного количества воды. Добыча 1 т. нефти – 10 м³ воды, 1 т стали – 20 м³ воды, 1 т бумаги – 200 м³ воды, 1 т сукна – 600 м³ воды, 1 т эцетатного шелка – 2600 м³ воды, 1 т пшеницы – 1500 м³ воды, 1 т капрона – 2600 м³ воды, 1 т лавсана – 4200 м³ воды, 1 т риса – 7600 м³ воды, 1 т хлопка – 10000 м³ воды. Выработка 1 млн. кВт/ч электроэнергии на ТЭС – 1,2 – 1,6 км³ /г, а на АЭС – 2,0-2,5 км³ /г. 1 млн. человек потребляют в сутки 0,2 км³ воды.

В эти цифры не включены потери воды при ее транспортировке и распределении. В СССР терялось 30-40% транспортируемой воды, в 1990 г. потеряли 48 км³ только в магистральных трубопроводах. Протечки трубопрово-

дов вызывают подтопление зданий, сооружений, дорог, просадки грунта, оползни и т.д. В затопленных подвалах усиливается коррозия металлических деталей каркаса, происходят короткие замыкания электропроводки, начинается размножение комаров. В Самарской области потери воды в сетях официально оцениваются в 7,96 млн. м³/г.

Уменьшить забор воды позволяет **оборотное водоснабжение** – вода после производственного цикла очищается и возвращается в систему. Оборотное водоснабжение уменьшает загрязнение водоемов. В РФ за 1970–85 гг. объем оборотного водоснабжения увеличился с 60 км³/г до 167 км³/г. В промышленно развитых странах оборотное водоснабжение используется очень широко – его стимулирует система оплаты забора воды. В ФРГ еще в 1960-е годы повторно использовали 92% воды. Если воду не удаётся очистить до необходимого качества, ее используют на другие цели, например, для уборки улиц и т.д. Однако у оборотного водоснабжения существуют технологические проблемы, важнейшие из которых это коррозия и обрастание трубопроводов.

Безвозвратное водопотребление: вода испаряется в атмосферу из гради-рен и других установок в промышленности и энергетике, в процессе транспирации сельскохозяйственных растений. Часть воды впитывается почвой. В СССР 90% воды, использованной для орошения, не возвращались в те водоемы, откуда ее забрали. Но и та вода, которая возвращается в водоемы, как правило, загрязнена.

Данные по объемам сточных вод во всем мире очень противоречивы. По минимальным оценкам в 1985 г. сброшено 1100 км³, в 1998 г. – 1800 км³, в 2000-е не менее 2000 км³. В СССР по отчетам Госкомгидромета в 1990 г. сброшено 34 км³; по оценкам «независимых экспертов» – 130 км³. В РФ в 1999 г. сброшено 53,7 км³ сточных вод, из них 20,1 км³ – загрязненных. В 1995 сброс сточных вод в РФ оценили в 200 км³. В Самарской области в 2012 г. сбросили 585,21 млн. м³. Разнобой в оценках связан с тем, что разные авторы не всегда оговаривают, какие именно категории сточных вод имеются в виду: весь объем сточных вод, или только загрязненных и т.д.

Загрязненными считаются сточные воды, содержащие токсичные вещества и требующие очистки перед сбросом в водоемы. Таких вод в РФ в год образуется по разным оценкам от 20 до 30 км³/г и в них содержится 55 млн. т токсичных веществ. Только 10 % стоков, требующих очистки, очищается до нормы, остальные – недостаточно.

По мере роста загрязнения водоемов сточными водами, получение чистой воды обходится все дороже и дороже. На очистку воды в США к концу 1990-х гг. расходовали около 100 млрд. \$/г.

Условно-чистыми считаются сточные воды, содержащие незначительные количества токсичных веществ и эти воды не очищают перед сбросом в водоемы. Это воды, откачиваемые из шахт и карьеров, из дренажа оросительных систем, из систем охлаждения энергетике и промышленности, из ливневой канализации и т.д. Например, в Великобритании в 1990-е годы официаль-

но перевели в категорию условно-чистых стоки санаториев и курортов, решив сбрасывать их без очистки. К категории условно-чистых относится более половины всех сточных вод. Нередко оказывается, что условно-чистые воды достаточно сильно загрязнены. В Западной Европе ливневый сток выведен из категории условно-чистых и теперь очищается. В Москве начали очищать фильтрацией стоки с полотна кольцевой автодороги.

2.3. Запасы пресных вод

Забор воды для водопользователей осуществляется, как правило, из открытых водоемов и из водоносных пластов.

Данные о запасах пресных вод на нашей планете сильно различаются у разных авторов. Сложно оценить изменения количества осадков, попадающих в водоемы, жидкая вода постоянно переходит в лед, пар, пленки на частицах и т.д. Общий запас пресной воды во всем мире около 35 млн. км³ – это 2,5% объема всей воды на планете, поверхностные воды – около 1%. В озерах по разным оценкам содержится от 27 до 125 тыс. км³, суммарный годовой сток всех рек от 46 тыс. до 200 тыс. км³. До 25 млн. км³ воды находится в виде льда в ледниках, до 24 млн. км³ в виде снега. В атмосфере 13 тыс. км³ воды присутствует в виде пара.

Определять запасы подземных вод еще сложнее. В земной коре находится до 23,4 млн. км³ подземных вод, из них 8,5 млн. км³ на глубине до 4 км, 1380 км³ на глубине до 200 м. Подземные воды постоянно пополняются, в США, например, 25% объема всех осадков переходят в подземные воды.

На территории бывшего СССР запас пресной воды оценивался в 404 тыс. км³ (11,4 км³ – ледники; 26 тыс. км³ – озера; 4,19-4,38 км³ – реки; 3 тыс. км³ – болота; 2 тыс. км³ – подземные; 30 км³ – наледи).

В РФ 2,56 млн. рек (94% из них короче 25 км), 30 тыс. водохранилищ (800 км³ воды) Объем воды в озерах РФ – 24,5 тыс. км³. Запасы подземных возобновляемых вод 230 км³/г, подземных потенциально эксплуатационных – 300 км³/г, подземных питьевых – 300 км³/г.

Сток рек европейской части РФ, где сосредоточено население, промышленность и сельское хозяйство, намного меньше, чем сток рек в Сибири. Во многих местах существует дефицит поверхностных вод и приходится осуществлять ее крупномасштабный транспорт, создавать запасы в виде водохранилищ, перераспределять годовой сток.

Потребление поверхностных вод сильно различается по регионам. В Великобритании поверхностные воды обеспечивают 72% водопотребления, в РФ 60% (это 51,3 – 77,8 км³), в Финляндии 57%, в ФРГ 27%, в Австрии и Дании только 1% водопотребления, в Евросоюзе в целом – 30%.

Подземные воды потребляются либо если нет других источников водоснабжения, либо если поверхностные воды сильно загрязнены и очистка их стоит слишком дорого. В РФ потребляют 9,3 – 12,4 км³ подземных вод (это 46% питьевого водоснабжения по стране). В Европе подземные воды обеспечивают 60% всего водопотребления, их добыча постоянно увеличивается.

В США закачивают под землю сжатый воздух, чтобы выжимать в водоносные слои капиллярную воду, но отдача от этого мероприятия станет проявляться через десятки лет.

Нехватка пресной воды в засушливых регионах вынуждает опреснять морскую воду дистилляцией, вымораживанием или обратным осмосом. В 1995 г. опреснено 7 км³, в 2000 г. уже 15 км³. В Великобритании стоимость очистки поверхностных вод уже приблизилась по стоимости к опреснению, разработан проект строительства крупных атомных опреснительных станций.

В жарких засушливых регионах можно использовать водяной пар из воздуха. В деревне Чинупо (Чили) на горе установлены 86 нейлоновых сетей, на которых конденсируется пар бризов и стекает в лотки под сетями. Каждая сеть дает до 700 л/сут, в месяц до 300 м³.

В ФРГ и Франции начали собирать дождевую воду (в основном с крыш), очищать её и использовать как техническую – это покрывает 49% потребности в технической воде и снизит нагрузку на ливневую канализацию. В приморских регионах ряда стран для охлаждения используют морскую воду. РФ используют в год 5,3 км³ морской воды.

ГЛАВА 3. БИОЛОГИЧЕСКОЕ САМООЧИЩЕНИЕ ВОДОЕМОВ

3.1. Понятие биологического самоочищения водоемов

Биологическим самоочищением в санитарной гидробиологии считают способность водоема освобождаться от загрязнений, образующихся в процессе функционирования экосистемы и поступающих извне. Самоочищение сохраняет и поддерживает устойчивость сообщества.

Самоочищение происходит в ходе процессов биологического круговорота вещества. Чтобы понять суть самоочищения, надо изучать круговорот вещества и энергии в водоемах, какие организмы каким органическим веществом питаются, и какие продукты жизнедеятельности выделяют в воду. Необходимо также исследовать баланс кислорода в водоеме (его выделение растениями, поступление из атмосферы, выход в атмосферу, потребление на дыхание организмов и на окисление органического вещества). Поскольку кислород выделяют растения, то надо знать состав биогенных элементов в водоеме, их концентрации в воде и донном грунте, их поступление в водоем из разных источников.

В процессе самоочищения участвует весь комплекс физико-химических и биологических процессов в водоеме.

К физическим процессам относятся:

Оседание взвеси, происходящее под действием силы тяжести. Перемешивание воды, способствующее оседанию частиц. Перемешивание воды, увеличивающее вероятность контакта растворенных веществ и тем способствующее протеканию химических реакций. Плотность и температура воды, оказывающие влияние на перемешивание воды и на скорость оседания частиц.

К химическим процессам относятся:

Окисление органических и неорганических веществ растворенным в воде кислородом. Реакции между различными веществами, особенно в присутствии многокомпонентных сточных вод крупных городов.

Биологические процессы преобладают в самоочищении водоемов.

К ним относится в первую очередь поедание трупов отмерших организмов сапротрофами; они же поедают фекалии и продукты выделения. Деятельностью гидробионтов может ускорить оседание вещества на дно, и это также часть биологического самоочищения. Гидробионты выделяют в воду много слизи, которая связывает растворенные токсичные вещества – это тоже биологическое самоочищение.

В биологическом самоочищении выделяют аэробные и анаэробные процессы.

Анаэробные – когда микроорганизмы и некоторые простейшие разлагают остатки отмерших организмов в придонных слоях воды и донном грунте, где нет кислорода. При этом выделяются H_2S , NH_3 , CH_4 , низкомолекулярные жирные кислоты и т.п. Аэробные – когда вещества окисляются кислородом и перерабатываются аэробными организмами

В водоемах в ходе эволюции сформировались сложные сообщества, обеспечивающие самоочищение достаточное для их устойчивого существования. Одни сообщества приспособились к постоянному поступлению вещества извне (с берегов, из притоков), другие – к периодическому поступлению с паводками; третьи – и к тому, и к другому. Случаются, конечно, сильные разовые загрязнения при извержениях вулканов, ураганах, но и их водные сообщества нередко могут выдержать.

