

ЛЕКЦИЯ 1. ВОДНАЯ ТОКСИКОЛОГИЯ, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

ПЛАН:

1. Понятие о водной токсикологии
2. Основные термины и понятия водной токсикологии

Антропогенная деятельность поставила перед экологией рыб новые проблемы. В современной промышленности, сельском, лесном хозяйстве и различных отраслях используется огромное количество различных веществ, многие из которых в конечном итоге попадают в водоемы – местообитание рыб. Они оказывают токсическое влияние не только на простые гидробионты, но и на рыб. Поэтому выделились специальные науки – водная экология и токсикология рыб (рыбохозяйственная токсикология).

1. Токсикология водная – это наука о токсичности водной среды как среды обитания водных организмов. Изучает закономерности реакций водных организмов разного систематического положения (от бактерий до рыб) и разного уровня организации (от клетки до сообщества, экосистемы) на токсическое воздействие водной среды, которая приобретает токсические свойства в результате деятельности человека или жизнедеятельности обитающих в воде организмов. Она разрабатывает предельно допустимые концентрации (ПДК) ядовитых веществ в водной среде, классификацию сточных вод по их токсическим свойствам, диагностику отравлений гидробионтов и др. вопросы. Исследования, проводимые токсикологией водной, способствуют решению важнейшей проблемы охраны природы – сохранению чистоты вод континентальных и морских водоёмов.

Цели – это изучение основы водной токсикологии, реакции гидробионтов на воздействие ядов, симптомов интоксикации и механизмы действия различных видов токсикантов органического и минерального характера, процессы самоочищения водоемов.

Задачи:

- Изучение взаимоотношений гидробионтов с абиотическими и биотическими факторами водной среды
- Выяснение закономерностей биологических процессов протекающих в водоеме
- Изучение закономерностей между химическим строением токсиканта и особенностью реагирования на него организма различных гидробионтов
- Изучение основных групп токсических веществ и пути предотвращения их попадания в водоемы
- Изучение специфичности действия различных токсикантов, адаптивные возможности гидробионтов к действию токсических веществ и

рыбохозяйственные предельно допустимые концентрации основных токсических веществ

- Выяснение причин возникновения заморных явлений в водоемах
- Разработка нормативных показателей (ПДК) сброса токсических веществ в водоемы
- Разработка методик определения токсичности водной среды
- Прогнозирование последствий воздействия некоторых токсикантов на гидробионтов
- Оценка экономического ущерба от загрязнений водоема
- Разработка мер по предотвращению загрязнения водных экосистем.

2. Основные термины и понятия водной токсикологии

Токсины - (от греческого *toxikon* — яд), вещества бактериального, растительного или животного происхождения, способные угнетать физиологические функции, что приводит к заболеванию или гибели животных и человека. По химической природе все Т. — белки или полипептиды. В отличие от др. органических и неорганических ядовитых веществ, Т. при попадании в организм вызывают образование антител. Т. входят в состав ядов змей, скорпионов, пауков и др. ядовитых животных, ряда ядовитых растений.

Адаптация – совокупность реакций, лежащая в основе приспособления организма к изменению окружающих условий и направленная на сохранение относительного постоянства его внутренней среды.

Аддитивное действие – суммирование действия ядов, при котором совместный эффект равен сумме эффектов заданных концентраций веществ.

Антагонистическое действие – совместное действия ядов, при котором совместный эффект меньше эффекта каждого из действующих веществ в заданной концентрации.

Биогенные элементы – химические элементы, постоянно входящие в состав организмов и необходимые им для жизнедеятельности. Важнейшие **Б.Э.** – кислород (составляет ок. 70 % массы организмов), углерод (18 %), водород (10 %), азот, фосфор, кальций, калий, магний, сера и др.

Биотестирование – оценка качества сред по ответным реакциям живого объекта, помещенного в исследуемые условия.

Биоиндикаторы – организмы, отличающиеся высокой чувствительностью к загрязнению в естественных условиях, по исчезновению или изменению функций и морфологических признаков которых можно судить о степени загрязнения водоема.

Детоксикация – процесс или явление уменьшения или полного прекращения токсического действия вещества, которое может достигаться путем удаления, разрушения его молекул или их превращения в менее ядовитые производные.

Индикация – качественное обнаружение и количественное определение химических веществ в экосистемах, объектах окружающей среды и в организмах.

Ксенобиотик – чужеродное для организма вещество.

Латентный период – срок времени от начала контакта организма с токсикантом до момента появления признаков отравления.

Летальный синтез – образование в процессе метаболизма высоко-токсичных соединений из нетоксичных и малотоксичных веществ.

Механизм действия токсического вещества – процесс взаимодействия яда с биосубстратами, характерный для конкретного яда или группы ядов, приводящий к нарушению биологических функций.

Мониторинг качества окружающей среды – систематический отбор и исследование проб объектов окружающей среды с целью оценки уровня антропогенного воздействия на окружающую среду по данным химико-аналитических определений, оценки видового состава сообществ или функционального состояния организмов.

Нормативы качества воды – комплекс химических, физических, биологических, санитарно-гигиенических и других показателей, по величинам которых оценивается и нормируется качество воды.

Персистентность – свойство вещества, характеризующее продолжительность времени, в течение которого оно сохраняется в объектах окружающей среды, прежде чем будет удалено из них путем физических процессов или путем химических превращений.

Предельно-допустимая концентрация (ПДК) в воде водоемов – концентрация вещества в воде, при повышении которой вода становится непригодной для одного или нескольких видов использования.

Предельно-допустимый сброс (ПДС) – максимально допустимые к сбросу в данном пункте водного объекта количества веществ, отводимых со сточными водами в единицу времени, устанавливаемые с учетом предельно-допустимых концентраций (ПДК) веществ в местах водопользования, самоочищающей способности водного потока и оптимального распределения количества сбрасываемых веществ между водопользователями.

Порог – (пороговый уровень) минимальная концентрация (уровень) или интенсивность воздействия фактора, при которой в организме возникают изменения, выходящие за пределы физиологических приспособительных реакций или скрытая (временно компенсированная) патология.

Распределение токсического агента – процесс переноса химических веществ, поступивших в кровяное русло, органы и ткани организма; соотношение количеств поглощенного химического вещества в органах и тканях или в компонентах экосистем.

Резистентность – устойчивость организма к воздействию различных факторов среды, в том числе химических соединений.

Самоочищение воды водоемов – очищение воды в результате естественных биологических и физико-химических процессов, трансформация органических и отчасти неорганических веществ.

Стресс – состояние неспецифического напряжения в живом организме, возникающее под влиянием сильных воздействий и реально проявляющееся в комплексе однотипных анатомо-физиологических изменений (общий адаптационный синдром). Эти реакции развиваются у животного под действием вредных агентов или различных заболеваний стадийно: начальные острые изменения (фаза тревоги) сменяются фазой адаптации, за которой наступает фаза истощения и организм может погибнуть.

Токсикометрия – совокупность методов и приемов исследований для количественной оценки токсичности и опасности ядов.

Токсины – вещества бактериального, растительного или животного происхождения, способные при попадании в организм вызывать заболевание или смерть.

Токсичность - (от греч. toxikon-яд), способность в-ва вызывать нарушения физиол. ф-ций организма, в результате чего возникают симптомы интоксикаций (заболевания), а при тяжелых поражениях-его гибель.

Степень токсичности в-ва - характеризуется величиной токсич. дозы - кол-вом в-ва (отнесенным, как правило, к единице массы животного или человека), вызывающим определенный токсич. эффект. Чем меньше токсич. доза, тем выше токсичность.

Различают среднесмертельные дозы (сокращенно ЛД₁₀₋₅₀ или LD₁₀₋₅₀), пороговые дозы (ЛД₅₀) абсолютно смертельные (ЛД₉₀₋₁₀₀, LD₉₀₋₁₀₀), минимально смертельные (ЛД₀₋₁₀, LD₀₋₁₀), цифры в индексе- вероятность в % появления определенного токсич. эффекта-смерти, порогового действия и др.).

Доза максимально переносимая (DL₀) - наибольшая доза яда, введение которой в организм не вызывает его гибели, хотя и сопровождается развитием симптомов отравления.

Доза минимальное смертельная DL_{min}- наименьшее количество яда, которое при введении в организм вызывает за определенный период гибель отдельных наиболее чувствительных подопытных животных.

Основные задачи водной токсикологии:

- 1) борьба с загрязнениями водоемов (основной вопрос этой проблемы – установление ПДК токсических веществ);
- 2) диагностика отравления рыб, других полезных гидробионтов и распознавание токсичности водной среды (разработка критерия токсичности);
- 3) выяснение механизма действия токсических веществ и метаболизм токсиканта в организме;

4) борьба с ненужными (или вредными) гидробионтами (борьба с цветением и зарастанием водоемов, обрастанием гидротехнических сооружений, борьба с патогенными микроорганизмами).

ЛЕКЦИЯ 2. СИСТЕМА РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ПЛАН:

1. Норма и патология в функционировании водных экосистем
2. Демэкологические (популяционные) и синэкологические (биоценоза, экосистемы) критерии нормы и патологии.
3. Роль и задачи патологической анатомии в ихтиотоксикологии.
4. Критерий токсичности
5. Методика токсикологических исследований

1. Одной из задач водной токсикологии является определение тех границ, при которых токсические вещества переходят физиологические пределы (норму) и оказывают вредное воздействие на организм (патология).

Понятия нормы и патологии возникли впервые в медицине.

Норма – это образец, эталон, правило, показатели гомеостаза, постоянство внутренней среды организма, а *патология* – это отклонение показателей гомеостаза в ту или другую сторону, т. е. болезнь. В медицине и ветеринарии выделяют две линии в понимании нормы:

- а) статистическая, которая использует такие критерии как гармония, сбалансированность, гомеостаз;
- б) функциональная с такими критериями как работоспособность, жизнеспособность, активность, продуктивность.

Количественно норма оценивается некоторой средней любой функции, любого показателя и плюс – минус две сигмы. Отклонение от этой средней больше, чем на две – три сигмы считается нарушением, патологией.

В водной токсикологии различают две нормы: *биологическую* и *хозяйственную*. С увеличением антропогенных воздействий возник новый критерий нормы – это оценка человеком. Человек всегда подходит к этой оценке с позиций рационального природопользования.

Принцип рационального природопользования требует системного подхода в оценке процессов, происходящих на низшем уровне для вышестоящих. Это послужило поводом для рассмотрения понятий нормы и патологии на разных уровнях организации живого.

По мнению профессора Н.С.Строганова норма на *молекулярном уровне* – это определенная последовательность и соотношение биохимических процессов, обеспечивающих функционирование органелл, клеток и органов в пределах, свойственных виду.

Норма на клеточно-органном уровне – это рост и дифференцировка, деление клеток, их деятельность, обеспечивающее функционирование органа, в который входят данные клетки.

Норма на организменном уровне – это рост и развитие, размножение, плодовитость и качество потомства, все то, что обеспечивает сохранность вида.

По Н.С. Строганову нормой считается все то, что обеспечивает жизнеспособность и процветание вида. Оценка нормы и патологии применительно к водоему исходит из требования, что в водоеме должна быть чистая вода и он должен обладать хорошей продуктивностью ценных промысловых организмов. Поэтому, исходя из требований к норме водоема, в нем должны в полной мере протекать процессы самоочищения, первичного продуцирования, достаточный уровень кормовой базы для промысловых объектов, т.е. оценку нормы водоема можно осуществлять по качеству воды и его биологической продуктивности. Хозяйственная норма начинается приобретать большее значение по сравнению с биологической. Норму и патологию на *надорганизменных уровнях* (популяция, биоценоз, экосистема) нельзя рассматривать без оценки человека.

2. Л.П.Брагинский норму и патологию на надорганизменных уровнях предлагает рассматривать с двух сторон: *демэкологии* (норма и патология популяции) и *синэкологии* (норма и патология биоценоза и экосистемы).

Демэкологический критерий нормы выражается в сохранении равновесия между рождаемостью и смертностью в популяции, в соотношениях между полами, присущих данному виду. Изменения этого равновесия в сторону смертности, преобладания самцов есть патология популяции.

Если рассматривать загрязнения как факторы среды, обуславливающие продуктивные свойства популяций, то в этом случае выделяют три основных типа прямого действия загрязнений:

1) *загрязнение может вызвать гибель определенной части особей популяции* (молодых, половозрелых или одного пола – чаще самцов). Это чаще бывает при кратком загрязнении и если не нарушены функции воспроизводства наблюдается компенсаторное повышение темпов роста и размножения (сходно с действием на популяцию хищников и промысла);

2) *загрязнение влияет на общее состояние организмов* (обмен веществ и т.п.). При этом действие загрязнения аналогично действию паразитов. Интенсивность размножения и роста особей ниже возможных для данного вида при отсутствии загрязнения, а темп отмирания выше. Популяции не имеют адаптивных резервов и рано или поздно полностью исчезают из водоема;

3) действие загрязнителей выражается в нарушении процессов овогенеза и эмбриогенеза, приводящих либо к прекращению размножения (вплоть до полной стерильности взрослых особей), либо к выметыванию неполноценного, либо нежизнеспособного потомства.