Однако в последние 150–200 лет в водоемы поступает все больше органических веществ и биогенных элементов с полей, с ферм, с промышленных предприятий и населенных пунктов, транспорта и т.д. Этоalloхтонное органическое вещество с примесью различных токсикантов. На поступление антропогенного органического вещества сообщества реагируют так же, как и на поступление природного – растет численность гетеротрофных микроорганизмов, затем – простейших, потребляющих этих микроорганизмов, затем – численность потребителей простейших и т.д.

Нередко гидробиоценоз десятки лет справляется с переработкой антропогенного органического вещества. Однако поступление увеличивается, и концентрация ряда органических веществ становится для гидробионтов летальной, или они гибнут из-за одновременного поступления пестицидов и др. ядовитых веществ. Поступающие органические вещества связывают растворенный в воде кислород, и в водоеме начинается замор. В результате из всех организмов, участвующих в самоочищении, сохраняются, в основном, микроорганизмы, но количество их потребителей постоянно уменьшается и в водоеме накапливается бактериальная биомасса. В конце концов, может сформироваться чисто микробный гидробиоценоз, нередко анаэробный, он будет успешно функционировать, но вода потеряет потребительские качества.

В озерах Японии самоочищение стимулируют искусственной циркуляцией воды. При этом уменьшается стратификация, исчезает запах плесени, но цветение усиливается.

Разработан индекс Фрумкина (Фрумкин и др. 1995) для оценки способности водоема к самоочищению:

$$И = БПК^1 - (БПК^2 / БПК^3)$$

БПК¹ – полная биохимическая потребность в кислороде;

БПК² – биохимическая потребность контрольной пробы;

БПК³ – теоретически возможная биохимическая потребность в кислороде для конкретного загрязнителя.

3.2. Вклад различных гидробионтов в самоочищение

3.2.1. Роль микроорганизмов в биологическом самоочищении

Микроорганизмы осуществляют минерализацию мертвого органического вещества. Cytophaga, Sporocytophaga другие эпифитные бактерии разлагают целлюлозу. Клостридии сбразивают крахмал, пектин и подобные углеводы.

Десятки видов микроорганизмов способны перерабатывать углеводороды нефти. Они обитают в водоемах всех широт, на любой глубине, их численность доходит до 100 тыс. кл/мл. Только на прибрежном мелководье Черного моря нашли 850 штаммов таких организмов, преобладают *Pseudomonas desmolyticum*, *Bacterium album*. По мере роста нефтяного загрязнения численность нефтеперерабатывающих микроорганизмов растет, в потребление нефти включаются новые виды. В донном грунте в районе аварии танкера «Торри-Каньон» количество нефтеокисляющих бактерий доходило до 400 млн кл/г; в грунте портов Черного м. – до 10 млн кл/г.

Активность бактерий зависит от температуры, концентрации биогенных элементов, штормов. Особенно быстро идет бактериальная переработка нефти в теплых водах. В Каспийском море разлагается за лето до 12-36 г/м² (до 9000 т во всем море), в Балтийском море 3-12 мг/м² год. В океане за год микроорганизмы перерабатывают 0,1-12,0 г/м³ сут или 35-350 г/м³ в год.

Переработка нефти идет по схеме: предельные углеводороды → непредельные → спирты → кетоны → жирные кислоты → CO₂ + H₂O.

Выделены микроорганизмы способные перерабатывать не только нефть, но и нефтепродукты: керосин, соляровое, машинное, вазелиновое масла, парафин, нафталин.

Разработаны методики бактериальной очистки загрязненных нефтепродуктами балластных и подсланевых вод судов, вод с нефтебаз. Например, в балластной воде танкеров концентрация нефти доходит до 5-10%, в нее вносят 1 кг бактериального препарата и 15 т азотного удобрения – вся эта нефть разлагается за 10 сут.

Гриб *Polyporus versicolor* может окислять фенолы: гидрохиноны на 80-90% за 72 ч; пирокатехин на 90-95% за 72 ч.

Предложено устанавливать в водоёмах волокнистые коллекторы как субстрат для микроорганизмов, осуществляющих самоочищение.

3.2.2. Роль растений в биологическом самоочищении

Растения выделяют в воду кислород, окисляющий часть загрязняющих веществ. В зарослях макрофитов вода процеживается сквозь скопления стеблей и листьев, взвешенные вещества задерживаются и оседают на дно.

Все растения потребляют биогенные элементы: P, K, N. В районах обильного развития макрофитов редко происходит цветение воды – сине-зеленым водорослям не хватает биогенных элементов. С точки зрения санитарной гидробиологии следует способствовать развитию зарослей макрофитов в водоёмах: они очищают воду от взвеси и растворенных веществ лучше фитопланктона, не выделяют в воду токсичных и пахучих веществ, макрофиты легко удалять из водоёмов. Одноклеточные водоросли способны потреблять низкомолекулярные растворенные органические вещества: аминокислоты, спирты, сахара.

Макрофиты и фитопланктон выделяют в воду вещества, подавляющие чрезмерное размножение гнилостных бактерий. Например, динофлагеллята *Protocentrum minimum* выделяет высокомолекулярное ароматическое соединение с антибиотической активностью.

При окислении растворенных органических веществ кислородом образуется много перекисей, гидроперекисей, свободных радикалов и др. молекул с высокой биологической активностью. Они опасны – нарушают проницаемость мембран, ингибируют жизненные процессы в клетках. Водные растения выделяют в воду антиоксиданты, связывающие молекулы свободных радикалов. Однако перекиси выполняют и полезную функцию: они разрушают растворенные токсиканты. Поэтому ряд видов водорослей выделяют H_2O_2 при фотосинтезе. Некоторые микроводоросли выделяют восстановители даже в темноте и при дефиците кислорода.

Выделения элодеи, урути, роголистника, хары содержат ферменты, например, фенолоксидазы, которые разлагают фенолы.

Подводные части макрофитов обрастают микроорганизмами, разлагающими нефть, фенолы и другие органические вещества. Число нефтеокисляющих бактерий в присутствии рогоза увеличивается в 19 раз; в присутствии камыша озерного – в 150 раз, скорость разложения нефти, фенолов увеличивается в 2-3 раза. При концентрации нефти 1 г/л она разлагается за 20-35 сут, а в присутствии макрофитов – за 10-13 сут.

Сине-зеленые водоросли выделяют гидраксамовые кислоты, активно связывающие ионы Fe, Pb, Cu, Ni, Co, Al в комплексы. Экзометаболиты *Oscillatoria spp.*, *Aphanizomenon spp.* содержат комплексообразующие лиганды, связывающие медь.

Растения поглощают из воды и накапливают в тканях многие вещества. Фитопланктон накапливает Ti, V, Cr, Mn, Fe, Cu в 10 раз больше их концентрации в воде. Морские растения накапливают Br, J, Sn, Mo, Rb. Больше всего веществ накапливают красные водоросли. Зеленые водоросли – на 10% меньше красных; бурые водоросли – вдвое меньше красных.

Цветковые растения поглощают из воды и накапливают примерно в 20 раз меньше веществ, чем красные водоросли. Тем не менее, 1 кг сухого камыша накапливает 50 г Zn, 14,6 г B, 12,6 г – Si, 12,0 г – Mn, 6,3 г – Na, 3,9 г – Ca. Сырой камыш способен полностью поглотить из воды фенол при концентрации 10 мг/л, 600 мг/л за 120 дней. 1 га зарослей водяного гиацинта за 24 ч поглощает: по 22 кг N и K; 18 кг Na; 11 кг Ca; 8 кг P; 2 кг Mg; 385 г Ag; 321 г Sr; 297 г Ni; 104 г Pb; 89 г Hg. Элодея накапливает до 160 мкг/г Hg, Pb; до 35 мг/кг Cu. Харовые – до 218 мг/кг Zn, до 10,1 мг/кг Co. Кроме того, харовые активируют окисление фенолов, связывают хиноны; накапливают трудноокисляемые фенолы, ароматические амины, 3,4-бенз-а-пирен. 1 га разнообразных водных зарослей накапливает до 2,5 кг Zn.

3.2.3. Роль животных в биологическом самоочищении

Животных, принимающих участие в процессах самоочищения водоемов, можно разделить на две функциональные группы.

Животные-фильтраторы

Они питаются, процеживая воду и извлекая из нее взвесь. Съедобные частицы фильтраторы заглатывают, а несъедобные частицы склеивают слизью в комочки (псевдофекалии), которые достаточно быстро тонут. В результате взвесь, даже самых мелких размерных фракций, опускается из толщи воды на дно. Процесс фильтрации уменьшает мутность воды в водоемах – вода осветляется.

Ракообразные фильтруют воду через гребенки из волосков или щетинок на конечностях, двустворчатые моллюски через жабры, имеющие вид решеток. Личинки насекомых строят сети из шелковых нитей, улитки из нитей плотной слизи. Рыбы-фильтраторы, например, сельди, фильтруют через густые гребенки жаберных тычинок на жаберных дугах. Оболочники цедают воду через пористые стенки глотки. Водные беспозвоночные используют не только механическую фильтрацию, когда частицы застревают в фильтрах. Мелкие частицы, которые теоретически должны проходить через фильтр, прилипают к слизи на фильтрующих структурах. Кроме того, фильтры у большинства беспозвоночных электрически заряжены и притягивают частицы, имеющие противоположный заряд.

Пассивные фильтраторы выставляют фильтры на естественное течение воды. Так питаются, например, личинки насекомых из отряда ручейников. Активные фильтраторы сами создают ток воды сквозь фильтр.

Наибольший вклад в фильтрацию вносят двустворчатые моллюски (взрослая беззубка за сутки процеживает до 70 л; мидия – 3,5 л; дрейссена –

до 2 л) и ракообразные (дафнии, цериодафнии, босмины, хидориды и др.). Индивидуальный объем фильтрации у ракообразных мал, но в 1 литре воды обитает до 1000 таких рачков. Из других групп животных фильтраторами являются асцидии, личинки насекомых, морские лилии, полихеты, рыбы.

Если умножить средний объем профильтрованной за 1 час воды на количество животных на единице площади, то масштабы фильтрации огромны. На 1 га мидиевой банки возле Одессы за 1 год процеживается $5,3 \text{ км}^3$ воды. В эвтрофных озерах при биомассе 3 мг/л ракообразные профильтровывают весь объем воды за 1 сутки. Объем воды в Северном Каспии 400 км^3 , а только 5 местных видов моллюсков профильтровывают за сезон 1000 км^3 воды. За сутки эти моллюски извлекают из воды 30 тыс. т взвеси, в которой содержится 1650 т органического вещества. Объем воды, заполняющей Волгоградское водохранилище, за год процеживается до 20 раз, из 540 км^3 профильтрованной воды моллюски и ракообразные извлекают 36 млн. т взвеси, из которой 29 млн. т осаждают на дно в виде псевдофекалий.

Фильтрация не только очищает воду от взвеси, но и способствует перемешиванию воды и проникновению кислорода в придонные слои, при этом активизируются окисление и детоксикация растворенных веществ.

Двустворчатых моллюсков используют для очистки воды. В Балтийском море заселяли мидиями искусственные рифы перед нерестилищами салаки – на нерестилища стала поступать более чистая вода, уменьшилась гибель икры. В Голландии выставляют сети с мидиями перед городскими водозаборными сооружениями.

Советский гидробиолог О.Миронов разработал технологию очистки нефтесодержащих балластных вод танкеров в бассейнах с мидиями.

Животные-седиментаторы

Эти животные собирают взвешенные в воде частицы двумя способами. Пассивные седиментаторы расстилают на дне сети из липкой слюны, ждут некоторое время, чтобы частицы осели под действием силы тяжести на сети и прилипли, а затем съедают сеть с налипшей взвесью и сооружают новую сеть. Активные седиментаторы создают в воде вихрь, в котором частицы взвеси быстро оседают им прямо в рот. Съедобные частицы поедаются, минеральные склеиваются слизью в псевдофекалии, отбрасываются и тонут. Седиментацией собирают пищу инфузории, коловратки, жгутиковые, мшанки, губки, плеченогие. Инфузории в пресных водах поедают от 5 до 20% съедобной взвеси.

Иногда биоседиментацией называют оседание трупов и фекалий, с которыми уходят в донные осадки вещества, извлеченные животными из толщи воды в течение своей жизни. С оседающими трупами донные организмы получают до 11% энергии. Биоседиментация в неритической зоне равна физической седиментации, а в океанической зоне – в 10 раз больше.

ГЛАВА 4. БИОИНДИКАЦИЯ

4.1. Принципы биоиндикации

Качество воды обычно оценивают с точки зрения определенных прикладных задач (питьевое водоснабжение, например), либо чтобы выяснить состояние водной экосистемы. В первом случае часто достаточно провести химический или бактериологический анализ. Разработано много различных методов для оценки качества воды.

Вполне оценить реакцию экосистемы на загрязнение только физико-химическими методами нельзя. Концентрации токсикантов, попавших в водоем, постоянно изменяются под влиянием многочисленных и также постоянно изменяющихся факторов. Нередко концентрация веществ быстро снижается вследствие разбавления, осаждения и др. процессов и гибель водных организмов может начаться позже, когда токсикант, подействовав на гидробионтов, уже не обнаруживается в воде приборами или аналитическими методами. Действие токсиканта может сказаться не на самих организмах, а на их потомках. Токсиканты преобразуются, реагируют друг с другом, накапливаются в грунте или организмах, переходят по пищевым цепям и т.д.

Все имеющиеся измерительные приборы настроены на обнаружение и определение концентрации только определенных веществ. Каждый химический анализ также предназначен для обнаружения одного вещества или соединения в определенном диапазоне концентраций. Эти методы дают результаты, если исследователь точно знает, какие вещества присутствуют в водоеме. Обычно исходят из химического состава сбрасываемых в водоем сточных вод и твердых отходов. Однако в результате преобразований и взаимодействий веществ, попавших в водоем, в нем появляются вещества и соединения, которые не сбрасывались. Специальное исследование реки Томь, показало наличие 377 только токсичных веществ и соединений. Постоянно анализировать такое количество загрязнителей технически сложно и дорого. К тому же в производство постоянно вводятся новые химикаты, происходит сезонное и многолетнее изменение физико-химических условий в водоемах. Все это ограничивает применение физико-химических методов для оценки состояния гидробиоценоза.

Биологическими методами последствия загрязнения водоема можно изучать на разных уровнях организации. На клеточном и тканевом уровнях применяют методы биохимии. На уровне организма появляются изменения морфологии (в загрязненных водах растет число бактерий с лентовидными выростами, у личинок хирономид нарушается строение ротовых аппаратов), анатомии (у ветвистоусых рачков расслаивается кутикула), по изменениям физиологических процессов (питания, дыхания, размножения).

Индикаторные организмы позволяют выявить попадание в воду определенных химических веществ. Бактерии очень чувствительны к присутствию редкоземельных элементов. Патогенные бактерии чувствительнее сапрофитных бактерий к AgNO_3 , HgCl_2 . *Pseudomonas* реагирует на Hg при concentra-

ции в воде 0^{-9} г/л. *Aerobacter aerogenos* реагирует на Ag, Cd при 5×10^{-9} , на Pb при концентрации в воде 5×10^{-5} .

Реакция микроорганизмов часто проявляется в изменении их окраски. Зеленые актиномицеты приобретают в присутствии Co вишневую окраску, в присутствии Ni – оранжевую, в присутствии Cu – ярко-красную. *Penicillium purpurogenus* окрашивает бумагу в присутствии 0,0001% Zn.

Иногда реакция микроорганизмов проявляется в выделении из клеток различных веществ. *Penicillium brevicaulis* в присутствии мышьяка выделяет триметиларсин (наиболее чувствительный метод для обнаружения мышьяка); в присутствии селена – диметилселенид.

Aspergillus niger в присутствии ионов металлов меняет скорость роста. По этим изменениям можно обнаружить присутствие в среде железа в концентрациях 2-10 мкг/л; меди – 1-16 мкг/л; цинка – 10-100 мкг/л; молибдена – 0,01-0,15 мкг/л; марганца – 0,2-20 мкг/л.

Ряд видов микроорганизмов очень чувствителен к определенным химическим веществам. Бактерии родов *Micrococcus*, *Escherichia* реагируют на ментазосистокс и паратион в концентрациях менее 10 мг/л. Фенилаланин гораздо надежнее обнаруживается с помощью *Bacillus subtilis* и др. микроорганизмов, чем методом химического анализа.

Кроме бактерий и грибов для биоиндикации можно использовать и других водных организмов. Например, кадмий в концентрациях 14-58 мкг/л меняет структуру кристаллов кальцита в чешуе рыб.

С конца XX века пытаются методами селекции и генной инженерии получить организмы, более чувствительные к химическим веществам. Например, трансгенная нематода *Caenorhabditis* более чувствительна к тяжелым металлам, чем исходный природный вид.

Популяционный или биоценотический подходы наиболее продуктивны для оценки состояния водоемов, т.к. разные виды по-разному реагируют на те или иные воздействия. Дополнение этих подходов данными клеточного анализа и другими биологическими методами делают оценки значительно более точными. Однако комплексные исследования водоемов такими методами под силу только крупным научным учреждениям.

Для достаточно эффективной, но при этом простой и дешевой оценки состояния водоема наиболее подходит метод биоиндикации – оценка состояния экосистемы по видовому составу сообщества. Видовой состав сообщества соответствует среднему за определенный промежуток времени составу воды. Однако вследствие разной устойчивости, разные популяции живут как бы в разном временном масштабе. Это позволяет оценить влияние разных компонентов воздействия на водоем. Например, бытовые стоки меняют видовой состав и численность микроорганизмов, но при слабом загрязнении эти изменения быстро сглаживаются, т.к. у микроорганизмов быстро идет смена поколений. Однако рост численности бактерий вызывает рост численности простейших, что позволяет косвенно судить о загрязнении по изменениям численности, например, инфузорий.

Есть 2 основных метода биоиндикации:

Первый – это выяснение видового состава сообщества в данном водоеме или на разных его участках и изменений его за определенный период.

Второй – это сравнение видового состава сообщества на загрязненном и чистом участках, или с составом сообщества эталонного водоема.

4.2. Система сапробности Р. Кёльквитца и М. Марссона

Система сапробности для оценки состояния водоемов была разработана в 1908-1909 гг. Сапробность это комплекс физиологических свойств организма, обуславливающий его способность развиваться в воде с той или иной концентрацией органических веществ.

Р. Кёльквитц и М. Марссон разделили все водоемы на 4 группы (полисапробная, α -мезосапробная, β -мезосапробная и олигосапробная), по уменьшению степени загрязнения их воды биоразложимыми органическими веществами. Для каждой группы водоемов они составили списки характерных для них видов. Позднее к спискам видов были добавлены величина БПК и величина коли-индекса.

Ниже приводятся краткие характеристики выделенных Р. Кёльквитцем и М. Марссоном групп водоемов. По традиции их называют зонами.

Полисапробная зона

Такие водоемы ранее считались наиболее загрязненными. В их воде растворено много нестойких органических веществ: сахаров, спиртов, аминокислот, присутствуют даже белки. Обычно такие вещества быстро потребляются различными организмами и не накапливаются. Растения в таких водоемах почти отсутствуют, поэтому растворенный кислород содержится только в поверхностном слое воды. Кислород диффундирует в воду из атмосферы и почти сразу реагирует с растворенными органическими веществами, не проникая в нижележащие слои воды. Значительная часть органических веществ разрушается в анаэробных процессах, при которых выделяются метан и сероводород. Значительные количества органических веществ опускается на дно в виде детрита. В придонных слоях воды и в грунте преобладают восстановительные процессы. В их ходе выделяются сероводород и сульфид железа, который придает донному илу черный цвет.

В полисапробных водоемах сапрофитных микроорганизмов более 1 млн. кл/мл воды: нитчатые бактерии *Sphaerotilus natans*; серные бактерии *Beggiatoa* sp., *Thiopolycoccus ruser*; зооглеи *Zooglea ramigera*. Из водорослей присутствуют *Polytoma uvella*, из простейших обычны бесцветные жгутиконосцы *Okomonas mutabilis*; инфузории *Paramecium putrinum*, *Vorticella putrina*, *Opercularia phryganeae*. Из многоклеточных организмов обнаруживаются олигохеты *Tubifex tubifex*, личинки мух *Eristalis tenax*. Величина БПК от 7 до 40 мг/л; величина коли-индекса от 1000 до 20000.

α -мезосапробная зона

Органических веществ в таких водоемах меньше. Белков нет, но присутствуют amino- и амидокислоты. Здесь обитают водоросли-миксотрофы родов *Chlamidomonas*, *Euglena*, *Oscillatoria*, *Stigeoclonium*. Они выделяют кислород и в водной толще и поверхностном слое донного грунта происходят аэробные процессы. Сероводорода образуется гораздо меньше, и он быстро окисляется кислородом, метана мало, но в ходе аэробного распада органических веществ выделяются аммиак и углекислый газ. Железо окисляется кислородом и его окислы (FeO , Fe_2O_3) придают донному илу серый цвет.

Количество видов больше чем в полисапробных водоемах, численность популяций высокая. Сапрофитных микроорганизмов в таких водоемах менее 1 млн. в 1 мл воды, это бактериальные зооглеи, нитчатые бактерии, грибы. Много видов бесцветных жгутиконосцев, достигающих высокой численности. Из инфузорий преобладают сидячие *Carchesium spp.*, из подвижных – *Opercularia minima*, *O. microdiscum*; *O. curvicaula*. Появляются коловратки рода *Brachionus*. На дне обитают многочисленные олигохеты *Tubifex tubifex* и личинки хирономид (комаров-звонцов).

Величина БПК от 4 до 7 мг/л; величина коли-индекса от 100 до 1000.

β -мезосапробная зона

Органических веществ в таких водоемах еще меньше, нет аминокислот, но присутствуют продукты их аэробного распада: аммиак (NH_3), HNO_3^- , HNO_2^- . Сероводород образуется в донном иле, выходя в воду немедленно окисляется. Концентрация растворенного кислорода сильно меняется в течение суток: днем вследствие фотосинтеза водных растений его много, вплоть до 100% насыщения, по ночам намного меньше. Концентрация растворенного CO_2 наоборот, днем низкая, а ночью увеличивается.