Подобное действие оказывает наиболее отрицательные последствия для популяции, особенно если загрязнители обладают кумулятивным действием (например, многие пестициды). Поэтому даже небольшие отклонения в развитии под действием загрязнений или небольшой процент нарушений требует самого серьезного внимания к действию данного токсиканта. Очень многие виды загрязнителей (многие пестициды, сточные воды химических производств, связанных со сбросом нитрированных циклических соединений) оказывают действие этого типа. Небольшие нарушения, которые в первое время не приводят к заметной потере продуктивности популяций, в конце концов, могут привести к полной ее нежизнеспособности.

Критерием нормы биоценоза (синэкологический критерий) является сохранение устойчивой структуры биоценоза (видовой состав, численность, биомасса, соотношение основных систематических групп в составе биоценоза). Нарушение структуры биоценоза, распад на бесструктурные элементы системы есть патология биоценоза.

Для выражения понятий нормы и патологии экосистем Брагинский вводит понятие буферности, характеризуя буферность как меру устойчивости экосистемы. Выражается эта устойчивость в способности экосистемы переработать определенное количество токсиканта, без проявлений интоксикации ее отдельных компонентов и сдвига равновесия в системе. *Нормальная экосистема – это система, сохраняющая свойство буферности, т.е. обладающая определенным потенциалом детоксикации.*

Основным критерием сдвига равновесия в экосистеме является устойчивое достоверное снижение соотношения первичной продукции и деструкции – биотического баланса. Чем дальше от единицы это соотношение и чем оно ближе к нулю, тем более глубоко нарушена система.

М.М.Камшилов считает, что норму и патологию экосистем следует рассматривать исходя из биотического круговорота, который включает в себя две подсистемы: сеть выедания, начинающаяся с фотосинтетиков и сеть разложения. Сеть выедания бывает первичная (пастбищная) и вторичная, которая начинается с детрита и характеризуется потреблением организмов предыдущего трофического уровня организмами последующего уровня.

В *сети разложения* участвуют микроорганизмы, которые разлагают органические остатки и отходы до минеральных элементов.

В *нормальных экосистемах* хорошо развита сеть выедания, т.е. подсистема с многоклеточными организмами. При загрязнении водое-

мов токсическими веществами сеть разложения преобладает над сетью выедания. Экосистема становится патологической.

3. Патологическая анатомия и гистология – один из разделов водной токсикологии, разработка которого имеет большое теоретическое и еще большее практическое значение.

Вскрытие рыб, погибших в результате различных отравлений, сбор экспериментального материала и данные биопсийных исследований должны составлять основу патоморфологии токсикозов у рыб.

Успешное решение большой и важной задачи биологического контроля за концентрацией токсических продуктов в водоеме во многом зависит от хорошо разработанной патоморфологической диагностики отравлений у рыб.

Патоморфология позволяет раскрыть сущность патологического процесса, дает объяснения его природы, указывает пути проникновения яда в организм и места его преимущественной локализации. Все это в сочетании с другими исследованиями помогает раскрыть патогенез токсикоза и позволяет наметить мероприятия по его профилактике. Судебно-ихтиологическая экспертиза немыслима без детальной разработки патоморфологии токсикозов у рыб.

По прогнозу выживаемости нельзя судить о безвредности того или иного загрязнителя для развивающейся икры и личинок. В этих случаях необходимы комплексные исследования, среди которых патолого-анатомические должны занимать важнейшее место. По патологоанатомическим особенностям возможна дифференциация и определение причины массовой гибели рыб от одного или другого токсиканта. Так, например, эксперименты по воздействию на карася различными химическими веществами показали, что если при действии растворов неорганических солей (калия, кальция и магния) происходит усиление слизиотделения, а при действии кислот – свертывание и помутнение покровов, ведущие к фиксации слизи (крепкие растворы HCl, H₂SO₄), то такие органические вещества, как анилин, нафтеновые кислоты производят свертывание слизи и ее отслаивание от тела в виде хлопьевидных кусков; часто под воздействием фурфуrolа роговая оболочка глаза на большем или меньшем протяжении подвергается повреждению и распаду. Через день два рыба слепнет и погибает. Зафиксирована существенная разница в патоморфологических изменениях при отравлении рыб, с одной стороны, мазутом, сырой нефтью и каменноугольной смолой, а с другой стороны – фенолом.

Определенные патологические симптомокомплексы установлены при отравлении медицинских пиявок (*Hirudo medicinalis*) загрязнителями ФОП, ХОП и фенольными соединениями.

Таким образом, водная токсикология не может развиваться как наука без разработки патологической анатомии. Материалы патолого-

анатомических исследований дают возможность дифференциальной диагностики отравлений токсикантами.

4. В решении вопроса токсичности существует два подхода:

- 1) ветеринарно-медицинский, более ранний, в основе которого лежит понятие физиологической нормы;
- 2) биологический, имеющий в своей основе биологическую и хозяйственную нормы.

При ветеринарно-медицинском подходе всякое отклонение от *физиологической нормы* рассматривается как нарушение, болезнь, которое восстанавливается с помощью лечебных средств.

Нарушение *биологической нормы* при действии токсикантов принимается за *проявление токсичности*.

Изменение хозяйственной нормы – результат токсичного действия сточных вод или их компонентов.

В основе биологического подхода лежат сохранность вида и его качество.

Основным *критерием токсичности* при действии сточных вод и их компонентов на водоросли будут изменения численности клеток, последовательности прохождения всех стадий развития и способности клеток к размножению.

При оценке действия токсикантов на *планктонных ракообразных* с использованием такого метода, как анализ численности и биомассы популяций, критериями токсичности могут быть такие показатели:

- 1) выпадение отдельных видов из состава планктона;
- 2) нарушение партеногенетических циклов;
- 3) изменение плодовитости у партеногенетических самок;
- 4) снижение общей биомассы.

Считается, что в ихтиологических исследованиях критерий токсичности должен определяться плодовитостью, сохранностью вида, качеством потомства и сохранностью хозяйственной нормы промысловых гидробионтов.

Критериями токсичности могут быть качественные и количественные признаки, появляющиеся у гидробионтов под действием токсикантов по сравнению с контрольными организмами. Другим важным критерием может быть отклонение от нормы качества получаемого потомства рыб в токсической среде. Надежным критерием токсичности является отклонение от норм таких показателей как темп роста, упитанность, вкусовые качества мяса рыбы. Эти критерии рекомендуются использовать при установлении влияния малых доз концентраций токсикантов на гидробионтов.

Все же основными критериями токсичности среды являются:

- 1) время наступления половой зрелости и появление первого потомства;
- 2) плодовитость и жизнестойкость потомства в онтогенезе.

Для оценки токсического действия химических соединений разработанная система различных показателей.

Одним из обязательных и первых показателей на токсичность является *выживаемость*. Этот показатель дает возможность определить границы трех зон токсического действия вещества: летальной, сублетальной и витальной. Хорошим показателем действия токсиканта на организм является изменение темпа роста. В длительных опытах сравнивают линейный и весовой прирост. Чаще всего незначительные дозы токсиканта стимулируют рост, высокие – угнетают.

Интенсивность газообмена также служит показателем токсичности. Физиологическим показателем чаще всего служит *сердечный ритм*. Этот показатель регистрируют у дафний, моллюсков, иногда у рыб.

Многие исследователи определяют отравление рыб по гематологическим показателям: содержанию гемоглобина, эритроцитов, лейкоцитарной формуле, реакции оседания эритроцитов (РОЭ), соотношению белковых фракций.

Одним из самых легких тестов, используемых при оценке токсического действия веществ для рыб, является рефлекс избегания токсиканта.

Патологоанатомические показатели. Производится наружный осмотр рыбы, затем ее вскрытие с описанием и фиксацией важнейших органов для дальнейшего изучения.

5. в водной токсикологии тесно взаимосвязана с вопросом о *критерии токсичности водной среды*. До сего времени этот вопрос не решен, так как биологи, медицинские и ветеринарные специалисты при решении главной задачи – охраны чистоты вод – пользуются разными методиками. Надо отметить, что в медицине и ветеринарии используют около 70 различных показателей при изучении токсичности воды и отдельных токсикантов, но в большинстве случаев – 8–10 показателей. Статистически достоверное отклонение показателя от нормы свидетельствует о токсичности вещества (критерий токсичности). Поэтому и методика организации токсикологических исследований будет направлена на установление физиологических, биохимических, патологоанатомических отклонений от нормы *особи* и установлении статистически достоверной разницы по сравнению с контролем.

При этом группы рыб (опыт и контроль) содержатся в условиях, максимально приближенных к условиям среды. Различия между опытом и контролем различаются только испытываемым фактором.

Гидробиологи (изучающие водные биоценозы) считают, что разные организмы обладают неодинаковой резистентностью к одному и тому же токсиканту. Кроме того, токсикант действует на гаметогенез, вследствие чего получающееся потомство имеет иную, чем родители жизнеспособность. Нарождающаяся молодь сразу попадает в токсиче-

скую среду (в присутствии токсиканта). Поэтому все происшедшие при эмбриональном развитии нарушения проявляются в способности к выживанию в данной среде. Происходит отбор на повышенную устойчивость особей к данным условиям. В биоценозе водоема различают *индикаторные* и *представительные организмы*.

Под индикаторным организмом понимается такой организм, который в силу своих биохимических и физиологических особенностей чутко реагирует на конкретные токсические вещества (группа веществ), при этом мы получаем два ответа: какое это вещество и насколько оно токсично для данного организма.

Под представительным организмом понимается такой организм, который по своим физиологическим и биологическим свойствам близок к той группе организмов, которую мы хотим охранять в изучаемом водоеме от влияния токсических веществ.

В наипростейшем виде, самое лучшее можно было бы взять эти охраняемые организмы и ставить эксперименты, изучать их, но это не делается по двум причинам:

1) слишком дорого ставить опыты на осетровых, лососевых и им подобных видах;

2) охранять надо не один вид, а несколько, так как охраняемый вид должен питаться, размножаться (межвидовые взаимодействия и т.д.), т.е. совершать весь цикл развития.

Пока нет такого организма, который был бы представительным для всех видов бактерий, грибов, растительного и животного мира. Поэтому при проведении и составлении методики токсикологических исследований конкретного водоема необходимо подбирать представительные организмы из разных систематических и экологических групп, которые обеспечивают все основные звенья круговорота веществ в водоеме. Лучше всего брать в качестве подопытных промысловых рыб и представителей основной фауны (растительной и животной), которыми питаются данные рыбы.

Подбор показателей на токсичность: 1) выживаемость; 2) плодовитость; 3) качество потомства; 4) дополнительные: показатели обмена веществ, которые отражают механизм действия токсиканта.

Подбор организмов. Чтобы сохранить полезные человеку виды, которые участвуют в круговороте веществ водоема, необходимо взять представительные организмы из всех основных звеньев круговорота, обеспечивающих:

а) процессы самоочистки (прежде всего разложение органического вещества – бактерии, простейшие);

б) первичное продуцирование органического вещества (растительные, животные организмы);

в) трансформацию веществ гетеротрофами вплоть до биопродукции в виде промысловых организмов.

Последнее звено весьма сложное и оно подразделяется на две группы:

нижние гетеротрофы и кормовые животные;

высшие гетеротрофы, к которым относятся промысловые животные (рыбы, моллюски, ракообразные и др.).

В зависимости от требования водопользования к качеству воды испытание может проходить для всех звеньев (например, для вод питьевого и рыбохозяйственного назначения) и ограничиться первым звеном (для вод промышленного назначения и других потребностей).

Количество организмов в опыте. Для получения достоверных данных берется не менее 3–5 рыб и не менее 10 дафний. Ставятся три параллельных опыта (три повторности).

Адаптация организмов. Предварительный период содержания в аквариумах должен быть не менее 15 дней (адаптация).

Подбор показателей и длительность опыта. Самыми надежными показателями биологической нормы являются:

а) численность популяции (количество нарождающейся жизнеспособной молодежи);

б) количество трансформируемого вещества, как, например, у бактерий (БПК, NO_2 , NO_3 , разложение целлюлозы, лигнина, фенола и других веществ).

Для рыб, моллюсков и других организмов с длинным биологическим циклом (несколько месяцев) опыты ставятся с особями, находящимися на разных стадиях онтогенеза. Учитывают во время испытания процесс оплодотворения (рыбы), эмбриональное развитие (рыбы, моллюски), выклев, личиночные стадии, окукливание (личинки водных насекомых), выживаемость, рост (мальки и сеголетки).

Если у промысловых рыб нельзя определить плодовитость в ряде поколений, то ограничиваются исследованием их реагирования на разных стадиях онтогенеза. Длительность опыта от 20 дней до 7 месяцев.

Опыты с рыбами лучше проводить в наших условиях в весеннее время (нерест промысловой рыбы, оплодотворение, эмбриональное развитие, выклев, выживаемость личинок, мальков).

Опыты с дафниями можно ставить круглый год. Опыты с прудовиками легко проводить в период июль – ноябрь.

Ориентировочным звеном в ряду испытаний водной среды на токсичность или определения степени токсичности какого-либо вещества (органической или неорганической природы) является экспресс-метод. В его основу положена методика “рыбной пробы”. Этот метод позволяет грубо определить токсичность вещества, воды по длительности выживания тест – объектов. При использовании некоторых модификаций этого метода удастся предсказать влияние ряда факторов (разбавления, окисления, температуры) на проявление токсических свойств ядохимикатов и промышленных стоков в воде водоема-

приемника.

Суть метода. В кристаллизаторы (сосуды) наливают исследуемую сточную воду или ядохимикаты определенной концентрации и помещают туда рыб. Контролем служат рыбы, содержащиеся в чистой воде одного из указанных типов вод. Отмечают время гибели половины (50%) подопытных рыб, а также характер общего поведения в исследуемой воде (заглатывание воздуха, спокойные или сумбурные движения, переворты на бок, на спину и др.) и делают выводы.

Широко применяемые методики в США, Канаде, Японии, Западной Европе по существу сведены к методике “рыбной пробы” длительностью 1, 2, 4 сут. В связи с загрязнением водоемов, особенно пестицидами, возникли заморы рыб в водоемах большинства штатов США, тоже отмечено и в других индустриальных странах. Это побудило проводить опыты на токсичность водной среды по широкой программе в течение длительного времени.

Получив ряд поколений, можно оценить каждую новую генерацию с позиций возможного сохранения вида.

Чтобы правильно сделать вывод о воздействии токсиканта на тот или иной организм (представитель вида) и прогнозировать судьбу вида в водоеме при воздействии конкретного токсиканта необходимо проводить длительные опыты на нескольких поколениях. Конечно, на это требуется много времени и финансовых затрат, но такая методика гарантирует от ошибок и дает более надежные, более обоснованные научные выводы по установлению ПДК и критерия токсичности и по токсикологической оценке получаемой продукции.

Плодовитость и качество нарождающегося потомства являются самыми существенными показателями биологической жизнедеятельности не только конкретного гидробионта, но и его биотических взаимоотношений (особенно питание) с другими гидробионтами, обитающими в конкретном водоеме в присутствии конкретного (изучаемого) токсиканта (в изучаемой концентрации).

Поэтому в водной токсикологии *биологический критерий токсичности* берется как основной, определяющий, а физиологические и биохимические показатели как дополнительные, которые объясняют механизмы реагирования организма на токсичность среды и раскрытия связей происходящих изменений с приспособительным характером для сохранности вида и качества потомства.

Самый трудный вопрос при разработке любой методики, особенно методики, изучающей биоценозы (синэкологический показатель нормы и патологии биоценоза, системы) является выбор подопытного организма, т.е. организма-индикатора. Необходимо отличать *индикаторные* организмы от *представительных* в исследуемом водоеме.

Методика исследования влияния вредных веществ (токсикантов) на водную среду и водные организмы. Лабораторные исследования по

изучению влияния токсикантов различной природы на химические и биохимические процессы, протекающие в водоеме, проводятся в модельных водоемах из 2–3 серий опытов продолжительностью до 20–30 сут.

В модельные водоемы, заполненные водой из скважин рек, озер, вносятся различные концентрации изучаемого препарата. Периодически по стандартной методике, принятой в гидрохимической и зоогигиенической практике, определяется: содержание растворенного кислорода – по методу Винклера; содержание аммиака – с реактивом Несслера; нитритов – по реакции с реактивом Грисса; нитратов – салициловым методом; окисляемость органических веществ, присутствующих в воде, – перманганатным методом; концентрация водородных ионов – рН метром; биологическое потребление кислорода (БПК) – по разности содержания O_2 в момент взятия пробы и спустя определенное время (через 1, 2, 10, 20 сут); органолептические свойства воды – вкус, цвет, запах, мутность (по 2–3 сериям опытов для каждого вещества).

Действие изучаемых веществ на процесс самоочищения определяется путем постановки аквариальных опытов. Берутся различные концентрации вещества. Длительность опытов – 20 суток. В воде контрольного и опытных аквариумов определяется содержание сапрофитных бактерий, в первую неделю – ежедневно, затем через 3–5 сут – путем глубинного посева 1 мл воды на рыбо-пептонный агар (рост происходит при комнатной температуре $18^{\circ}C \pm 2$ в течение 2 сут).

Влияние вредных веществ (токсикантов) на дафний изучается методом прямого анализа влияния испытуемых веществ на прирост биомассы (Л.А.Лесникова, 1967).

Для проведения исследования используются литровые стаканы. В каждый стакан, заполненный 1 л испытуемой жидкости, помещают 10 одновозрастных дафний на стадии М2 – начало созревания гонад. Исследуемые вещества разводятся в геометрической или арифметической прогрессии. Растворы меняются два раза в неделю. Взвешивание дафний производится на торсионных весах. Опыты проводятся 20–21 день. По окончании опытов проводится полный биологический анализ дафний (размерный состав, наполненность кишечника и его окраска, окраска тела, состояние гонад, количество зародышей в выводковой камере и их стадии развития). Оценку опытов проводят по шкале градаций этих показателей в баллах.

Опыты по выявлению влияния токсикантов на представителей бентоса чаще всего проводят с личинками хирономид (по методу А. Шапшал, 1972).

Для проведения опытов используется установка, обеспечивающая непрерывную подачу опытной жидкости по каплям сверху вниз через чашку Петри, где находятся животные (по 10 в каждой чашке). Для опыта отбираются личинки одновозрастной популяции длиной 3–4

мм.

Перед опытом в течение 1–2 сут проводится их адаптация к новым условиям (предварительный период) в небольшом количестве дехлорированной воды (в этот период они строят домики из корма – замоченного порошка гидролизных дрожжей. Слабые или поврежденные за это время заменяются новыми из тех же популяций). Перед началом основного периода опыта воду из чашек Петри отсасывают сифоном и заливают испытуемые растворы токсикантов. Кормление личинок ежедневно. Опыты продолжаются до завершения метаморфоза или до гибели личинок.

Изучение влияния токсикантов на эмбриональное и постэмбриональное развитие рыб проводится в каждом конкретном случае на определенном виде, но в наших условиях чаще всего эти исследования проводятся на икре фитофильных рыб – щуки, окуня, леща – по экологии размножения, мечущих икру на субстрат растительного происхождения. Икра получается от текучих производителей на плаву.

Оплодотворенная и обесклеенная икра помещается в чашки Петри. Обесклеивание икры производится по способу М.Вернидуба (1953).

Для контроля и разведения используется отстоянная вода озер или дехлорированная водопроводная. Замена растворов в опыте и воды в контроле осуществляется два раза в сутки для икры, один раз для личинок. В работе применяются основные и рабочие растворы, которые готовятся ежедневно из 1% -ного раствора токсиканта. Исследования проводятся в широком *диапазоне концентраций*. Каждая серия опытов ставится в 3-х повторностях. Закладывается по 150 икринок, исследуется при действии каждой концентрации токсиканта.

Икра щуки помещается в опытные растворы через сутки после оплодотворения на стадии дробления при температуре 9°C. Развитие протекает 7 сут при температуре 12°C ± 3.

Икра окуня помещается в опытные растворы также через сутки после оплодотворения на стадии начала гастрюляции. Инкубация после оплодотворения протекает 10–12 сут при температуре 13 °C ± 4.

Икра леща закладывается в опытные растворы через 2 часа после оплодотворения на стадии дробления 8–16 бластомеров. Развитие идет 4 сут при температуре 17 °C ± 4.

Описание стадий развития икры и личинок производится в соответствии с эколого-морфологическими закономерностями развития этих видов рыб.

Эксперименты с личинками проводятся в стеклянных чашках объемом 0,5 л. Выклюнувшихся личинок выдерживают в концентрациях, тождественных тем, в которых происходило развитие эмбрионов. За развитием личинок ведутся наблюдения: щуки – 10 сут, окуня – 7 и леща – 9 сут. Разные сроки наблюдения за личинками обуславливаются стадией перехода их на смешанное питание.

По окончании опытов личинки фиксируются для их дальнейшей морфометрической обработки.

Опыты на рыбах. Для установления влияния отдельных препаратов (токсикантов) на рыб проводятся экспериментальные работы в лабораторных условиях в стеклянных или других аквариумах и ванночках емкостью 50–500 л с промысловыми рыбами (каarp) или с карасем, окунем.

Подопытная рыба подбирается по типу аналогов, т.е. одного возраста и приблизительно одной массы и линейных размеров. Перед опытом рыба выдерживается не менее 2-х недель в той воде, которая используется в дальнейшем для приготовления опытных растворов. Опытные растворы меняются ежедневно. Кормление – ежедневно и через два часа после кормления производится смена раствора (для предотвращения загнивания корма).

Для выявления *острой токсичности* (LC_{100} – LC_{50}) исследуемого вещества и установления ориентировочных концентраций (скрининг) опытных растворов проводятся острые кратковременные опыты продолжительностью от нескольких часов до 3–5 сут. Концентрации токсиканта готовятся путем последовательного разведения крепкого раствора. Десятикратное разведение дает возможность выбрать необходимый диапазон исследуемого токсиканта для подострых и хронических опытов. После острых опытов ставятся подострые опыты продолжительностью 30 дней. Опытные концентрации для них готовятся двукратным разведением концентрации, при которой наблюдалось 50% гибели рыб. Всего берется 4 концентрации и контроль. После подострых опытов для установления ПДК исследуемого токсиканта проводятся хронические опыты продолжительностью 90 дней и более. Опыты ведутся в 3-х повторностях; чем больше берется рыб (12–14), но не менее 10, тем более точные получаются результаты.

Исследуемые концентрации для хронического опыта готовятся двукратным разведением той наименьшей концентрации, при которой в подостром опыте у рыб отмечаются те или иные отклонения от нормы по сравнению с рыбами контрольной группы. Исследуются 4–5 концентраций.

В период опытов все подопытные рыбы (контроль и опыт) систематически взвешиваются (индивидуально, группой) на технических весах в стакане с водой.

Помимо наблюдений за приростом биомассы рыбы ведется ежедневное наблюдение за выживаемостью рыб, общим состоянием, поведением, реакцией на раздражение, за состоянием отдельных систем организма. Если у рыб не наблюдается отклонений показателей от нормы, через 90 дней опыт прекращают и проводятся гематологические, электрофизиологические, патологоанатомические, гистологические исследования органов и систем рыб опытных и контрольной

групп. Проводится оценка органолептических показателей (прозрачность, цвет, запах, вкус, консистенция) бульона и мяса рыб при варке в соответствии с методикой органолептической оценки мясопродуктов. На основании полученных результатов устанавливается ПДК, т.е. пороговая и безвредная предельно допустимая концентрация вещества для рыб и их кормовых организмов.

Патоморфологический метод исследования при отравлениях рыб. Патоморфологический метод позволяет во многих случаях составить представление о характере и тяжести патологического процесса, возникающего при действии токсиканта. Морфологическое исследование органов экспериментальных рыб дает возможность более глубоко и конкретно судить о патогенезе (развитии) интоксикации. Для патоморфологического исследования целесообразно брать следующие органы: головной мозг, жабры, сердце, печень, желудочно-кишечный тракт, почки, селезенку и железы внутренней секреции.

Материал для морфологического исследования должен быть свежим, лучше всего, если рыбы в момент взятия живые или находятся в агональном состоянии, так как полежавшая при комнатной температуре рыба быстро подвергается гниению и органы от таких рыб уже нельзя исследовать гистологически. Так же нельзя сохранять погибшую рыбу на холоде, так как при замерзании и оттаивании в тканях возникают ложные изменения, имеющие характер дистрофических изменений. Для фиксации взятого материала предложено несколько фиксирующих жидкостей, в зависимости от целей гистоисследования. Жидкость Карнуа – для определения ДНК, РНК, полисахаридов; спирт 96% – на железо, кислую фосфатазу; жидкость Буэна и др.

Изменения отмечаются во всех исследуемых органах. Наиболее часто при остром отравлении в головном мозге наблюдаются выраженные сосудистые расстройства в виде гиперемии, мелких и крупных кровоизлияний, отека.

При подостром и хроническом воздействии различными токсикантами на фоне сосудистых расстройств, менее выраженных, чем при остром воздействии, отмечаются дистрофические изменения нервных клеток в виде вакуолизации протоплазмы, клеток – “теней”, нейронофагия и других.

Изменения в желудочно-кишечном тракте могут быть различного характера и степени. Обычно поражение ЖКТ указывает на то, что выделение и всасывание токсикантов происходит через его слизистую оболочку. При гистологическом исследовании отмечаются гиперемия и кровоизлияния, отек слизистой оболочки, некроз.

Печень играет важную роль при обезвреживании токсикантов в организме. В печени наряду с резко выраженной жировой инфильтрацией (указывает на то, что поражение печени тяжелое) наблюдается пролиферация клеток ретикулоэндотелия, отмечаются участки некроза.