Окислительные процессы и в воде, и, особенно в донном грунте, значительно преобладают над восстановительными. Детрита в донном грунте больше и ил желтого цвета.

В сообществах β -мезосапробных водоемов количество видов увеличивается, но численность популяций меньше. Много автотрофных организмов. Из диатомовых водорослей характерны *Melosira varians*, *Navicula spp.*, *Diatoma spp.*; из зеленых протококковые *Cosmarium spp.*, *Spirogira crassa*, *Cladophora spp.*, *Botrytis spp.*. На мелководьях заросли макрофитов, в них, как правило присутствует роголистник *Ceratophyllum demersum*.

Среди животных много простейших: саркодовые, инфузории. Из многоклеточных много губок, мшанок, брюхоногих и двустворчатых моллюсков, десятки видов коловраток и ракообразных (преимущественно фильтраторов и седиментаторов). Среди бентосных животных разнообразны турбеллярии, нематоды, олигохеты, личинки хирономид. В зарослях много видов насекомых, и постоянно живущих в водоеме, и личинок наземных видов. Много видов рыб, в крупных водоемах – десятки видов.

Величина БПК от 1 до 4 мг/л; величина коли-индекса от 50 до 100.

Олигосапробная зона

В этих водоемах органических веществ мало, т.к. пищевая база меньше, чем в β -мезосапробных. Концентрация растворенного кислорода высока, вплоть до полного насыщения, и слабо меняется в течение суток, углекислоты мало и ее концентрация также в целом постоянна. Сероводорода в водной толще нет совсем. Окислительные процессы в воде и в донном грунте доминируют, детрита в нём мало.

В сообществах олигосапробных водоемов количество видов самое большое, но численность популяций значительно меньше, чем в β -мезосапробных. В фитопланктоне характерны: *Melosira italica*, *Draparnaldia glomerata*, *D.plumosa*. Среди простейших обычны инфузории *Opercularia confusa*, *O.natans*, *O.allensii*. Среди коловраток – *Notholca longispina*; среди ветвистоусых ракообразных *Daphnia longispina* и *Bythotrophes longimanus*. Заросли макрофитов развиты слабее (мало биогенных элементов в грунте), в них много оксифильных насекомых, в частности, личинок поденок и веснянок. Плотность бентосных животных (олигохет, личинок хирономид, моллюсков и др.) невелика, из моллюсков обычна *Dreissena polymorpha*.

Рыбы преимущественно оксифильные: осетровые, форели, гольян.

Величина БПК не более 1 мг/л; величина коли-индекса от 10 до 50.

Для каждой группы водоемов Р. Кёльквитц и М. Марссон составили списки индикаторных видов из всех групп водных организмов от бактерий до рыб. Система Р. Кёльквитца и М. Марссона стала широко применяться в практике санитарной гидробиологии, последователи этих ученых начали ее развивать и совершенствовать и выделили еще две группы водоемов.

Гиперсапробная зона

Это наиболее загрязненные водоемы, результат активного загрязнения в ходе антропогенной эвтрофикации. Величина БПК в них превышает 40 мг/л; величина коли-индекса более 20000. Обитают только микроорганизмы.

Катаробная зона

Это родники, т.е. выходы на поверхность подземных вод. Здесь растворенные органические вещества почти отсутствуют. Величина БПК в них значительно меньше 1 мг/л; величина коли-индекса меньше 10. Организмов здесь очень мало вследствие почти полного отсутствия пищи.

4.3. Совершенствование системы сапробности

По мере развития промышленности увеличивались степень разрушения и загрязнения гидросферы, поэтому необходимость оценки состояния водоемов становилась все более насущной. Гидробиологи продолжали разработку методов биоиндикации, в том числе делали более удобной систему сапробности Р. Кёльквитца и М. Марссона.

Г. Либманн ввел понятие классов чистоты (I – IV) и присвоил их 4-м зонам сапробности начиная с олигосапробной (I) до полисапробной (IV).

А.С. Скориков к 1911 г. по спискам Р. Кёльквитца и М. Марссона выделил 3 группы организмов, с учетом типа их питания. Типов питания он определил четыре (автотрофное, миксотрофное, амфитрофное и гетеротрофное) а групп организмов – три (перечислены ниже).

1. Катаробионты – обитатели олиготрофных водоемов, преимущественно озер, которые не выносят присутствия гниющих органических веществ.

2. Альгобионты – обитатели мезотрофных водоемов (прудов, заросшей литорали озер). Наличие гниющих веществ, не угнетает их жизнедеятельности, но в пищу эти вещества альгобионты не используют.

3. Сапробионты – обитатели эвтрофных водоемов с высокими концентрациями растворенного органического вещества и детрита, способные питаться детритом. А.С.Скориков относит сюда донных организмов и подразделяет их на три подгруппы:

а. олигосапробионты – обитатели дна незагрязненных или слабозагрязненных водоемов;

б. мезосапробионты – обитатели дна умеренно загрязненных водоемов;

в. полисапробионты – обитатели дна сильно загрязненных водоемов.

В 1926-1927 гг. Г.И. Долгов и Я.Я. Никитинский провели первую серьезную ревизию видовых списков зон сапробности с учетом накопившихся научных данных. Впоследствии видовые списки продолжали уточняться.

Применение системы сапробности осложнялось тем, что разные индикаторные виды представлены разным количеством особей.

Г. Кнёпп в 1954 г. предложил при исследовании состояния рек учитывать количество особей индикаторных видов и выражать это количество в баллах. В отобранных из реки пробах определяются присутствующие там виды, подсчитывается количество особей каждого вида и присваивается соответствующий балл. Если вид представлен единичными особями – 1 балл, если особей мало – 2 балла и т.д. (табл. 4)

Таблица 4

Соответствие количества особей в пробе и баллом по методу Г. Кнёппа

Количество особей	Балл	Количество особей	Балл
Единицы	1	Между средне и много	5
Мало	2	Много	6
Между мало и средне	3	Очень много	7
Средне	4		

Баллы подсчитывают для видов, свойственных каждой из 4-х зон сапробности, суммируют баллы и строят график. Для каждой зоны суммы откладывают по вертикальной оси (олигосапробные и β -мезо – выше нуля; α -мезосапробные и полисапробные – ниже нуля). По горизонтальной оси откладывают расстояния между станциями (точками отбора проб) и строят по точкам график. По графику определяют, к какой зоне относится каждый из изучаемых участков реки.

Другое затруднение в применении системы сапробности заключается в том, что одни и те же индикаторные виды, могут встречаться в водоемах разной степени загрязненности органическими веществами. Поэтому Р.Пантле и Г.Бук в 1955 г. ввели индекс сапробности (S).

Каждой группе организмов они присвоили величину индикаторной значимости. Для организмов характерных для олигосапробной зоны величина индикаторной значимости – 1. Для организмов-индикаторов β-мезосапробной зоны – 2; для организмов-индикаторов α-мезосапробной зоны – 3; для организмов-индикаторов полисапробной зоны – 4.

Кроме того, было введено понятие частоты встречаемости (h). При единичных находках вида h = 1; при частых h = 3; если особей данного вида очень много h = 5.

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n S_i h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}$$

где S_i – индекс значимости вида;
h – частота встречаемости;
n – число видов-индикаторов

Если величина S = 4,5-8,5 - водоем считается эусапробным; если S = 3,5-4 – полисапробным; если S = 2,5-3,5 – α-мезосапробным; если S = 1,5-2,5 – β-мезосапробным; если S = 1,0-1,5 – олигосапробным; если S = 0,0 – 0,5 – то ксеносапробным.

В 1961 г. М. Зелинка и П. Марван разработали метод, позволяющий учесть и численность особей, и их способность обитать в разных водоемах. Они предложили понятия сапробной валентности и индикаторного веса.

Сапробная валентность показывает, насколько каждый вид характерен для данной зоны сапробности.

Индикаторный вес показывает величину значения каждого вида как индикатора сапробности и выражается в баллах от 1 до 5

Для оценки степени сапробности водоема в целом, по найденным там видам рассчитывают средневзвешенную сапробную валентность для каждой из пяти возможных зон сапробности. Эти зоны обозначаются буквами: ксеносапробная зона – А; олигосапробная зона – В; β-мезосапробная зона – С; α-мезосапробная зона – D; полисапробная зона – Е.

Например, для ксеносапробной зоны (А) расчет средневзвешенной сапробной валентности ведут по формуле:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n a_i h_i J_i}{\sum_{i=1}^n h_i J_i}$$

где h_i – число особей i-го вида;
a_i – сапробная валентность i-го вида;
J_i – индикаторный вес i-го вида.

Средневзвешенную сапробную валентность для олигосапробной зоны (В) рассчитывают по такой же формуле:

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n b_i h_i J_i}{\sum_{i=1}^n h_i J_i}$$

где h_i – число особей i -го вида;
 b_i – сапробная валентность i -го вида;
 J_i – индикаторный вес i -го вида.

и так далее рассчитывают средневзвешенную сапробную валентность для остальных трех зон, подставляя в формулы соответствующие этим зонам буквенные обозначения.

Метод М. Зелинки и П. Марвана широко применяется до настоящего времени, его совершенствуют с учетом региональных особенностей.

И.И. Дзюбан в 1982 г. показала, что по средней арифметической величин сапробности двух ведущих видов зоопланктона можно быстро (в 6-14 раз быстрее) рассчитать средний класс сапробности водоема. Если численность субдоминантного вида менее 5% общей численности, то следует брать индекс сапробности по доминирующему виду. От “полного метода” полученные результаты отличаются не более чем на 0,3.

Система сапробности хорошо разработана и усовершенствована, но имеет существенные недостатки.

1. Она очень трудоемка, т.к. требует определения до вида представителей всех основных групп водных организмов.

2. Для определения организмов до вида требуются высококлассные специалисты.

3. Для всех климатических зон и регионов должны быть разработаны свои списки видов-индикаторов (*Cyclops kolensis* по спискам Кёльквитца и Марссона является индикатором олигосапробных водоемов, а в Саратовском водохранилище он характерен для β -мезосапробных вод).

4. Система сапробности разработана только для водоемов загрязненных органическими веществами и не подходит для водоемов, загрязненных ионами металлов, синтетическими веществами и другими токсикантами.

4.4. Индексы загрязнения

Чтобы преодолеть недостатки системы сапробности, были введены индексы загрязнения. Они гораздо менее трудоемки, и определять их могут специалисты средней квалификации. С помощью индексов загрязнения можно проще и быстрее определить состояние водоема, т.к. в этом случае не требуется определения всех организмов до вида.

Индекс загрязнения Габриэля

Дж. Габриэль в 1946 г. предложил сопоставлять численности продуцентов, консументов и редуцентов. В этом случае достаточно выяснить сколько видов каждой из групп присутствует в пробах.

$$i = \frac{2P}{R + C}$$

где В – число видов организмов без хлорофилла;
R – число видов инфузорий (консументы);
C – число видов бактерий (редуценты).