В почках в зависимости от длительности воздействия токсиканта наряду с кровоизлияниями отмечаются дистрофические изменения в эпителии почечных канальцев, гломерулонефрит и межпочечный нефрит.

Действие токсикантов часто вызывает изменения в селезенке в виде отложений железистого пигмента, наличие которых указывает на хронический гемолиз эритроцитов крови.

Для более глубокого проникновения в сущность патологии при отравлении токсическими веществами применяются гистохимические методы, что позволяет выявить интоксикацию организма на ранних стадиях.

ЛЕКЦИЯ 3. ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ ТОКСИКАНТАМИ

ПЛАН:

1. Природные и антропогенные источники загрязнения
2. Классификация антропогенных стоков и загрязняющих веществ
- 3.

1. Загрязнения водоёмов могут возникать как в результате человеческой деятельности, так и в результате природных процессов. Дождевые и паводковые стоки могут опреснять Вода, солёность которой не превышает 0,1 %, даже в форме пара или льда называется пресной солёные водоёмы, увеличивают мутность, сносить в водоемы с суши органические и минеральные вещества. Солнечные лучи могут высушивать водоёмы, повышать в них концентрацию солей и других веществ.

Продукты жизнедеятельности некоторых водорослей являются сильными токсинами. Типичным примером может служить явление т.н. "красных приливов" или "эльфиньо" в теплых морях. Такое явление вызывается бурным развитием водорослей, выделения которых губят рыб и других гидробионтов.

В пресных водах токсикозы и заморы нередко возникают в результате "цветения" водоемов - сильного развития сине-зеленых водорослей. В некоторых водоемах разложение органических остатков приводит к накоплению сероводорода и других продуктов распада. Сероводородом заражены глубины Черного и Каспийского морей, когда газ получается не из-за разложения органических остатков, а от деятельности автотрофных сероводородных бактерий, которые восстанавливают серу до сероводорода.

В ряде африканских озер на глубине скопились огромные количества токсических и удушливых газов. Иногда, как, например, в Камеруне, время от времени газы вырываются на поверхность и вызывают гибель всего живого как в водоеме, так и на берегах.

Естественное загрязнение возникает при вулканической деятельности, работе гейзеров, минеральных источников, грязевых вулканов.

В ряде регионов природные воды обладают избытком тех или иных минералов, что может оказывать существенное влияние на жизнь водоёмов. Загрязнение, ведущее к гибели "всего живого", наблюдается редко. Формы жизни очень многообразны.

Есть организмы, живущие в горячих минеральных источниках – в насыщенном солями кипятке, есть организмы, для которых токси-

кантом является свободный кислород, а субстратом жизни - сероводород, который они превращают в молекулярную серу.

В результате человеческой деятельности в водоемы может поступать много загрязнителей разной степени токсичности. Вредное действие может вызываться поступлением нетоксических веществ. Избыток удобрений может привести к изменению типа водоема, его флоры и фауны, а это не всегда желательно.

Особенно нежелательно увеличение трофности водохранилищ, снабжающих водой населенные пункты, водоемов, сохранение состояния которых в неприкосновенности имеет особое значение для страны - Байкал, Иссык-Куль, Ладожское озеро.

Превращение "сигового" водоема в "плотвично-окуневый", "судачьего" в "карасёвый" в результате удобрения и повышения первичной продукции всегда связано с ухудшением качества воды.

Вредное действие может оказывать поступление в водоем большого количества неядовитых взвесей - глины, песка, слюды, целлюлозы, окиси железа.

Взвеси увеличивают мутность воды, уменьшают глубину проникновения солнечных лучей, т.е. уменьшают "фотический слой" в котором происходит фотосинтез, что ведет к понижению первичной продукции водоема и дефициту кислорода.

Увеличение донных осадков может привести к нежелательной смене фауны бентоса, заиливанию нерестилищ, гибели от удущья уже отложенной икры рыб.

Частым явлением стало так называемое "тепловое загрязнение" водоемов. Стоки подогретых, пусть даже незагрязненных вод, могут совершенно изменить тип водоема, сделать его незамерзающим зимой, перегревающимся в летнюю жару, вызвать буйное развитие несвойственных данному водоёму организмов, сменить сроки и места нереста рыб.

Польза или вред для хозяйства таких явлений должна оцениваться в каждом конкретном случае. Изменение теплового режима водоёма происходит, если его используют в качестве водоёма-охладителя для ТЭЦ или АЭС. Такие водоёмы обычно стараются использовать для выращивания товарной рыбы в управляемом режиме.

Токсичные (ядовитые) вещества попадают в водоёмы при разных видах хозяйственной деятельности. Ряд веществ используется специально для борьбы с организмами, как в воде, так и на суше. Это ядохимикаты – прежде всего сельскохозяйственные: против сорняков -

гербициды, против вредных насекомых - инсектициды, против грибов – фунгициды.

Помимо этого используются дефолианты - вещества, вызывающие для ускорение опадания листвы, например хлопчатника перед сбором урожая. Некоторые из этих веществ ядовиты не только для тех организмов, для которых они предназначены, но и для других.

Загрязнение водоемов может возникать при борьбе с малярийными комарами и другими кровососущими насекомыми, с грызунами, с сорной рыбой.

Обычно стараются использовать нестойкие токсиканты, которые, уничтожив соответствующих вредителей, довольно быстро распадаются под действием кислорода, воды, солнечных лучей, микроорганизмов и др. причин.

Однако многие сельскохозяйственные ядохимикаты отличаются высокой персистентностью, то есть долго сохраняют свою токсичность в воде, илах и даже в теле гидробионта.

Сельскохозяйственные ядохимикаты используются на суше, но дождевые потоки рано или поздно сносят их в водоемы - озера, болота, реки и моря. Эти вещества обнаружены даже во льдах полярных морей. С полей в водоемы уносится значительная часть минеральных и органических удобрений - фосфатов, нитратов, солей аммония, калия, гуминовых и альбуминоидных соединений.

Эти вещества мало токсичны, но они могут повышать трофность, нарушать экологическое равновесие в водоеме, стимулировать развитие одних организмов в ущерб другим. Иногда в водоёмы поступают отходы и навоз с животноводческих ферм.

Загрязняют водоемы стоки промышленных предприятий - металлургических, химических и прочих. Современные предприятия оснащаются очистными сооружениями, но очистка никогда не бывает полной.

Кроме того, нередки аварии очистных сооружений, аварийные сбросы неочищенных сточных вод.

Токсиканты могут поступать в водоемы не только из канализационных труб, но и с дождевыми каплями. Через заводские трубы с промышленными дымами в атмосферу уходит много продуктов горения и летучих загрязнителей, которые затем выпадают в виде кислых и загрязненных осадков.

2. Загрязнение водоемов обусловлено попаданием в них взвешенных частиц, растворенных соединений, токсичных и нетоксичных, механических загрязнений.

Антропогенные стоки поступают в водоёмы со сточными водами населенных пунктов и промышленных предприятий, а также с дождевыми водами. Немалый вред приносит водоемам спуск в них сточных вод с проходящих судов.

Атмосферные воды попадают в водоемы после кратковременного контакта с поверхностными слоями почвы. Из почвы вымываются не только легкорастворимые, но и трудно-растворимые соединения.

Количество взвешенных частиц в дождевом стоке достигает 1 г/л, а если сток идет с территории промышленных предприятий, например сланце перерабатывающего предприятия, то в нем содержится 30 мг/л летучих фенолов и до 70 мг/л нелетучих. Такой сток без предварительной очистки может принести непоправимый вред рыбохозяйственному водоёму.

Городские сточные воды состоят в основном из хозяйственно-бытовых и промышленных стоков. Особенностью этих стоков является высокое содержание в них микроорганизмов, могут присутствовать патогенные бактерии. В таких стоках много взвешенных частиц и коллоидных соединений.

В них высокий процент содержания растворенных соединений: аминокислот, минеральных солей. Присутствие промышленных сточных вод делает состав воды очень разнообразным.

Промышленные сточные воды идут от наиболее активных потребителей воды: черная металлургия, химическая, нефтеперерабатывающая промышленность, пищевая промышленность.

Во многих случаях непосредственное попадание сточных вод в водоем может привести к гибели живых организмов, составляющих биоценоз. В настоящее время в промышленных сточных водах содержится около 500 000 веществ, о действии которых биологи очень мало знают и на которые надо установить нормы их содержания в водоемах.

Загрязнение водной среды солями

Большинство стоков содержит в себе неорганические соли. Особенно много солей содержится в стоках промышленных предприятий. Соли образуются в стоках главным образом за счет нейтрализации кислот и щелочей, которые в очень больших количествах применяются в промышленных процессах.

Вредность солей для гидробионтов проявляется, прежде всего, в нарушении осмотического равновесия. Большинство простейших выводит их из своих клеток за счет откачивания сократительными вакуолями. Вода постоянно насыщается осмосом в цитоплазму, а сократительные вакуоли выводят ее во внешнюю среду.

Уже изменение концентрации соли в воде на 0,3% ведет к нарушению экскреции. В то время как рыбы мало реагируют на повышение солей в воде, беспозвоночные животные, которыми они питаются, очень чувствительны к повышению содержания солей.

Среди сточных вод особо большим содержанием солей отличаются воды сбрасываемые кожевенными заводами, которые для отделки кожи применяют различные соли. В результате количество сульфатов доходит почти до 2000 мг/л, а хлоридов - почти до 8000 мг/л.

Солевое загрязнение пресных водоемов может происходить не только за счет промышленных стоков, но и за счет проникновения морской воды в пресные водоемы.

Подобная ситуация может сложиться в водоемах, расположенных недалеко от моря и связанных с ним протоками. Если в пресном водоеме уровень воды снизится, то морская вода может войти в водоемы и погубить часть фауны и флоры.

Нефтяное загрязнение

Загрязнение воды нефтью происходит в основном из-за халатного отношения к этому вопросу людей, ответственных за это дело. Иногда воду после промывки нефтяных танкеров сливают в водоемы, иногда моют машины и выливают в реки даже отработанное машинное масло. Нефть попадает в воду с плавающих механизированных средств и с водного транспорта.

Не нужно думать, что нефть безвредна для водоемов. Даже тончайшие слои уменьшают скорость проникновения в воду кислорода. Тонкая пленка нефти может убить нейстон и планктон. Птицы, испачканные нефтью, обычно погибают. Загрязнение нефтью чревато еще и тем, что охватывает большие площади при незначительных попаданиях в воду. Один литр нефти покрывает поверхностной пленкой полгектара поверхности воды.

Катастрофы, связанные с утечкой нефти, приносят невосполнимые потери. Для примера можно привести случай с гигантским танкером "Тори- Кэньон", из которого при аварии вылилось почти 120000 тонн нефти у побережья Корнуэлла. За несколько недель нефть распространилась по пляжам Бретани и Корнуэлла. Правительство Великобритании пыталось эмульгировать нефть на поверхности воды и вылило 12500 тонн детергентов. Но мероприятие окончилось только тем, что погибло 20000 кайр и 5000 гагарок. От детергентов, о них речь будет ниже, погибли морские желуди и большая часть планктона в этом районе. Ветер унес нефть в море. Аварии танкеров случаются и в настоящее время.

Мировой океан сейчас уже настолько загрязнен нефтью и нефтепродуктами, что далеко в открытом Атлантическом океане участники экспедиции на папирусной лодке "Ра" под руководством Тура Хейердала, встречали постоянно сгустки нефтепродуктов.

Детергенты

За последнее время химическая промышленность выпустила целые серии поверхностно-активных веществ и в таком разнообразии, что многие пресноводные и соленые водоемы уже заполнены ими, хотя до конца еще далеко, не известно, как действуют новые моющие средства на гидробиоценозы.

Выяснено точно, присутствие детергентов снижает количество растворенного кислорода в воде. Микробиологами установлено, что большие концентрации СПАВ убивают живые клетки организмов, частично растворяя жироподобные вещества - липиды, которые являются обязательным компонентом клеточных мембран.

Низкие концентрации детергентов действуют подобно ядам и сходны по своему проявлению на организмы при тепловом загрязнении. Они понижают способность гидробионтов противостоять низкому содержанию кислорода в воде. Исследования американского ученого Хейса показывают, что хлопья пены, образуемые детергентами, способствуют захвату яиц гельминтов в сточных водах и их расселению на большие участки.

Помимо всего детергенты разрушают поверхностную пленку натяжения воды, что влечет за собой гибель нейстона. Эпинеuston вообще тонет в воде. Если рассматривать устойчивые детергенты в воде, то они постоянно будут приносить вред водным сообществам. По этим причинам химическая промышленность пытается выпустить быстро разлагаемые бактериями моющие средства. Такие детергенты уже выпускаются, а представляют собой алкилсульфатные соединения.

Однако у этих детергентов есть неприятные для водоемов свойства. Впервые - при разложении подсаживает показатель БПК, во вторых - образуется большое количество фосфатов, которые приводят к эвтрофикации. Выход из создавшегося положения будет найден, если промышленность создаст быстро-разлагаемые бактериями детергенты с малым количеством фосфатов.

Загрязнение воды биологически активными веществами

В настоящее время усиленно развивается медицинская и биохимическая промышленность, изготавливающая биологически-активные вещества, гормоны, ферменты, витамины, лекарственные вещества,

содержащие активноедействующие на микрофлору и микрофауну вещества типа антибиотиков.

Действие большинства биологически-активных веществ на гидрофауну и гидрофлору не изучено, вот почему к выпуску сточных вод, содержащих биологически активные вещества (БАВ), в водоемы следует подходить с очень большой осторожностью.

Иногда в воде появляются углеводороды, обладающие самыми неожиданными свойствами, они могут быть канцерогенами и не разлагаться в очистных сооружениях, либо разлагаются частично. Так американским исследователям удалось показать, что некоторые полициклические углеводороды загрязненной воды повышают восприимчивость к ультрафиолетовому облучению у инфузорий. Этот факт заставляет насторожиться и считать, что эти вещества стимулируют фоточувствительность и обладают канцерогенностью.

Радиоактивные вещества

Радиоактивные вещества оказывают вредное воздействие на организм в результате излучений, возникающих при самопроизвольном распаде ядер радиоактивных элементов. Эти излучения разрушают и изменяют химические соединения, составляющие организм (нуклеиновые кислоты, белки, жировые вещества и т.п.) и нарушают строение биологических структур (хромосом, мембран и других клеточных органелл).

Радиоактивные вещества содержатся в больших количествах в рудных телах и могут загрязнять водоемы при "урановых разработках" и переработке радиоактивного сырья.

Отдельные этапы ядерного топливного горючего предусматривают потребление больших количеств воды, которая в результате использования в технологических процессах оказывается радиоактивно загрязненной. Такую воду сбрасывают в специальные водоемы, где она испаряется или фильтруется через землю. Дополнительная очистка предусмотрена только в том случае, если воду сбрасывают в реки или другие водоемы многоцелевого назначения.

Неполное решение проблемы захоронения радиоактивных отходов и отсутствие безаварийной технологии на всех этапах ядерного топливного цикла, в том числе на АЭС, может приводить к локальному радиоактивному загрязнению среды. Выпадающие на землю с дождем и снегом радиоактивные осадки накапливаются в водоемах озерного типа. Конечным этапом миграции радиоактивных веществ является Мировой океан.

Концентрация радионуклидов в водоемах-охладителях АЭС не превышает ПДК (предельно-допустимых концентраций) и в них разрешен промышленный лов рыбы и садковое рыбоводство. В случае аварийной утечки радиоактивных веществ водоем исключается из водопользования (например, Чернобыльская авария).

На гидробионтов влияют как радионуклиды, находящиеся в воде и грунте (оказывая внешнее облучение), так и вещества, накапливающиеся в теле (внутреннее облучение). Совершенно избежать облучений невозможно, т.к. все живое подвержено космическому излучению (около 0,1 милирентгена в сутки), а также и облучению естественных радиоактивных веществ - прежде всего калия - 40 и полония - 210 (общая радиоактивность порядка 10-10 Кюри/л).

Общая мощность дозы этих источников достигает 10-5 рад/сут. Опытным путем установлены допустимые уровни радиоактивности и облучения (4 рад в год). Устойчивость к радиоактивному излучению позволяет существовать естественным популяциям без существенных изменений при уровнях облучения до 1 рад/сут. ПДК радионуклидов, таких как стронций – 90,

составляют 10-10 Кюри/л.

Значительными источниками радиоактивного загрязнения являются взрывы ядерных устройств в атмосфере и гидросфере. Однако сейчас такие взрывы могут проводить Франция и Китай, не присоединившиеся к Московскому договору о проведении испытательных ядерных взрывов под землей. Наиболее опасны долгоживущие и медленно выводимые из организма изотопы, такие как стронций-90, накапливающиеся в костях.

Распространенными загрязнителями являются изотопы иттрия, цезия, йода, кобальта, марганца, цинка.

Тяжелые металлы

Тяжелые металлы имеют атомную массу более 60 Д. В качестве токсикантов в водоемах обычно встречаются: ртуть, свинец, кадмий, олово, цинк, марганец, никель, хотя известна высокая токсичность других тяжелых металлов - кобальта, серебра, золота, урана и других.

Высокая токсичность для живых существ - это характерное свойство соединений и ионов тяжелых металлов. В металлическом виде они нетоксичны. Тяжелые металлы поступают в водоемы в токсических концентрациях обычно со стоками горнодобывающих и металлургических предприятий, а также предприятий химической и легкой промышленности, где их соединения используют в различных технологических процессах. Например, много солей хрома сбрасывают

предприятия по дублению кожи, хром и никель используются для гальванического покрытия поверхностей металлических изделий.

Соединения меди, цинка, кобальта, титана используются в качестве красителей и т.д. Тяжелые металлы имеют много общего в биологическом действии и судьбе в водоемах. Как уже было сказано, они очень токсичны, хотя многие из них необходимы в микроколичествах различным организмам (медь, марганец, хром, молибден, ванадий). Они легко образуют соединения и комплексы с органическими веществами в растворах и в организме, хорошо усваиваются организмами из воды и передаются по пищевой цепи.

ЛЕКЦИЯ 4. ДЕЙСТВИЕ ТОКСИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГИДРОБИОНТОВ

1. Общие понятия о местном, резорбтивном и избирательном действии ядов.

2. Особенности действия ядов органического и минерального происхождения.

3. Действие на гидробионтов нефти и нефтепродуктов.

4. Загрязнение водоемов поверхностно-активными веществами (ПАВ) и их действие на гидробионтов.

5. Мутагенное действие токсикантов и изменения биохимических показателей гидробионтов

6. Первичная реакция организма высших гидробионтов (рыб) на действие токсикантов

7. Специфичность действия на организм гидробионтов хлорорганических пестицидов, фосфорорганических соединений и фенолов

8. Фенолы (фенольные соединения).

9. Токсические концентрации дезинфектантов: хлора, озона, $KMnO_4$, формалина.

10. Насыщенные алифатические альдегиды (формальдегид).

1. Ядовитое (токсическое) действие многих веществ зависит от разных условий: дозы, времени, состояния организма.

С. В. Аничков ядам дает такое определение: «Яды – вещества, способные при воздействии на живые организмы вызывать резкое нарушение нормальной жизнедеятельности, т.е. отравление (токсический эффект) или прекращение жизни, смерть».

В основе многообразного механизма действия ядов на организм рыб лежат два важных свойства: 1) возможность избирательного действия на определенные ткани и органы; 2) способность влиять на физиологические функции клеток и органов.

Действие на организм рыб любых ядов подчиняется известному закону фармакологии по которому: 1) слабые воздействия на клетки или орган обычно возбуждают их деятельность; 2) средние – раздражают; 3) сильные – угнетают; 4) очень сильные – парализуют.

Установлено, что угнетению или парализу тех или иных функций рыб (чаще всего локомоторных), которые вызываются ядами, в большинстве случаев предшествует возбуждение.

Чем больше доза токсиканта, тем сильнее его действие. Существуют разные токсиканты, у которых различия между индифферентной

дозой, токсической и смертельной (летальной) дозой очень незначительны (ФОС).

Молодь рыб из-за слабо развитых у них защитных механизмов чувствительна к действию большинства токсикантов. Чем крупнее рыба, тем большую дозу токсиканта она может перенести. Такая зависимость действия токсикантов связана с тем, что токсические вещества в организме более крупных особей распределяются на большую массу цитоплазмы клеток.

Что касается пола, то большей чувствительностью к действию различных токсикантов отличаются, как правило, самки. Упитанные особи более устойчивы к токсикантам. Привыкание к токсическим веществам у рыб возможно, начиная с малых доз, а затем – больше и больше дозы увеличивают. В этом случае клетки организма адаптируются и могут переносить дозы токсиканта, вызывающие гибель рыб, которые не привыкли к нему.

Местное и резорбтивное действие. Особенности действия органических ядов (токсикантов). Существенной особенностью ТВ (токсических веществ) органического происхождения является их особое строение – химическое сродство с составными частями клеток (белками) определенных тканей. Это важнейшее отличие этих ТВ от минеральных. Вследствие этого органические яды проявляют избирательное действие на конкретные органы, ткани, биохимические процессы. И эта избирательность проявляется только при поступлении токсиканта в кровь и контакте его с конкретной тканью, клеткой, веществом клетки. При отравлениях токсическими веществами органического характера преобладают явления резорбтивного (общего) действия и прежде всего со стороны центральной нервной системы.

2. К токсикантам (ядам) этой группы относятся соли тяжелых металлов. В основе их токсического действия лежит присущее им химическое сродство с белковыми веществами. Соли тяжелых металлов, вступая с белками в обменные реакции, превращаются в соли белка и освобождают кислоту. Дальнейшее их действие определяется свойствами образующихся белковых соединений и освобождающейся кислоты. Основное место – местное действие. Для действия минеральных ядов характерно следующее:

1) вызываемые ими химические изменения в цитоплазме клетки идут настолько глубоко, что становятся необратимы, и клетки в результате такого воздействия обычно отмирают;

2) минеральные яды действуют одинаково на все клетки и ткани, с которыми они приходят в соприкосновение;

3) минеральные яды проявляют свое действие в организме непосредственно в месте своего соприкосновения с тканями, но этим не исключена возможность действия их и на отдаленные и соседние ткани после всасывания;

4) минеральные яды после всасывания, действуя на центральную нервную систему, могут оказывать влияние и на весь организм в целом.

Среди токсических веществ, загрязняющих водоемы, наибольшую опасность представляют химические соединения, попадающие в водоемы со сточными водами или из атмосферы (нефть и нефтепродукты, пестициды, детергенты, тяжелые металлы).

3. Загрязнение нефтью в настоящее время является опасностью №1, оно распространено почти по всем водоемам, как морским, так и пресным. При попадании в водоемы, нефть образует на поверхности воды пленку, которая препятствует естественной аэрации и создает дефицит O_2 . Загрязнение нефтью ведет к порче качества рыбной продукции (при концентрации нефти 0,1 мг/л запах нефти из рыбы уже не устраняется), уничтожает места нерестилищ рыб. В результате водоемы теряют свою продуктивность и не являются поставщиками ценных промысловых организмов.

Наиболее чувствителен к загрязнению нефтью и нефтепродуктами фитопланктон. Клетки водорослей погибают при концентрации нефти от 0,1 мг/л. Причем, у некоторых водорослей отсутствие деления клеток наблюдалось при концентрации 0,00001 мл/л. Под действием нефтяного загрязнения у многих водорослей происходит уменьшение интенсивности фотосинтеза, выживаемости и размножения. Влияние же нефти на выживаемость и размножение водорослей связано с уровнем первичной продукции. Установлено, что нефть через сутки вызывает снижение первичной продукции на 50%.

Организмы зоопланктона под влиянием нефтяного загрязнения начинают погибать при концентрации нефти 0,001 мл/л (1 мг/л).

Некоторые представители бентоса, например, моллюски являются относительно устойчивыми к действию нефти, они выдерживают концентрацию 50–100 мл/л. Используя эту способность моллюсков, их берут для очистки морской воды от нефтяного загрязнения. На икру и личинки рыб нефть оказывает токсическое действие при концентрации 0,1–0,00001 мл/л, взрослые рыбы устойчивее.

Действие нефти и нефтепродуктов на клетки гидробионтов обусловлено тем, что происходит разрушение липопротеинового комплекса, вследствие чего нарушаются биохимические процессы в клетках, и, в частности, нарушается синтез нуклеиновых кислот.

4. В настоящее время интенсивно развивается производство детергентов. Эти вещества находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства, в основном, в производстве синтетических моющих средств.

Производство и широкое применение ПАВ вызвали поступление этих веществ со сточными водами в водоемы. Причинами поступления ПАВ в водоемы является как несовершенство методов очистки сточных вод от ПАВ на очистных сооружениях, так и способность ПАВ,

находящихся в воздухе (выбросы заводов), проникать в водоемы с атмосферными осадками. Попадая в водоемы, ПАВ оказывают неблагоприятное воздействие на санитарный режим водоемов, истощается запас растворенного O_2 , так как он расходуется на окисление ПАВ, увеличивается концентрация нефтепродуктов за счет их эмульгирования в поверхностных пленках ПАВ.

Кроме того, из-за высокой пенообразующей способности ПАВ поверхность водоемов может иметь значительное количество стойкой пены, которая портит внешний вид водоема, препятствует использованию его для целей рекреации и др. ПАВ придают воде неприятные запахи (канифольный, мыльный) и привкусы (вяжущий, горький) и оказывают токсическое действие на гидробионтов. Особый вред ПАВ наносят рыбному хозяйству. Токсичность ПАВ для рыб во многом определяется как его видом, так и видом рыб, на которые эти вещества действуют. Незначительные концентрации ПАВ в воде понижают резистентность рыб, но на вкусовые качества мяса рыб не влияют. Например, радужная форель при концентрации анионоактивного ПАВ 5 мг/л гибнет через 10–100 ч, при концентрации 8,5–10 мг/л – через 5–6, при концентрации 15,3 мг/л – через 3 ч. Дафнии оказываются менее чувствительны к ПАВ, чем рыбы. Они погибают при концентрациях выше 10 мг/л. Концентрация 5 мг/л не влияет на развитие зеленых водослоев, а 10 мг/л задерживает их развитие.