Чем больше в исследуемом водоеме видов продуцентов, тем больше величина i и, значит, тем чище водоем

Индекс загрязнения Патрика

Предложен в 1949 г. Анализируется число видов диатомовых водорослей. При слабом загрязнении число видов диатомовых увеличивается в сравнении с незагрязненным состоянием водоема, при среднем загрязнении число видов диатомовых снижается в сравнении с чистым водоемом, а при сильном загрязнении диатомовые исчезают совсем.

Индекс загрязнения Бекка

У.Бекк в 1954 г. предложил определять соотношение количества видов-индикаторов слабого загрязнения и видов-индикаторов очень сильного загрязнения.

$$i = 2n_1 + n_2$$

n_1 – число видов, выносящих только слабое загрязнение;
 n_2 – число видов-анаэробов.

Если $i = 0$ то водоем сильно загрязнён (организмов не обнаружено); если i от 1 до 6 то загрязнение среднее. В катаробных водоемах $i = 40$.

Индекс загрязнения Хорасава

Дж. Хорасава предложил свой индекс в 1956 г. Процедура сортировки видов здесь проще, чем у Дж.Габриэля, т.к. не нужно различать группы консументов и редуцентов.

$$i = \frac{B}{A + B}$$

где A – число видов организмов с хлорофиллом;
B – число видов организмов без хлорофилла.

Индекс загрязнения Вотанабе

Т. Вотанабе в 1962 г. предложил рассчитывать индекс загрязнения по соотношению видов диатомовых водорослей.

$$i = \frac{2A + B - 2C}{A + B - C} \cdot 100$$

где A – число видов неустойчивых к загрязнению;
B – число видов безразличных к загрязнению;
C – число видов устойчивых к загрязнению.

Индекс загрязнения Кинга и Балла

Д.Кинг и Р.Балл в 1964 г. предложили индекс загрязнения, для определения которого требуется подсчитать число видов только двух классов организмов: насекомых и олигохет. Они исходили из того, что представители обоих классов имеют достаточно крупные размеры тела. Чем больше в водоеме видов насекомых, тем водоем чище.

$$i = \frac{A}{C}$$

А – число видов (вес) насекомых;
С – число видов (вес) олигохет.

Индекс загрязнения Цанера

Р.Цанер (1964 г.) предложил изучать соотношение численностей двух групп организмов: родов олигохет: *Tubifex* и *Limnodrillus*. Чем больше величина этого индекса, тем сильнее загрязнен водоем.

$$i = \frac{A}{C}$$

где А – численность представителей рода *Tubifex*;
С – численность представителей рода *Limnodrillus*.

Индекс Бика

Д. Бик в 1964 г. предложил анализировать соотношение трех групп водных организмов: устойчивых к загрязнению (им присвоен балл 1), встречающихся как на загрязненных, так и на чистых участках (им присвоен балл 2) и неустойчивых к загрязнению (балл 3). Если в пробе есть представители всех трех групп водных организмов, то сумма баллов составит 6, значит водоем достаточно чистый. Если присутствуют только представители первых двух групп, а неустойчивых видов третьей группы не обнаружено, то сумма баллов составит 3, значит водоем загрязнен умеренно и т.д.

Метод Вудивиса

Разработан в 1964 г. для оценки органического загрязнения рек бытовыми стоками. Результаты анализа видового состава пробы вносятся в таблицу (табл.5).

Индекс последовательного сравнения Карнса и др.

Этот индекс загрязнения разработан в 1971 г. для оценки состояния водоема по подсчетам достаточно крупных бентосных организмов. Метод может использоваться специалистами средней квалификации, но требует большого внимания.

Содержащихся в бентосной пробе крупных организмов (достаточно 200-250 особей) раскладывают рядами на разграфленной подложке (авторы метода использовали в белую кювету). Затем начинают последовательно сравнивать видовую принадлежность каждых 2-х соседних особей: первую со второй, вторую с третьей, третью с четвертой и так до конца последнего ряда.

Классификация проб бентосных организмов

Часто наблюдаемая последовательность выпадения организмов из биоценоза по мере роста загрязнения	Число видов	Общее число присутствующих групп (виды, роды или др.)				
		0-1	2-5	6-10	11-15	16 и >
Чистая вода		Биотический индекс				
Присутствуют личинки веснянок	1	-	6	7	8	9
Присутствуют личинки веснянок	2 и больше	-	7	8	9	10
Присутствуют личинки поденок, исключая <i>Baetis ralani</i>	1	2	5	6	7	8
Присутствуют личинки поденок, исключая <i>Baetis ralani</i>	2 и больше	-	6	7	8	9
Присутствуют личинки ручейников и поденка <i>Baetis rodani</i>	1	-	4	5	6	7
Присутствуют личинки ручейников и поденка <i>Baetis ralani</i>	1	4	4	5	6	7
Присутствует гаммарусы, вышеуказанных групп нет		3	4	5	6	7
Присутствует водяной ослик вышеуказанных групп нет		2	3	4	5	6
Присутствуют тубифициды, красные лич. хирономид, вышеуказанных групп нет		1	2	3	4	-
Грязная вода		Биотический индекс				
Вышеперечисленных групп нет, есть некоторые виды-эвриоксибионты		0	1	2	-	-

Результаты сравнения записывают двумя символами: если обе особи принадлежат к одному виду, то пишут "+", а если к разным видам то "0". После сравнения всех последовательных пар особей подсчитывают число повторов «+» и «0» и подставляют полученные цифры в формулу:

$$DJ_1 = \frac{\text{число повторов в пробе}}{\text{число особей в пробе}}$$

После этого организмы пробы перемешивают и снова раскладывают рядами, порядок расположения организмов будет не такой, как в первый раз. Затем повторяют процедуру последовательного сравнения, выясняют число повторов и делают расчет по той же формуле. Получается величина DJ_2 . Процедуру повторяют до 6-ти раз и получают 6 значений DJ . Затем рассчитывают среднее DJ_t из этих шести значений. Если величина среднего DJ_t больше 12 то водоем считается чистым, а если величина среднего DJ_t меньше 8, то водоем считается загрязненным.

По величинам DJ_t нескольких проб, взятых на разных участках водоема, можно оценить различия в видовом составе без определения видовой принадлежности особей. Для этого рассчитывают 95% доверительный интервал величин DJ_t для каждой пробы. Если эти интервалы перекрываются – различий по видовому составу между пробами нет, если не перекрываются – различия есть.

Индекс загрязнения Хаттера

Этот метод предложен в 1972 г. для оценки состояния рек. Таксонам крупного зообентоса (виды, роды, семейства, отряды, классы), обитающего на стрежне реки, присваиваются индикаторные значения от 1 до 10. Анализируется видовой состав пробы, индикаторные значения таксонов складывают и затем делят сумму на число особей в пробе. Чем больше получившееся частное, тем сильнее загрязнение.

Все вышеперечисленные индексы позволяют достаточно быстро оценить степень загрязнения органическими веществами, однако у всех этих индексов большая погрешность и их также нельзя использовать для оценки состояния водоемов, которые кроме природных органических веществ загрязняются и химическими токсикантами.

Экологические индексы

Для оценки состояния водоемов можно использовать методы, применяющиеся в биогеоценологии для сравнения экосистем и для оценки тенденций развития сообществ. Эти методы можно разделить на две группы: индексы видового разнообразия и индексы видового сходства.

Индексы видового разнообразия показывают соотношения количества видов в сообществе и численности этих видов. В санитарной гидробиологии чаще всего применяются следующие индексы.

Индекс видового разнообразия Маргалефа (1961)

$$d = \frac{S - 1}{\ln N}$$

где S – число видов в пробе;
N – численность особей в пробе.

Чем больше величина d, тем менее загрязнён водоем.

Индекс видового разнообразия Макартура (1961)

$$d = \sum_{i=1}^w \frac{n_i}{N} \lg \frac{N}{n_i}$$

где w – число видов в сообществе;
 N – общая численность особей в пробе;
 n_i – число особей вида i ;

Индекс видового разнообразия Константинова (1969)

$$K = 1,443 \frac{N!}{n_1! + n_2! + \dots + n_n}$$

где N – число видов;
 n – численность особей в пробе.

Индексы видового сходства позволяют сравнивать разные водоёмы, или разные участки одного водоёма.

Индекс видового сходства Жаккара (1912)

$$K = \frac{100c}{a+b+c}$$

где a – виды, обитающие только в 1-м водоёме;
 b – виды, обитающие только в 2-м водоёме;
 c – виды, общие для обоих водоёмов.

Индекс видового сходства Серенсена (1946)

$$K = \frac{100c}{a+b+c}$$

где a – виды, обитающие только в 1-м водоёме;
 b – виды, обитающие только в 2-м водоёме;
 c – виды, общие для обоих водоёмов.

Индекс видового сходства Котэ (1962)

$$K = \frac{A_1 - A_2}{A_1}$$

где A_1 – число видов на незагрязненном участке;
 A_2 – число видов на загрязненном участке.

Специалисты постоянно разрабатывают всё новые индексы.

Экологические индексы показывают только число видов, без учета какие это виды. По величине индексов нельзя оценить и характер загрязнения водоема.

В качестве примера объединения обычных индексов загрязнения и экологических индексов можно привести метод Вудивисса (см. выше, с.30-31).

4.5. Другие критерии оценки состояния водоемов

Продолжается разработка различных методов определения степени загрязнения водоемов с использованием организмов-индикаторов.

По видовому составу личинок хирономид можно оценивать величины щелочности и жесткости сточных вод, а также берегового стока с сельскохозяйственных угодий. В р. Огайо (США) выделено 5 групп видов хирономид,

приуроченных к водам с разным соотношением щелочности и жесткости и группу устойчивых к загрязнению видов.

В местах сброса в водоем сточных вод увеличивается разнообразие форм клеток бактерий, появляется много стебельковых и извитых форм.

Как индикатор загрязнения можно использовать трофическую активность планктонных рачков.

У коловраток родов *Keratella* и, в меньшей степени, *Brachionus* в загрязненных водах резко меняется чистая скорость размножения, особенно возраст первого вымета молоди, изменяется также форма кривых выживания.

Чем сильнее загрязнение водоема коммунальными и промышленными стоками, а также тепловое, тем больше видов перифитонных нематод и численность их популяций.

Интенсивность биолюминесценция воды показывает степень загрязнения моря.

По активности растворенных в воде общих эстераз и щелочной фосфатазы можно оценивать численность фитопланктона и зону сапробности.

Чем больше отношение численности фитопланктона к его биомассе, тем больше трофность водоема. Олиго- и эвтрофные воды различаются по этому показателю на 4 порядка.

По цвету дна можно выяснить видовой состав фитобентоса без обычных процедур отбора проб и определения видов. Диатомовые *Diatoma.elongatum*, *D.hiemala*, *Achnanthes trinodis*, *A.microcephala* покрывают дно желто-коричневыми пленками; *Chlorophyceae*, *Phodophyceen*, *Batrakoapermum* – ярко-красными.

Сероводородные бактерии *Lamprucystis* окрашивают воду в пурпурный цвет; *Thiopedia* – в фиолетовый.