У многих ПАВ отмечается узкий интервал между токсической и нетоксической концентрациями для гидробионтов, поэтому даже небольшое повышение содержания ПАВ в водоеме может нанести значительный ущерб рыбному хозяйству. Доказано, что для теплокровных животных ПАВ менее токсичны, чем для рыб. Некоторые ученые считают, что ПАВ опасны еще и в том отношении, что они способствуют более быстрому проникновению в организм гидробионтов других токсических веществ. Причем наблюдается усиление действия этих токсических веществ, если ПАВ находятся в воде в концентрациях, превышающих их ПДК. Есть сведения, что ПАВ способны усиливать активность канцерогенных соединений.

5. Особую опасность представляют хими-ческие соединения, обладающие мутагенной активностью. Эти соединения способны влиять на наследственные структуры организмов. Влияние на соматические клетки ведет к появлению раковых заболеваний, предрасположенности к другим опасным и тяжелым заболеваниям. Влияние на зародышевые клетки проявляется в последующих поколениях в виде различных уродств и заболеваний. Мутагенным действием обладают: пестициды, радиоактивные вещества, гормоны, нитраты, нитриты, соли тяжелых металлов, продукты нефти, угля, древесины, отдельные лекарственные препараты и т. д.

Различные токсиканты, попадающие в водоемы, обладают специфическим действием на физиолого-биохимические процессы и в разной степени накапливаются в различных органах гидробионтов. Устойчивость водных животных к токсикантам различна.

Отмечают высокую чувствительность ракообразных к хлорофосу и другим ФОП, тогда как у рыб значительно большая резистентность к фосфорорганическим соединениям, в том числе и к хлорофосу.

Устойчивость ракообразных и рыб к ПХП (полихлорпинену) примерно одинакова: LC_{50} ,⁴⁸ равняется десятым долям миллиграмма на литр. Для пиявок и моллюсков она составляет единицы и десятки миллиграммов на литр. *Daphnia magna*, *Asallus aquaticus* в экспериментальных условиях погибали при содержании ПХП – 0,2 – 0,25 мг/л, рыбы при 0,15 – 0,2 мг/л.

Анализ устойчивости пресноводных животных к токсическим веществам по данным острых опытов не выявил взаимосвязи между местом водных беспозвоночных и рыб в филогенетическом ряду и устойчивостью их к фосфору, хлорорганическим пестицидам и фенольным соединениям. Это опровергает бытующее представление о том, что более древние организмы характеризуются повышенной резистентностью ко всем абиотическим факторам, включая и токсический. К ХОП пресноводные животные проявляют примерно одинаковую устойчивость. К пестицидам антихолинэстеразного действия рыбы значительно устойчивее беспозвоночных. Среди беспозвоночных наименее резистентны ветвистоусые.

Знания физиолого-биохимических основ действия токсических веществ крайне важны для разработки мероприятий по диагностике, классификации и профилактике отравлений водных животных. В последнее время они приобретают особую актуальность и практическую направленность в связи с необходимостью развития методов биотестирования качества природных и сточных вод. Физиологические (в том числе и поведенческие) и биохимические реакции являются высокочувствительными показателями присутствия в воде токсикантов. Многие из них могут быть с успехом применены в качестве экспресс-методов при определении качества водной среды.

Оценка токсичности загрязняющих веществ для гидробионтов основывается на использовании тестов, которые наиболее полно и надежно отражают благополучие организма: *выживаемость, размножение, плодовитость и качество потомства*. Однако исследование таких биологических процессов трудоемко, дорогостояще и возможно лишь на ограниченном числе видов. Поэтому в последнее время стали уделять все больше внимания физиолого-биохимическим и поведенческим реакциям, при помощи которых можно выявлять патологию, вызываемую токсикантами задолго до нарушения целостных ответов организма. Если под влиянием загрязняющих веществ происходит стати-

стически достоверное отклонение функции от контроля, то с уверенностью можно говорить о токсичности этих веществ. Наблюдаемые изменения в физиолого-биохимических показателях следует правильно соотносить со здоровьем и выживаемостью гидробионтов.

Целый ряд токсических веществ (токсофен, бутифос, 2,4 – Д) ингибируют *синтез коллагена у рыб*. Поскольку снижение коллагена предшествует изменению роста, то определение его концентрации в позвоночнике животных можно рассматривать как прогностический тест при оценке хронического действия загрязняющих веществ на рыб.

Ингибирование ацетилхолинэстеразы мозга рыб – достаточно надежный показатель действия фосфорорганических соединений (ФОС). Снижение активности фермента имеет место как при острой, так и при хронической интоксикации и сохраняется длительное время после прекращения действия токсиканта на организм. В зависимости от величины токсического воздействия и вида рыб, исходная активность фермента восстанавливается на 10 – 40 сут. Внешние симптомы отравления исчезают раньше, чем восстанавливается активность фермента. Перед массовой гибелью рыб, при любом способе интоксикации (за исключением острой, при короткой экспозиции 0,5 – 2ч) активность ацетилхолинэстеразы мозга снижается на 75 – 90%. Изменение поведения животного при действии токсикантов может оказаться причиной его гибели или снижения его репродуктивных возможностей. Наиболее надежным показателем токсичности в этом смысле *служит нарушение комплекса фиксированных действий, направленных на достижение биологически важных целей* – питания, защиты, размножения. Комплекс фиксированных действий – это завершающая фаза инстинктивного поведения, которая мало зависит от колебаний природных факторов. Значимость поведенческих тестов возрастает, если механизм регуляции используемой формы поведения прост и управляется небольшим числом внешних факторов.

6. *Любая патология, в том числе и токсическая, в организме рыб развивается вследствие нарушения гомеостаза, который следует понимать как постоянное уравновешивание констант, функций организма с колебаниями внешней среды, т. е. непрерывный обмен, поддерживающий основные структуры и функции организма в пределах (границах) нормы.*

Гомеостаз у рыб поддерживается за счет нейро-эндокринной регуляции, т. е. за счет специальных механизмов нервной и эндокринной систем.

В патологии пресноводных и морских рыб, вызываемой токсическими веществами имеются как общие, так специфические черты (признаки).

Всякая патология развивается в рамках единого для всех животных, имеющих центральную нервную систему, общего адаптационного синдрома (Селье, 1960; Алешин, 1961; Богомолец, 1948) или общего

адаптационно-трофического синдрома, или в рамках теории стресса, хорошо разработанной в настоящее время. Суть *теории стресса* (напряжения) или теории общего адаптационного синдрома заключается в следующем:

1) любой раздражитель внешней среды сверхпороговой силы является для организма вредным (патогенным);

2) организм отвечает на конкретный патогенный фактор (сумму факторов) ответной реакцией, как приспособительной формой существования к данному фактору;

3) если патогенный фактор сильный или действует длительное время, когда истощаются запасы приспособительных реакций, организм погибает.

В развитии общего адаптационного синдрома различают три стадии:

1-я стадия – тревоги (реакция тревоги), возникает сразу же в ответ на действие раздражителя (токсиканта). Импульсы раздражения от рецепторов поступают в головной мозг, где происходит анализ раздражителя, а оттуда по нервным волокнам – к мышцам и наблюдается двигательная реакция (реакция избегания). Если фактор продолжает действовать (растворенные в воде токсиканты), то организм усиливает обмен веществ за счет выработки специальных нейрогормонов. В этом случае сигнал тревоги (раздражение) после анализа в клетках нервной системы головного мозга перерабатывается и импульсы - команды из головного мозга передаются специальным клеткам гипоталамуса (нейросекреторным нейронам), которые начинают усиленно вырабатывать и выделять в кровь гормоны (статины и либерины), действующие на интерренальные и хромоаффиновые клетки. Они выделяют ряд гормонов, стимулирующих эндокринные железы и в первую очередь надпочечники (особенно у млекопитающих), которые выделяют катехоламины (адреналин и норадреналин) и кортикостероиды (первичный эффект). Кортикостероиды (особенно глюкокортикоиды) способствуют распаду питательных веществ и в 1-ю стадию тревоги резко увеличивается образование энергии за счет распада гликогена печени и повышения содержания глюкозы в крови и ее распада в тканях, т. е. повышается уровень обмена веществ.

2-я стадия – резистентности. Если сила патогенного фактора велика, то организм повышением обмена веществ уравнивает свои функции со средой и гомеостаз как бы «повышается», приспосабливается, т. е. адаптируется. Но это возможно при условии, что пищевые потребности организма, которые увеличиваются в стадии тревоги, полностью удовлетворяются. На этой стадии и заканчивается действие стрессора – уровень обмена веществ переходит на более высокий, на такую величину затрат энергии и питательных веществ, чтобы противодействовать этому патогенному фактору.

Если же сила стресс-фактора велика, длительна или не удовлетворяются пищевые потребности, то наступает 3-я стадия.

3-я стадия – истощения. В эту стадию запас веществ, необходимых для выработки гормонов и нейтрализации вредных веществ истощается и в конце концов организм погибает. Таким образом, увеличение в крови глюкокортикоидов, кортикостероидов (кортизола и кортизона), а также адреналина и норадреналина – перичные реакции на стресс-фактор, а все последующие физиологические и биохимические изменения – вторичные.

Такая неспецифическая (общая всем рыбам и домашним животным, человеку) реакция имеет место при действии токсикантов различной химической природы: фенола, хлорофоса, патогенных бактерий, ядов кишечных паразитов, высоких концентраций меди, хрома, кадмия, ртути, аммония, сточных вод целлюлозно-бумажных комбинатов.

Вторичные и третичные реакции при действии вредных факторов (токсических веществ) у рыб тоже характерны: повышение общей возбудимости организма, проявляющейся в усилении двигательной активности, резких перемещениях («бросках») в ответ на звуковые и тактильные раздражители, увеличении частоты оперкулярных движений, изменения в условнорефлекторной деятельности, нарушение координации движений и рефлекса равновесия («прокидывание», «брюшко вверх»). Третичные – изменения показателей белкового, углеводного, жирового обмена.

7. Специфичность действия на организм гидробионтов хлорорганических пестицидов, фосфорорганических соединений и фенолов:

1. Главный механизм действия *хлорорганических пестицидов (ХОП)* – нарушение процессов деполяризации мембран мышечного и нервного волокна, т. е. блокируют передачу возбуждения в синапсе (не проявляется действие медиатора ацетилхолина).

2. Затрудняется формирование условных рефлексов.

3. Влияют на температурный преферендум рыб и водных животных. Например, суточная экспозиция атлантического лосося в растворе ДДТ концентрацией 0,02 – 0,05 мг/л приводит к повышению на 11–13⁰С избираемых температур. Суточная экспозиция ручьевой форели в растворах ДДТ различной концентрации приводит к полной потере способности выбора температуры. Таким образом ХОП (пестициды), токсичность которых повышается при низких температурах (ДДТ и его производные), смещают температурный преферендум в сторону высоких температур. Предполагают, что это связано с увеличением чувствительности рецепторов боковой линии.

4. Полихлорпинен необратимо блокирует активность нейронов обонятельной луковицы щуки за счет нарушения внутренних синаптических связей в луковице. Повреждение обонятельного восприятия

приводит к нарушению химического общения рыб, ориентации, а также к невозможности осуществлять реакции избегания.

5. ХОП влияют непосредственно на сократительную способность мышечных волокон за счет повышения свободного Ca^{++} в миоплазме (Ca^{++} не связывается саркоплазматическим ретикуломом клетки) и тем самым нарушается механизм мышечного сокращения.

6. Осморегуляторные процессы – в их регуляции существенную роль играют ферменты АТФ-азы. ДДТ (1 мг/л) тормозит активность $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{АТФ-азы}$ в гомогенатах жабр и кишечника морских рыб. ДДТ усиливает, а альдрин угнетает поглощение натрия изолированными жабрами карпа. В летальных и сублетальных концентрациях альдрин угнетает $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{АТФ-азную}$ активность жаберного эпителия и увеличивает скорость выделения ионов (утечка) из организма.

Фосфорорганические соединения. Большинство используемых в практике ФОС являются необратимыми ингибиторами холинэстераз – ферментов, разрушающих ацетилхолин. Гибель рыб связана с угнетением синаптической холинэстеразы (влияние на передачу нервных импульсов). Непосредственные (конечные, видимые) причины смерти могут быть разными: паралич дыхательного центра, паралич дыхательной мускулатуры.

Антихолинэстеразное действие ФОС основано на сходстве их структуры со структурой природного субстрата холинэстеразы – ацетилхолина и других холиновых эфиров.

Взаимодействие ФОС с холинэстеразой представляет собой реакцию фосфорилирования активного центра фермента. Образующийся фермент – ингибиторный комплекс очень прочен и в обычных условиях не дефосфорилируется, *т.е. происходит блокада фермента*. Фермент не способен выполнять свою каталитическую функцию (функцию расщепления ацетилхолина).

Вот суть механизма антихолинэстеразного действия ФОС. Установлено, что константы ингибирования холинэстераз рыб и млекопитающих имеют практически одинаковые значения ($3-9-10^3$ л/моль /мин).

Вопросы метаболизма ФОС у рыб до сего времени остаются мало изученными.

8. Группу фенолов образуют ароматические гидроксилсодержащие соединения (простой фенол – $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$), в которых гидроксилы находятся в бензольном ядре. Присутствуют фенолы и в бытовых сточных водах, и в разнообразных производственных сточных водах, в водах от пирогенного разложения топлива и горючих сланцев, в сточных водах анилинокрасочных, химико-фармацевтических заводов, заводов, производящих пластмассы, и др. *Фенолы разделяют на две группы: летучие с паром и нелетучие. Летучие с паром фенолы* более токсичны, обладают более интенсивным запахом, чем нелетучие. Особенно жесткие требования в этом отношении предъявляются к воде, поступающей в

водопроводную сеть, где она подвергается обработке хлором. Хлорпроизводные простого фенола, о-крезола и м-крезола имеют неприятный запах даже в самых малых концентрациях. Поэтому при анализе вод в первую очередь определяют содержание в них летучих фенолов. При перенесении рыб из раствора фенола концентрацией 6,25 и 12,5 мг/л в чистую воду восстановления условных рефлексов не происходит.

Воздействие даже небольших доз (от 0,01 до 1,0 мг/л) фенола является небезопасным для рыб. Как показали исследования, последствиями хронической фенольной интоксикации являются серьезные патологические изменения в жабрах, кишечнике, сердце, печени, почках, сдвиги в показателях крови, нарушения условнорефлекторной деятельности, ферментативных систем и другие отклонения от нормы.

Даже такая сравнительно невысокая концентрация фенола как 0,1 мг/л при длительном воздействии на карпов приводит к изменениям количества микроэлементов в мышцах рыб, костной ткани, крови (марганца, меди, железа, алюминия). Это объясняется тем, что при мобилизации защитных сил организма, направленных на противодействие фенольной интоксикации, происходит перераспределение количества микроэлементов в крови и других тканях, концентрация микроэлементов в коже рыб под действием малых доз фенола в хронических опытах оставалась без изменений. Местом поражающего действия фенолом у рыб чаще всего бывает нервная и мышечная ткань, а точнее – нервномышечный синапс, при этом нарушается функция (проницаемость для Na^+ и K^+) пресинаптической и постсинаптической мембран.

В целом механизм токсического действия фенола у рыб сводится:

- 1) к разобщению окислительного фосфорилирования;
- 2) угнетению активного транспорта ионов;
- 3) нарушению передачи возбуждения в мионевральном синапсе;
- 4) нарушению процессов, связанных с образованием и использованием макроэргических соединений (гексозофосфат, АДФ, АТФ, креатинфосфат).

9. Для дезинфекции (обеззараживания) воды используют различные вещества: окислители (хлор, озон, KMnO_4 , перекись водорода), формалин, малахитовая зелень и другие.

Хлор. Широко используется для обработки сточных вод. На многих городских очистных станциях сточные воды перед спуском хлорируют, в плавательные бассейны также подается хлорированная вода. Хлор сам по себе не очень ядовит, но взаимодействуя с другими соединениями, он замещает один или два атома водорода с образованием *хлораминов*, которые токсичны в концентрациях 2–3 мкг/л. Известно, что хлорамины постепенно разрушают клетки крови и окисляют железо в гемоглобине в трехвалентное, вследствие чего образуется метгемоглобин, который не способен связывать и переносить кисло-

род. Хлор, содержащийся в сточных водах, очень ядовит. С цианидами он образует сверхядовитые соединения – *хлорцианиды*. Токсические концентрации хлора для большинства рыб – 0,05 – 0,2 мг/л. Главная система, которую поражает хлор – жаберный эпителий: жабры становятся светлыми, затем эпителий разрушается и обнажаются хрящи. При очень низком содержании хлора 0,001 – 0,002 мг/л жабры покрываются слизью, а через 2 сут начинаются видимые изменения жаберного эпителия. Слизь отмечается и на коже. Наиболее чувствительны – молодь.

Токсичность хлора повышается при повышении температуры воды. Большие потери молоди рыб наблюдаются в хозяйствах, которые работают на хлорированной воде. В этом случае в инкубационных цехах необходимо устанавливать дехлораторы – добавляют в воду бисульфит, тиосульфит натрия для нейтрализации хлора.

Перманганат калия (KMnO₄) – при передозировке кожа рыб, погибших от отравления KMnO₄, приобретает коричневую окраску, легко рвется и превращается в лоскутья, эпителий жабр свертывается и наступает удушье.

Рыбы погибают через 20 ч при концентрации 0,5–1 мг/л, а дафнии – при концентрации 0,4 – 0,6 мг/л.

Озон – при озонировании воды в воде появляется молекулярный озон (измененная молекула кислорода – O₃). Сублетальные концентрации – 0,005 – 0,01 мг/л. У рыб наблюдается возбуждение, судорожные движения, дыхание неравномерное, опрокидывание на бок. Личинки комара и черви погибают через 10 мин после озонирования воды, а планктонные рачки – через 6 мин при CL озона 0,5 мг/л.

Зеленые водоросли гибнут через 10 мин при CL – 0,2 – 0,4 мг/л. Озон – сильнейший окислитель.

10. Формальдегид. Техническое, торговое название многообразно: формалин, муравьиный альдегид, формол, параформ, лизоформ и др. Бесцветный газ, с едким удушающим запахом. 37–50% водный раствор его получил название формалин, формол. Формальдегид получается путем окисления метана или путем дегидрогенизации метанола (метилового спирта).

Используется практически во всех областях: химической, металлургической, текстильной, деревообрабатывающей, резиновой, фармацевтической, парфюмерной, бумажной промышленности, строительстве, сельском хозяйстве, медицине и ветеринарии, фотографии и др.

Как антисептик используется при изготовлении взрывчатых веществ, теплоизоляции, пластмассовых деталей, бумаги, клеев, дезинфицирующих, дезодорирующих, консервирующих, моющих средств, бальзамирующих препаратов, для обработки мехов, кожи, щетины, текстиля и т. д. Он входит в состав смазочных материалов, удобрений, уретановых смол, картона, фанеры, фильтров, фунгицидов. Использо-

ется для дезинфекции животноводческих и птицеводческих помещений, для дезинфекции прудов, для консервации кормов животного и растительного происхождения, а также и некоторых продуктов питания человека.

Производство формальдегида в мире составляет ежегодно примерно 6 млн. тонн, в том числе США – 2,4 млн. тонн, Западной Европе – 1,6 млн. тонн, в России – около 1 млн. тонн.

В атмосферу поступает с выбросами химических производств, производств различных материалов, за счет вулканической деятельности, с выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания, при масловых пожарах. На 1 л израсходованного топлива выделяется 0,3–0,5 г формальдегида, а при сгорании 1 м³ природного газа выделяется от 2 до 50 граммов формальдегида. Очень много формальдегида содержится в табачном дыме – до 50–70 мкг/ на сигарету. При курении концентрация формальдегида в помещении может достигать 0,01 г/м³.

В водную среду формальдегид поступает с промышленными и коммунальными сточными водами. Например, в сточных водах заводов по производству изопренового каучука – 320 мг/л, при производстве тетрациклина (антибиотика) – до 50 мг/л, при производстве лаков, красок – до 800 мг/л, а при производстве фенолформальдегидных смол содержание формальдегида в сточных водах составляет 2,5%, т.е. 2500 мг/л. Промышленные стоки Германии содержат иногда 40000 – 45000 мг/л формальдегида.

В водной среде формальдегид подвергается биодegradации (расщеплению). В аэробных условиях при t 20°C – формальдегид разлагается в течение 30 ч, в анаэробных – 48 ч. В стерильной воде (не содержащей микроорганизмов) формальдегид не разрушается. Основные микроорганизмы, разлагающие формальдегид на безопасные вещества, относятся к родам *Pseudomonas*, *Flavobacter*, *Mycobacterium*, которые используют для своего роста и развития атом углерода и энергию при разложении формальдегида.

Токсичность для гидробионтов формальдегида представлена в табл. 1.

При дозе 10 мг/л формальдегид оказывает токсическое влияние на наиболее чувствительные виды рыб. Мясо рыбы приобретает неприятный запах при содержании в воде формальдегида 0,24 мг/л. Водоросли обладают различной чувствительностью к формальдегиду. Наиболее чувствительна эвглена зеленая – при воздействии формальдегидом в концентрации 0,075 мг/л в течение 1 ч у нее тормотится дыхание. Большинство водорослей погибают через 5–7 сут при содержании в воде 10 мкг/л формальдегида. Земноводные погибают через 2 сут при содержании в воде 100 мкг/л формалина.

Таблица 1. Токсические концентрации формальдегида для гидробионтов

Вид	Температура, °С	рН	Экспозиция, ч	ЛК, мг/л
Нитчатые водоросли	27	7,5–7,8	24	0,4
Бактерии: E. coli	25	7,5–7,8	-	1,0
Pseudomonas	25	7,5-7,8	-	2,0
Дафнии	27	7,5	24–48	2,0
Парамеции		6,9	48	4,5
Личинки амфибии			24–48	8,4–8,0
Улитка	16	7,5	1	3525
Лосось	12	6,5	96	173
Форель радужная	12	6,5	96	118
Карп			72	727
Лещ			120	50,0

Механизм общетоксического действия формальдегида связан главным образом с поражением центральной нервной системы. Формальдегид оказывает эмбриотоксическое действие, гонадотоксический эффект, мутагенный эффект, который обусловлен прямым повреждением молекул ДНК. Формальдегид – сильнейший канцероген. Совместное действие формальдегида (формалина) и ионизирующей радиации сопровождается резким усилением поражающего эффекта.

Методы определения – фотометрические.

Меры профилактики – проведение природоохранных мероприятий в соответствии с методическими рекомендациями для соответствующих производств и очищение сточных вод.

ЛЕКЦИЯ 5. ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В ВОДНОЙ ТОКСИКОЛОГИИ

ПЛАН:

1. Влияние качества воды на питание гидробионтов.
2. Влияние качества воды на строительство жилищ
3. Влияние качества воды на внутривидовые взаимодействия
4. Накопление нарушений в цепи инстинктивных движений
5. Последовательность поведенческих актов
6. Приобретенное поведение
7. Сравнительная чувствительность целостного поведения и частных реакций
8. Влияние качества воды на локомоторная активность
9. Ориентация организмов по абиотическим и биотическим факторам среды
10. Реакция избегания – привлечения
11. Сравнительная чувствительность разных форм поведения
12. Инстинктивное поведение и роль знаний по этологии.

1. Во многих случаях уменьшение количества поедаемой пищи может объясняться не нарушением пищевой мотивации, или специальных пищевых реакций, а подавлением локомоторной активности.

Количество диатомовых водорослей, съеденных мидиями (*Mytilus edulis*), уменьшается в присутствии в воде ацетата метилртути в концентрации 0,4 – 2,8 мг/л.

Кижуч поедает меньше радужной форели после раздельного и совместного действия топливных масел и полихлорбифенилов. Этот эффект сопровождается летаргическим состоянием рыб, которые не пытались нападать на плавающих форелей. Однако в другом эксперименте, где кижучам предлагали не живой корм, нарушений питания не наблюдалось. Видимо токсикант подавляет реакцию рыб на живую добычу. Нарушения питания не всегда выявляются при сублетальных концентрациях. *Daphnia pulex* в течение суток потребляет меньше пищи (хлореллы) в растворах ПХП (0,2 мг/л), перхлората аммония (ПХА) (150 мг/л) и фенола (20 мг/л). Однако действующие концентрации этих веществ при 48-часовой экспозиции уже вызывали гибель части рачков, хотя и были меньше, чем LC_{50} . ПХА в концентрации 40 мг/л вызывал увеличение потребления пищи при 24-часовой экспозиции.

Токсиканты в сублетальных концентрациях подавляют питание, хотя при промежуточных концентрациях, или при краткой экспозиции может наблюдаться и его усиление. Кроме того, сами токсиканты могут выступать в качестве аттрактантов. Креветки и омары привлекались к пропитанным керосином приманкам и поедали их. Привлечение

вызвано растворимой ароматической фракцией, а поедание – разветвленными циклическими насыщенными углеводородами.

2. Влияние токсикантов на строительную форму поведения проявляется в том, что построенные в загрязненной воде сети личинок ручейников отличаются от нормальных меньшей упорядоченностью, изменением формы и размеров ячеек. Однако минимальные концентрации токсиканта, такого как, например, фенеткарб, оказывает стимулирующее действие – число нитей в сети возрастает. Предполагается, что фенеткарб нарушает пространственную организацию движений личинок при строительстве ловчих сетей.