Территориальные органы Госкомгидромета и Санитарно-эпидемиологического надзора РФ применяют комплекс методов. Проводится полное изучение видового состава и численности бентоса, макрофитов, зоо- и фитопланктона; разработаны региональные списки индикаторных организмов, ведется расчет индекса сапробности по Пантле-Буку; расчет индекса видового разнообразия по Маргалёфу или по Макартуру; рассчитываются применяемые в общей гидробиологии продукционные и микробиологические показатели.

За рубежом все шире внедряются компьютеризированные системы автоматического мониторинга водоемов. Например, в Англии разработана компьютерная система RIVPACS, которая проводит анализ данных с 614 станций на незагрязненных реках. Система может прогнозировать изменения видового состава беспозвоночных. Другая компьютерная система SERCON оценивает необходимость мер охраны для рек. Подобные системы начали создавать в 1980-е годы в СССР, однако из-за реформ экономики эти работы были приостановлены.

ГЛАВА 5. ТЕХНИЧЕСКАЯ ГИДРОБИОЛОГИЯ

5.1. Обрастание

Обрастание или перифитон это совокупность гидробионтов, обитающих на возвышающихся над дном субстратах, в том числе антропогенных. Организмы обрастания селятся на днищах кораблей, судов, плавсредств, в их водоводах; на буюх и бакенах (навигационных, научных, военных), на ставных неводах и рыбоводных сооружениях, на решетках водозаборов, на стенках водоводов и турбинных камер ГЭС, на стенках водоводов ТЭС и АЭС, на стенках водопроводов, на стационарных сооружениях: сваях, волноломах, шлюзах, на плавнике. Антропогенные субстраты обычно обрастают сильнее, чем естественные, т.к. обычно возле них активнее идет водообмен и меньше степень заиливания.

Поселение организмов на судах и сооружениях наносит значительный хозяйственный ущерб. Скорость судов с обросшим дном снижается до 2-х раз и до 2-х раз увеличивается расход горючего. Ускоряется коррозия металлов и разрушение бетона, уменьшается просвет труб, делаются тяжелее, погружаются и тонут навигационные и научные буи, выходят из строя их приборы. В 1990 г. общемировой ущерб от всех биоповреждений, причиненных водными организмами, составил 50 млн. долларов США.

В морях различают обрастания прибрежное, глубоководное и океаническое. В состав прибрежного обрастания входят десятки видов, его биомасса доходит до 100-150 кг/м². Среди прикрепленных организмов преобладают двустворчатые моллюски, усоногие раки сем. Balanomorpha, мшанки, полихеты и гидроидные кишечнополостные. В составе глубоководного обрастания видов мало и биомасса редко достигает 1 кг/м², доминируют усоногие сем. Scaepallidae. В составе океанического обрастания видов так же мало и биомасса не превышает 200 г/м². Усоногие раки сем. Lepadomorpha составляют до 90% всех особей, кроме них присутствуют мшанки, водоросли, полихеты, крабы. Формируется океаническое обрастание очень быстро и встречается во всех океанах (кроме покрытых льдом) и во внутренних морях.

Существует классификация обрастания по климатическим зонам (табл. 6). Во всех климатических зонах усоногие раки составляют до 57% общей численности.

Таблица 6

Характеристика обрастания по климатическим зонам*

Тип обрастания	Видовая структура
Обрастание бореальное	доминируют 30 видов, 2-5 массовых.
Обрастание нотальное	доминируют 15 видов, 5-9 массовых.
Обрастание субтропическое	доминируют 40 видов
Обрастание тропическое	доминируют 90 видов

*из Обрастание в мировом Океане, 1976.

В солоноватых (устья рек) водах в состав обрастания входят: двустворчатые моллюски *Dreissena spp.*, усоногие раки *Balanus improvisus* и *B. eburneus*, мшанки *Conopeum spp.*, *Membranipora spp.* Биомасса обрастания здесь большая. т.к. реки приносят в приустьевые участки много пищи.

В пресных водах обрастание самое слабое. В его состав входят дрейссена, мшанки, губки, простейшие, водоросли, грибы, олигохеты, личинки хирономид и ручейников.

Обрастателей подразделяют на основных (прикрепленные к субстрату организмы) и второстепенных (подвижные организмы, обитающие между прикрепленными организмами). Из прикрепленных организмов усоногие раки баянусы, двустворчатые моллюски, водоросли покрывают до 100 % поверхности дна; гидроидные кишечноротовые до 69 %; асцидии – до 60 %, полихеты серпулиды – до 25 %; ракообразные морские уточки – до 15 %; мшанки – до 10 %.

Из 20 тысяч известных гидробиологам видов перифитона на антропогенных субстратах найдено только 3 тысячи видов.

5.2. Основные группы организмов-обрастателей

Бактерии первые заселяют появившийся в воде чистый субстрат и образуют слизистую пленку. Пленка постепенно утолщается и к ней начинают прикрепляться другие организмы. Бактерии разрушают слой краски на антропогенном субстрате, способствуют выделению токсикантов из защитных покрытий в воду, экранируют токсиканты слоем выделяемых полисахаридов.

Роль грибов в обрастаниях невелика. Грибы разрушают деревянные конструкции, ускоряют (представители родов *Denteromycetes*, *Ascomycetes*, *Zygomycetes*) коррозию металлов, разрушают краску и смазочные покрытия. Ряд видов грибов паразитируют на усоногих раках, губках и других животных и препятствуют их развитию.

Водоросли всегда присутствуют в любых обрастаниях. Водоросли одними из первых селятся на бактериальной пленке, создавая субстрат для других организмов. Развитие водорослей зависит от освещенности.

Губки в пресных водах – одни из основных обрастателей, в море доминируют только в старых обрастаниях.

Из различных групп кишечноротовых руководящая роль только у кораллов. Растут кишечноротовые быстро, по биомассе преобладают на первых стадиях развития обрастания. В морях лучше развиваются в холодных и умеренных водах.

Полихеты, особенно сидячие, часто присутствуют в морских обрастаниях. Часто селятся на гидротехнических сооружениях. Сидячие формируют известковые домики-трубки, очень прочно приклеенные к субстрату. *Spirorbis borealis* и *Mercirella enigmatica* поселяются даже на гребных винтах, выдерживая их быстрое вращение.

Мшанки часто входят в состав пресноводных обрастаний, это представители родов *Plumatella*, *Friderillaria* и *Victorella*, в морях – известковые

мшанки рода *Membraniporidae* обычны, но биомасса их мала. Предпочитают места с быстрым протоком воды.

Двустворчатые моллюски обычны в обрастаниях, брюхоногие и панцирные присутствуют редко. Двустворчатые моллюски поселяются позже и преобладают в старых обрастаниях, в которых образуют слой до 10 см толщиной. В присутствии крупных двустворчатых моллюсков биомасса обрастания сильно растёт, возможно, выделяемые ими вещества стимулируют других организмов. Устрицы прочнее прикрепляются к днищам судов, поэтому селятся в носовой части судов, где выше скорость обтекания водой, мидии обычно поселяются в кормовой части.

Усоногие раки создают огромную биомассу. На днищах судов баянусы селятся обычно на корме, где возникает больше завихрений воды, и селятся плотнее, чем на неподвижных субстратах. Домики усоногих ракообразных сами создают завихрения.

Подвижные ракообразные встречаются почти во всех типах обрастаний, но численность их мала.

Насекомые присутствуют только в пресных водах. Это личинки ручейников, хирономид, симулиид, эфемерид. Обильны на затопленных деревьях с корой.

Морские звезды, офиуры, ежи встречаются на неподвижных субстратах, в густых обрастаниях, где питаются беспозвоночными.

Оболочники встречаются чаще на неподвижных субстратах, реже на днищах судов.

Между видами обрастания происходят сложные взаимодействия, среди которых преобладают трофические. Здесь обитают подвижные хищники (полихеты, ракообразные, иглокожие, рыбы), прикрепленные хищники (сосущие инфузории), фильтраторы (усоногие, камптозои, кругоресничные инфузории), вертификаторы (коловоротки), седиментаторы (инфузории), подвижные сестнофаги (моллюски, бокоплавы), детритофаги и полифаги (крабы). Кроме того, функционируют фабрические и топические взаимодействия между видами. В обрастаниях в Азовском море между 6-ю видами выявлено до 40 видов трофических и топических связей от стимуляции до полного ингибирования и выедания.

Скорость формирования обрастания сильно варьирует в зависимости от климатической зоны, акватории, состава донного сообщества и характера субстрата. Шероховатый субстрат обрастает быстрее гладкого: в Каспийском море поверхность бетона заселяется баянусами, митилястером и мшанками в 2,5 раза быстрее, чем поверхность скал и биомасса на бетоне в 2 раза больше. Мидии могут селиться поверх баянусов.

Обрастание днищ судов зависит от скорости хода и длительности плавания. Суда можно разделить на портовые и чаще плавающие в море – обрастания на их днищах разные. Суда могут распространять организмов-обрастателей из водоема в водоем. В 1950-е годы по Волго-Донскому каналу в Каспийское море на днищах судов были завезены баянусы и митилястер –

сейчас они составляют в Каспийском море до 90% обрастаний, достигая биомассы 20-30 кг/м². Если раньше в Каспийском море обитало 5 животных-обрастателей, то сейчас их уже более 60, причем 8-10 видов стали массовыми.

В водах СССР выделяют 4 зоны по характеру развития обрастания.

1. Арктические моря (Лаптевых, Чукотское, Восточно-Сибирское). Видов в составе обрастания здесь мало, антропогенных субстратов тоже мало, период размножения короток организмов-обрастателей.

2. Бореально-арктические (Баренцево, Белое, Карское, Берингово, Охотское моря, север Японского моря). Видов в составе обрастания больше. Сезон оседания личинок длится от 6 до 9 месяцев, рост обрастания довольно медленный

3. Балтийское, Черное, Азовское, Каспийское моря. Видов в составе обрастания много, обрастание сильное (кроме опресненных мест) и быстро развивается. Оседание личинок происходит на протяжении почти всего года.

4. Юг Японского моря, район Батуми в Черном море – биомасса обрастания мала, но развивается оно очень быстро, а оседание личинок происходит в течение всего года.

К настоящему времени гидробиологами описано много разновидностей сообществ обрастания. В северо-западной части Тихого океана выделено 20 основных сообществ, преобладают сообщества с доминированием *Mytilus edulis* и *Balanus crenatus* в состав которых входит до 72 видов, а биомасса достигает 57 кг/м². На днищах судов, регулярно заходящих в тропические воды описано 3 сообщества с биомассой до 2 кг/м². На судах, долго плавающих в тропических водах также 3 сообщества, но биомасса меньше (до 1,5 кг/м²). На судах Сахалина найдено 94 вида. При дальних плаваниях происходит смена сообществ на днищах судов. Быстрее всего обрастают суда в Японском и Охотском морях.

5.3. Ущерб от обрастания

Ущерб очень велик.

В морской воде коррозия чистого куска стали за 420 суток составила 55,3 мг/см², куска стали покрытого пленкой обрастания – 67,1 мг/см². Фотосинтез зеленой водоросли *Enteromorpha sp.* ускоряет коррозию стали, а если металл защищен катодной защитой, то плотность тока в системе увеличивается на 50%. Балянусы могут за один сезон вскрыть слой краски и вызвать в металле коррозионные язвы до 4 мм глубиной.

Даже небольшое обрастание может усилить трение о воду. На судах перерасходуется горючее, ускоряется износ двигателей. В холодных водах суда надо чистить ежемесячно, а в тропиках – через 2 недели, хотя чистка портит корпус. Судно на 18-й день плавания чистили скребками, но к 110-м суткам днище снова обросло так, что скорость хода упала на 40-50%.

В охлаждающих системах ТЭС из-за обрастания стенок теплообменников и водоводов нарушается распределение воды, охлаждение ухудшается

на 15% и более. Бактериальная пленка толщиной всего 0,05 мм снижала теплопроводность на 30%, а пленка толщиной 0,1 мм – в 4 раза.

Железобактерии, поселяются на внутренних стенках стальных труб и постепенно закрывают просвет трубы так, что за 3 года её пропускная способность уменьшается на 55%.

Раковины дрейссены и нитчатые водоросли на Криворожской ГРЭС забивают 6-7% площади сеток водозаборов в сутки. Летом на Чернобыльской АЭС в конусные сетки попадало до 1,5 т биогенных материалов в сутки, и сетки забивались 1-2 раза за месяц. Перед водозаборами Криворожской ГРЭС за год накапливается до 1629 м³ раковин дрейссены, это способствует накоплению ила и попаданию его в насосы. Чтобы не допускать поселения дрейссены в каналах водозаборов г. Кливленда (США) установили устройство для хлорирования воды стоимостью 5 млн. \$, иначе водозаборы выйдут из строя.

Серьезную проблему представляют обрастания в каналах. В необлицованных каналах развивается обильный бентос, обеспечивающий хорошее самоочищение, но много воды теряется, фильтруясь через дно. В каналах, облицованных камнем, щебнем или бетоном бентоса мало, но развивается перифитон, и степень обрастания зависит от соотношения площади откосов и объема воды. Слабое развитие бентоса ослабляет самоочищение, ухудшается качество воды, она приобретает неприятные запахи. В канале Северный Донец-Донбасс в период отмирания перидиниевых водорослей появляется прельный и болотный запахи; при цветении диатомовой *Stephanjdiscus hantzschii* – рыбный запах. В канал Днепр-Кривой Рог с водой из водохранилища поступают сине-зеленые водоросли и дрейссена, это вызывает появление в южной части канала гнилостного запаха.

5.4. Предотвращение обрастания

Гидротехнические сооружения проектируют так, чтобы предотвратить или максимально уменьшить возможность обрастания. Для этого надо знать биологию организмов-обрастателей. Для каждого вида существует критическая скорость обтекающей поверхности потока, при которой личинки этого вида не могут прикрепиться. Для велигеров дрейссены критическая скорость более 2 м/с.

При проектировании Кислогубской приливной электростанции критическую скорость определили правильно – более 1 м/с, но режим работы электростанции периодически меняется, скорость потока снижается, в это время личинки прикрепляются, а прикрепленные выдерживают скорость потока 6-7 м/с.

Прикрепление личинок дрейссены зависит от температуры воды (не менее 10,4⁰С), от ветра (в шторм погружаются на глубину 20 м), от глубины (предпочитают глубины до 7-8 м). Для прикрепления личинок мидий оптимальная соленость от 12 до 40 промилле.

Физические методы

Электричество. Для защиты гидротехнических сооружений от обрастания можно использовать электрический ток: электроды у водозаборов оглушают организмы-обрастатели и их личинок, которые падают на дно. При напряжении 127 В для этого необходимо 6-7 секунд, при напряжении 220В – 3 секунды, при напряжении 380В – 1 секунда. Личинок баянусов отпугивает поле напряжением около 1В, создаваемое угольными электродами. Но расходуется много энергии.

Нагревание. На оголовках водозаборов устанавливают устройства, проходя через которые вода нагревается электродами или паром. Обычно воду нагревают до температуры 40-50°C, иногда достаточно 29,5°C. Нагревательная установка на водозаборе Чернобыльской АЭС за 1,5 месяца уничтожила 864 т дрейссены. Также расходуется много энергии.

Ультразвук. Ультразвуковые колебания, передаваемые с генератора на защищаемую поверхность, не дают личинкам организмов-обрастателей прикрепиться. Этот метод очень эффективен, особенно для защиты корпусов судов, однако высокочастотные колебания вызывают разрушение конструкций и вредны для здоровья экипажа.

Гидрофобные покрытия. Смесь парафина с вазелиновым маслом недолговечна. Тефлоновое покрытие прочнее, но дороже. Эластомерные силиконовые покрытия не токсичны, покрытие из чистой силиконовой смолы вдвое снижает обрастание стенок труб, но в 10 раз дороже обычных красок.

Ультрафиолетовые лучи. Эксперименты показали высокую эффективность ультрафиолетовых излучателей против велигеров дрейссены, однако ультрафиолетовые лучи не проникают глубоко в воду.

Очистка. Днища судов очищают скребками и наждаком, эти методы трудоемки, повреждают обшивку и требуют постановки судна в док, при этом деформируется корпус. Аквалангисты очищают обшивку под водой струей пара из шланга, но этот метод также трудоемок.

Химические методы

Химические методы защиты поверхностей от обрастания применяются наиболее часто, т.к. они дешевле и технологически проще.

В водозаборы охлаждающих систем электростанций и др.технических водопроводов для очистки стенок, решеток и вентилях 2-4 раза в месяц в течение 30-60 мин подают Cl_2 , $CuSO_4$ (до концентрации 4-6 мг/л) или озон (O_3), применяют обычные сельскохозяйственные ядохимикаты. Для уничтожения прикрепленных водорослей применяют альгициды на основе четвертичных соединений алюминия, К сожалению, прошедшие через систему растворы обычно затем сливают в водоемы, где они оказывают негативное действие на водные организмы. Для очистки труб от бактериальной слизи применяют энзимы, которые дешевле и безопаснее пестицидов.

Противообрастательные токсичные покрытия

Ещё в средние века обшивали днища кораблей медными листами.

С 1940 г. днища судов покрывали смесью на основе битума, высыхающих масел, каменноугольного пека или фенолформальдегидных смол, насыщенных Cu_2O , порошком и чешуйки меди, HgO , ZnO , ацетоарсенитом, швейцарской зеленью $[\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AlO}_2)_2]$, соединениями As , фенарсазином (краски Союз23 и 24), n -оксидигидрофенарсазином. Все эти покрытия наносятся на чистое днище и долго сохнут.

Покрытия делали нанесением горячих композиций на основе парафина, канифоли, церезина (ТПК-868, ЯН-7А), однако они дают шероховатый слой, усиливающий трение о воду, кроме того, этот слой быстро растрескивается и разрушается при нагревании.

В 1950-е годы разработали покрытия днищ из перхлорвиниловых смол и хлоркаучука с канифолью и токсикантами (Cu_2O с фенарсазином). В СССР применяли покрытия марок ХВ-513, ХВ-5243, 5236, К4, К751, К5225, которые быстро сохнут, в воде сохраняются от 6 до 24 месяцев, но прочно держатся только на очень чистой поверхности, быстро окисляются на воздухе, инактивируются сероводородом, который часто присутствует в воде.

В 1960-е годы начали использовать краски с добавками оловоорганических соединений, сохраняющие активность не менее 18 месяцев, а с добавлением Cu_2O – до 5 лет. Позже синтезировали оловоорганические соединения с выщелачиваемыми радикалами на основе меди и ртути. Но оловоорганические соединения (особенно, трибутилолово), вызывают изменение пола моллюсков (импосекс) на морских фермах. Поэтому в настоящее время применение красителей с трибутилоловом в странах Западной Европы запрещено.

В 1970-е годы днища судов начали покрывать эмалевыми красками с ядовитым наполнителем в 3-4 слоя. Верхний слой постепенно набухает и смывается водой, открывая свежую поверхность следующего слоя. Каждый следующий слой разрушается медленнее. Такие покрытия называли самополирующимися эмалями. К 1990 г. применение таких эмалей достигло почти 4 млн. л в год (из 25 млн. л всех защитных красок). Держатся самополирующиеся эмали до 5 лет, но дороги, причем 20-30% эмали испаряется при нанесении. Они токсичны для млекопитающих, накапливаются в среде.

С 1990-х годов используют уретановые покрытия с добавлением порошка цинка, они долговечны и устойчивы к истиранию. Разработаны также покрытия на основе эпоксидных смол, полиэфиров и акриловых порошков (последние затвердевают всего за 20 минут).

В целом, противообрастательные краски либо не очень долговечны, либо дороги.

В рамках химической защиты поверхностей и агрегатов от обрастания пытаются применять вещества, отпугивающие личинок – репелленты. Выявлено несколько групп таких веществ: бензойная кислота, NNNN-тетра-метилэтилендиамин, 5,5-диэтилбарбитуровая кислота отпугивают диатомовых водорослей, гетеротрофных жгутиконосцев и бактерий. Обрастание на защищаемых таким образом поверхностях развивается на 30-40% меньше.

Перспективны как репелленты замещенные по N дигалоидмалеимиды, кислород-замещенные малеимиды, сапонины (сарсапогенин, дигигогенин и дигетонин), пропаргилловые эфиры, трициклогексилметанниновые эфиры галоидзамещенной янтарной кислоты, тетразамещенные кумарины. Изоцианид, изотиоционат и формамид - специализированные репелленты против личинок балянусов.

Для защиты причалов и других бетонных сооружений токсиканты (лаптанокс) вводят в бетон при его приготовлении.

Химические методы непрерывно совершенствуются в связи с ужесточением природоохранных мер.

Отмечено, что в большинстве мест сброса промышленных сточных вод обрастание развивается гораздо слабее.

Биологические методы

Биологические методы защиты от обрастания считаются очень перспективными, но пока еще только разрабатываются. В экспериментах выявлены некоторые группы противообрастательных веществ, выделяемых различными гидробионтами.

Вещества из корковой губки *Lissodendoryx isodyctialis* препятствуют оседанию и убивают личинок балянусов. Сидячие морские бактерии в стадии стационарного роста выделяют вещества на 100% ингибирующие оседание личинок балянусов и асцидий *Cyona*. Экстракт плодов цветковых растений *Randia brandisii* и *Sapindus trifoliak* подавляют образование бактериальных пленок. Особенно много таких веществ макрофиты выделяют весной и осенью.

5.5. Другие аспекты технической гидробиологии

Заращение водоемов макрофитами

Заросли макрофитов вредят рыболовству, судоходству, питьевому водоснабжению, купанию и отдыху, подавляют развитие фитопланктона из-за чего снижается рыбопродуктивность, ухудшают теплообмен в водоемах-охладителях.

Заросли в каналах до 4-х раз увеличивают трение, в результате чего замедляется движение воды и происходит перерасход энергии и ускорение износа оборудования на насосных станциях. Транспирация через листья удваивает испарение воды из каналов, поэтому приходится увеличивать объем воды, забираемой из водоемов в каналы.

Наиболее распространенный способ удаления зарослей – ручное или механическое выкашивание растений. Водо-воздушные макрофиты (рогоз) надо скашивать ниже уровня воды, иначе заросли восстановятся за 1-2 месяца. На скошенных участках рост растений ускоряется. Применение тракторных косилок осложняется проседанием влажного грунта по берегам. Существуют плавучие косилки на понтонах.

Погруженные макрофиты можно удалять с берега экскаватором со специальным ковшом, но ковш нередко разрушает берега каналов. На р. Потомак (США) при выгребании *Hydrilla sp.* ковшами гибнет 11-29% зарослевых рыб, причем заросли восстанавливаются через 23 дня, а численность рыб за 43. Пульпососы или земснаряды не повреждают берега, но захватывают донный грунт, беспозвоночных, и рыбу.

В Голландии покрывали дно и берега канала полотнищами из синтетической ткани (донные барьеры), но они снижают на 69-90% количество зообентоса, а также вызывают придонную аноксию.

В Каракумском канале пытались искусственно увеличить мутность, чтобы погруженные растения погибали от нехватки света, но этот метод оказался очень трудоемким. Пытались также углубить участок канала до 6-8 м, чтобы водо-воздушные макрофиты не могли укорениться. Такие работы также дороги, трудоемки, кроме того, на 10-15% повысился коэффициент шероховатости и замедлился проток воды.

Применение сельскохозяйственных гербицидов против макрофитов эффективно, но при этом погибает много рыб и беспозвоночных, а в каналах питьевого водоснабжения можно применять только медный купорос.

В СССР отработали метод биологической мелиорации с помощью рыб-фитофагов, таких, как белый амур. В 1965 г. вселенный белый амур успешно очистил от растений канал Днепр-Кривой Рог, в 1969 г. – канал Северный Донец-Донбасс. В каналах Чибийской оросительной системы белый амур за 60 суток выел все водные злаки, осоки и рогоз (70% площади зарослей) и в каналах остался только тростник, но и площадь зарослей тростника также уменьшилась. Были определены нормы посадки рыб в каналы в зависимости от характера зарослей, имеющих хищников и др. Недостаток метода в том, что белый амур теплолюбив и может применяться только в южных регионах.

Для уничтожения водных растений можно использовать растительноядных насекомых. В Аргентине запустили в водохранилище 400 жуков-долгоносиков *Neochetina bruchi*, они быстро размножились с 1974 г. по 1978 г. площадь, занятая водяным гиацинтом уменьшилась с 50% акватории до 4-8%. В Индии также используют насекомых для уничтожения зарослей водяного гиацинта.

Пытались использовать для подавления зарослей аллелопатические свойства вытяжек и настоек из некоторых растений: *Nymphaea odorata* и др. В лабораторных аквариумах метод работал, но в реальных водоемах хорошего эффекта не наблюдалось.

Древооточцы

Древооточцы разрушают сооружения и изделия из древесины, которую они используют в пищу. Наибольший ущерб наносят двустворчатые моллюски сем. *Yeredinidae* и *Pholadadidae* («корабельные черви»). Эти моллюски с червеобразным телом длиной до 40 см с маленькой известковой раковиной на переднем конце. Створками этой раковины моллюск скоблит и разрушает

древесину. Обитают моллюски-древоточцы обычно в поверхностных слоях воды, но виды рода *Xilophaga* встречаются до глубин 7 км и способны повреждать подводные кабели связи. В теплых водах одна самка производит до 6 млн. личинок за год.

В Черном море на побережье Кавказа «корабельные черви» разрушают деревянную лодку за 2-3 месяца, сваю из твердых пород дерева – за 1-2 года. В порту г. Геленджик свая из граба Ø 12 см (без коры) была разрушена всего за 3 месяца, на поперечных спилах этой сваи насчитывалось от 100 до 150 ходов. Такая же свая с корой оказалась устойчивее и была разрушена только через 1 год (в коре содержатся смолы, алкалоиды и дубильные вещества, которые препятствуют проникновению личинок через кору в древесину).

Моллюск рода *Teredo* способен сохранять жизнеспособность находясь вне воды во влажном воздухе до 25–27 суток, он выдерживает и сильное загрязнение воды.

Обычная краска не защищает от моллюсков-древоточцев. Разработано несколько методов защиты изделий из дерева в водоемах. Обычно дерево пропитывают креозотом, такая пропитка защищает сваи от 13 лет в Черном море до 50 лет в водах США.

Можно оббивать сваи досками толщиной 3 см, пропитанными ядохимикатами, однако следует следить за состоянием этого защитного покрытия и периодически его заменять. Можно надевать на сваи бетонные кольца, которые сохраняют в морской воде прочность в течение 10-12 лет и обходятся вдвое дешевле бетонных свай.

Можно оббивать поверхность свай полосами стали или гвоздями с широкими шляпками – моллюски-древоточцы избегают окислы железа.

В США и Великобритании уничтожают моллюсков ударной волной, подрывая возле свай небольшие заряды взрывчатого вещества. После обработки взрывами деревянные причалы выдерживают до 5-ти лет эксплуатации (без взрывов не более 3-х лет). Требуется точный расчет силы взрывов и мест расположения зарядов, чтобы не повредить защищаемое сооружение.

Древоточцами являются также морские ракообразные *Limnoria* и *Helur*, которые питаются живущими в древесине грибами.

Рекомендуется удалять затонувшую древесину из водоемов, чтобы она не служила рассадником древоточцев.

К сожалению, суда способствуют расселению животных-древоточцев. После увеличения в 1970-е годы солености воды Азовского моря моллюски-древоточцы проникли в него из Черного моря и акклиматизировались.

Камнеточцы

Это организмы, способные разрушать известняковые породы. Животное продельывает углубление на поверхности камня, чтобы использовать его как жилище. Разрушение бывает механическое, химическое и смешанное.

Двустворчатые моллюски родов *Botula*, *Pholas*, *Zirphaea*, *Petricola* скоблят камни зубчатыми створками раковины.

Усоногие рачки рода *Lythothria* скоблят камни зубцами на пластинах панциря головы.

Мшанки рода *Penetrantia*, губки рода *Clione*, полихеты рода *Polidora*, моллюски рода *Lithophaga* (морские финики) разрушают поверхность известняка фосфорными кислотами.

Сипункулиды родов *Themiste*, *Phascolosoma* и *Closiphon* разрушают известняк кислым секретом фарингеальных желез и соскабливают разрыхленный слой.

Личинки морских ежей селятся в углублениях камней в зоне прибоя, волны их вращают в этих углублениях и иглы скоблят стенки, стачивая до 1 мм за месяц.

Разрушают известняк и некоторые водоросли. В Черном море обитают сверлящие водоросли из 8-ми родов (3 вида сине-зеленых, 4 вида зеленых и 1 вид красных водорослей).

Еще в российских водах Черного моря обитают 4 вида моллюсков, 1 вид губок и 1 вид полихет, являющиеся камнеточцами. На некоторых участках берегов Черного моря ежегодно разрушается слой известняка толщиной 2-12 мм.

В дальневосточных морях в российских водах обитает 4 вида сверлящих моллюсков.

Животные-камнеточцы способны разрушать волноломы, сваи и повреждать подводные кабели связи.

В 1991 г. в столице Нигерии Лагосе личинки моллюсков-камнеточцев проделали в бетонных устоях моста через реку столько ходов, что мост рухнул.

Библиографический список

1. Андронникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных систем разных трофических типов / СПб: Наука, 1996. 214 с.
2. Антропогенные факторы в жизни водоемов. Л.: Наука, 1975. 189 с.
3. Беличенко Ю.П., Полянинов Л.Я. Охрана водных ресурсов. М.: Россельхозиздат, 1976. 132 с.
4. Биоповреждения. М.: 1986. 352 с.
5. Винберг Г.Г. Цели и задачи гидробиологии при комплексном использовании водных ресурсов // Водные ресурсы, 1972, № 3.
6. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды в Самарской области в 2012 г. Самара, 2013. 397 с.
7. Зайцев Ю.П. Задачи гидробиологии в деле охраны и использования водных ресурсов // Гидробиологический ж., 1981, Т. 17, № 1. С. 11-13.
8. Зарубаев Н.В. Комплексное использование и охрана водных ресурсов Л.: Стройиздат, 1976. 223 с.
9. Зилов Е.А. Гидробиология и водная экология / Иркутск: ИГУ, 2008. 138 с.
10. Иванова Г.Г. Санитарная гидробиология с основами водной токсикологии. Иркутск, 1982. 123 с.

11. Константинов А.С. Общая гидробиология. М.: 1986. 450 с.
12. Макрушин А.В. Биологический анализ качества воды Ч.1. Л.: ЗИН, 1974. 21 с.
13. Макрушин А.В. Биологический анализ качества воды Ч.2. Л.: ЗИН, 1974. 28 с.
14. Морозов Н.В. и др. Роль высшей водной растительности в самоочищении рек от нефтяного загрязнения // Гидробиологический ж., 1969, Т. 5, № 4. С. 73-80.
15. Оксийук О.П., Давыдов О.А. Санитарная гидробиология в современный период. Основные положения, методология, задачи // Гидробиологический ж., 2012, Т. 48, № 6. С. 50-65.
16. Поликарпов Г.Г. Экологические основы охраны гидросферы от антропогенных воздействий // Гидробиологический ж., 1982, Т. 17, № 6. С. 3-10.
17. Проблемы сохранения, защиты и улучшения качества природных вод М.: Наука, 1983. 172 с.
18. Резников А.А. и др. Методы анализа природных вод М.: Недра, 1970. 488 с.
19. Стом Д.И. и др. Роль харовых водорослей и других водных растений в процессе деструкции фенольных соединений // Водные ресурсы, 1972, № 2. С. 109-112.
20. Телитченко М.М., Кокин К.А. Санитарная гидробиология М.: МГУ, 1968. 102 с.
21. Телитченко М.М. Развитие и задачи санитарной гидробиологии в СССР // Гидробиологический ж., 1982, Т. 18, № 6. С. 22-33.
22. Теоретические вопросы биотестирования Волгоград: АН СССР, 1983. 194 с.
23. Тимофеева С.С. Санитарно-техническая гидробиология и водная токсикология. Иркутск: ИГУ, 1986. 128 с.
24. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. М.: Наука, 2005. Кн. 1. 281 с.; Кн. 2. 337 с

Учебное издание

Герасимов Юрий Леонидович

САНИТАРНАЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ГИДРОБИОЛОГИЯ

Учебное пособие

Публикуется в авторской редакции
Титульное редактирование *Т. И. Кузнецовой*
Компьютерная верстка, макет *Н. П. Бариновой*

Подписано в печать 29.12.14. Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Печать оперативная.
Усл.-печ. л. 2,8; уч.-изд. 3,0. Гарнитура «Times New Roman». Тираж 100 экз. Заказ № 2593.

Издательство «Самарский университет», 443011, г. Самара, ул. Акад. Павлова, 1.

Тел. 8 (846) 334-54-23

Отпечатано на УОП СамГУ