Сульфат меди на личинок ручейников действует иначе. Начиная с концентрации 0,125 мг/л возрастает число прерванных нитей, а с 0,5 мг/л – уменьшается количество ячеек в сети и число личинок, сооружающих сеть. Изменяется также структура самой нити, а симметрия и форма ячеек нарушаются незначительно. Медь в отличие от фенеткарба влияет не столько на движение личинок, сколько на прядильные железы.

3. Поведенческие внутривидовые отношения чувствительны к качеству воды и из-за своей сложности одновременно могут нарушаться разными путями.

Так, при хроническом действии раствора кадмия (0,1 мкг/л) у флоридки (карпозубообразные) изменяются сразу несколько компонентов нерестового поведения: ухаживание, защита территории и реакция самок на самцов. Так как внутривидовое взаимодействие особей связано с передвижением, то изменение локомоторных реакций также приводит к нарушению этого взаимодействия. Голец при длительном воздействии кадмия (0,0034 мг/л) не может нереститься из-за повышенной локомоторной активности. У самцов гуппи изучали ухаживание за самками после 15-минутного пребывания и тех и других в растворах фенола (от 3,1 до 16,7 мг/л), подсчитывая частоту проявления двух форм ухаживания за подсаженной самкой в последующие 15 мин. При концентрации 12,5 мг/л и выше суммарное число этих реакций существенно подавлялось. Видимо, нарушение поведения самцов является следствием как прямого действия на них токсиканта, так и изменения поведения самок. Агрессивное поведение и комфортные движения, которые у многих животных связаны как с агрессивными столкновениями, так и с различными внешними воздействиями и часто вызываюся в качестве смешанного поведения, также чувствительны к изменению качества воды. У кижуча после 2-часового пребывания в растворе фенитропиона агрессивные поведенческие акты наблюдались реже при 0,1 мг/л и больших концентрациях, тогда как комфортные формы поведения, связанные с двигательной активностью, сначала учащались, а затем становились реже. Последнее было связано с тем, что при наибольших изучавшихся концентрациях (0,48 и 0,75 мг/л) ло-

комоторная активность нарушалась так, что некоторые рыбы сносились потоками воды, протекавшей через аквариум.

Действие токсиканта на отдельную особь может быть связана с ее положением во внутривидовой иерархии.

Действие сублетальных доз смеси цинка и кадмия приводило к возрастанию агрессивного поведения у доминантных рыб в группе и к снижению у подчиненных. Частота комфортных действий, особенно кашля и зевоты, увеличивалась у всех особей.

Из-за того, что подчиненные рыбы не только не становились более агрессивными в опыте, но и реже, чем в контроле, кусали других рыб, частота этого агрессивного акта в целом снижалась, несмотря на то, что доминантные особи кусали других рыб несколько чаще по сравнению с контролем. Все описанные изменения усиливались с увеличением концентрации смеси токсикантов.

Известно, что подчиненные особи сильнее подвергаются групповому стрессу, а усиление комфортного поведения – один из показателей стресса. Таким образом, токсиканты в экспериментах могли влиять одновременно на все формы поведения у всех рыб, но внешнее проявление этих форм при добавлении нового стрессорного фактора было вызвано исходным состоянием рыб в группе.

Агрессивное поведение у самцов сиамских бойцовых рыбок подавляется при действии паратиона в концентрации 1 мг/л. Соотношение концентраций фенитрофия, изменяющих агрессивное поведение и вызывающих смертность для кижуча, составляет 0,1 и 2,5 мг/л.

4. Влияние хлорофоса на пищевое поведение пиявок проявлялось следующим образом. Пиявки начинают пищевое поведение с поисковых реакций, за которыми следует прикрепление к рыбе – жертве. На теле жертвы пиявки находят место для кровососания, принимают специфическую «позу кормления» и затем высасывают кровь. В сублетальной концентрации хлорофоса поисковые реакции нарушаются: прикрепление удается значительно реже, чем в чистой воде и не всегда прикрепившиеся пиявки принимают позу кормления. Последний этап (насыщение кровью) завершают только отдельные особи.

Метафос и этилпаратион снижают способность креветок спастись от хищных рыб. Этот эффект – результат изменения двух компонентов защитного поведения. Если в чистой воде креветки в присутствии хищника неподвижны и будучи прозрачными малозаметны, то в растворе токсикантов они постоянно движутся, привлекая этим рыб. Кроме того, креветки, убегающие от нападающего хищника, быстрее устают и их защитные реакции проявляются слабее.

Чувствительность сложного поведения, состоящего из отдельных этапов, выше чувствительности каждого отдельного этапа поведения. Если вероятность выполнения каждого этапа зависит от предшествующего ему, а при действии токсиканта вероятность завершения каждо-

го уже начавшегося этапа снижается, то вероятность завершения этого сложного поведения будет всегда снижена. Важные для выживания инстинктивные последовательности действий не только нарушаются токсикантами, но и оказываются чувствительнее, чем входящие в них частные реакции. Это связано с накоплением нарушений в цепи, состоящей из взаимозависимых поведенческих актов. Следовательно, питание, строительство и другие комплексные инстинктивные действия важны как для экологического прогноза, так и для разработки чувствительных биотестов.

Поиск укрытий гидробионтами, также представляющий собой поэтапную инстинктивную деятельность, нарушается некоторыми токсикантами только при концентрациях, превышающих летальный порог. Поедание гидробионтов хищниками, отражающее эффективность защитного поведения, часто увеличивается лишь при концентрациях близких к летальным. Частичное ухудшение выполнения одних этапов инстинктивного поведения при действии токсикантов может компенсироваться стимуляцией других. Например, снижение точности броска на добычу может компенсироваться более частыми бросками. Экспериментальные условия также способны маскировать действие токсиканта, если пища в аквариуме легко доступна и от животного не требуется выполнять всю цепь действий для ее получения.

Длительное голодание, часто практикуемое в токсикологических исследованиях, также не способствует тому, чтобы влияние токсикантов на пищевое поведение проявлялось в полной мере. У радужной форели при действии шести различных токсикантов число питавшихся рыб в целом оказалось менее чувствительным показателем, чем плавательная активность.

5. Наиболее точный способ изучения поведения – непрерывное регистрирование действий. В результате этого можно получить этограмму, описание порядка следования и длительности поведенческих актов. Другие характеристики поведения, например, общая продолжительность передвижения или питания могут быть выведены из этограммы. Этограмма позволяет определить как связаны между собой отдельные поведенческие акты.

Изменение частоты появления покоя после других актов происходило при действии хлорофоса на медицинские пиявки. Частота, с которой различные поведенческие акты следуют один за другим, может оказаться более чувствительным показателем, чем завершение инстинктивных цепей действий. Невозможность выполнять некоторые из начальных этапов цепи может побудить животное искать «обходные пути» к завершающему этапу. В результате цель инстинктивного поведения будет достигаться и при изменении качества воды, которое все же отразится на последовательности действий животного.

Изменение порядка следования поведенческих актов при строительстве домика у личинок ручейника наблюдалось при 0,01мкг/л концентрациях хлорофоса, однако строительство по сравнению с контролем не замедлялось существенно.

6. Как и инстинкты, *условные рефлексы* представляют собой результат объединения более элементарных форм поведения и стоящих за ними механизмов. У ручьевой форели электрическим током вызывалась безусловная реакция изгибания хвоста. Сочетание вспышек света с электротоком приводило к тому, что безусловная реакция следовала только при включении света. Предварительное содержание рыб в течение суток в сублетальном растворе ДДТ (0,02мг/л) делает невозможным выработку этого рефлекса у части рыб, у других же увеличивает число сочетаний условного и безусловного раздражителей, необходимое для обучения.

Используя специальную методику выработки групповых двигательного-пищевых рефлексов, по которой рыбы учатся подплывать к кормушке в ответ на действие условного раздражителя, изучали длительное (140 сут) влияние сублетальных концентраций фенола (3,125; 6,25; 12,5 мг/л) и ПХП (0,015 мг/л) на групповые двигательные-пищевые рефлексы гуппи. Условным раздражителем служил свет. Рефлексы вырабатывали в чистой воде и после их закрепления рыб помещали в растворы токсикантов. В течение экспозиции при низких концентрациях у рыб уменьшались проявление и сила реакции и увеличивался ее латентный период по сравнению с особями, которых содержали после обучения в чистой воде. С возрастанием концентрации эти нарушения усиливались вплоть до полного подавления условного рефлекса (при 12,5 мг/л). ПХП действовал подобным образом.

Предварительная экспозиция гуппи в тех же концентрациях фенола влияет также на скорость выработки рефлекса. При концентрации 6,25мг/л первое проявление условных реакций и их закрепление происходили позже, чем в контроле, а процент проявления и сила реакции были меньшими. При концентрации 12,5 мг/л эти отличия от контроля усиливались. Кроме того, удлинялся латентный период реакции, а выработать четких условных ответов практически не удавалось.

Токсиканты влияют также на различные характеристики условно-рефлекторной деятельности, нарушая ее на различных уровнях. Однако наименее устойчивыми к токсическому воздействию оказываются процессы, связанные с внутренним торможением – *дифференцировка и угасание*. Дифференцировка состоит в том, чтобы научить животное различать раздражители, выполняя различные реакции при действии разных сигналов. Дифференцировочные рефлексы труднее вырабатываются при различных воздействиях на организм. Угасание заключается в подавлении реакции при многократном предъявлении условного раздражителя без подкрепления.

У золотых рыбок изучали влияние фенола в сублетальных концентрациях (от 1 до 20 мг/л) на дифференцировочные двигательные рефлексы. Положительным раздражителем являлся свет постоянной интенсивности, дифференцировочным – прерывистое освещение. У рыб с выработанными рефлексами, перенесенных в раствор токсиканта (фенол 1 мг/л), дифференцировка растормаживалась, а скорость угасания существенно снижалась. Увеличение латентного периода и выпадение положительных реакций происходили при 5 мг/л, а исчезновение условной реакции – при 10 мг/л.

Разные компоненты условных реакций чувствительны к токсикантам в различной степени. *Процесс формирования навыка нарушается сильнее, чем сохранение и выполнение уже выработанной реакции.* Кроме того, дифференцировка раздражителей более чувствительна по сравнению с другими условно-рефлекторными реакциями. Влияние токсикантов на обучение происходит иногда при концентрациях на несколько порядков меньших, чем летальные.

Инстинктивная последовательность действий, и приобретенные навыки нарушаются токсикантами в концентрациях ниже летального порога.

7. Ручьевая форель, помещенная в раствор сульфата меди в течение двух часов, отвечает увеличением продолжительности локомоторной активности, увеличением частоты кашля и снижением пищевой активности. При низких концентрациях (6 мкг/л) отчетливая реакция выражается только в уменьшении числа питающихся рыб.

С увеличением концентрации фенилроутина частота проявления комфортных форм поведения кижуча, включающих локомоторную, сначала возрастает, а затем снижается практически до уровня контроля, и наоборот, частота питания, агрессивного поведения и комфортного поведенческого акта (зевания) постоянно снижается, начиная с наименьших испытуемых концентраций.

У пиявок под действием хлорофоса при концентрации 0,05 мг/л резко снижается число особей, питающихся кровью, в то время как поисковая активность изменяется очень мало.

У золотистых карасей дифференцировочные условные рефлексы нарушались при действии фенола в концентрации 1 мг/л. В то же время изменение других поведенческих реакций, в том числе локомоторной активности и питания, наблюдалось только при концентрациях не ниже 10 мг/л. Условные рефлексы оказались также более чувствительны к фенолу, чем реакция на переменный электрический ток, порог которой понижается только при 10 мг/л.

Таким образом, приобретенное и инстинктивное поведение в целом чувствительнее к качеству воды, чем регистрируемые одновременно частные формы поведения.

8. К локомоторной активности относят все действия животного, связанные с его перемещением в пространстве. Однако, во многих биологических тестах регистрируется не только локомоция, но и другие движения, такие как изгибы тела, принятие различных поз и т.п. Поэтому часто рассматривают не только локомоторную, но и двигательную активность в целом. Животные, как правило, чередуют периоды передвижения с паузами, во время которых отсутствует всякая двигательная активность. В водной токсикологии чаще всего используются методики, основанные на учете времени, затрачиваемого на движение и паузы. При прямом учете ведется непрерывное наблюдение за отдельными особями, а при косвенном, наиболее распространенном – через регулярные промежутки времени отмечается число подвижных и неподвижных особей.

Интенсивность движений, в том числе скорость перемещений в пространстве, редко используется в чистом виде из-за необходимости применять трудоемкие экспериментальные и вычислительные процедуры. Под воздействием шести различных токсикантов (пентахлорфенол, карбамил, хлордан, бутифос и др.) путем непрерывной видеозаписи движений отдельных особей и обработки этих записей на ЭВМ изучалось изменение скорости плавания у радужной форели (*Salmo gairdneri*). Запись начиналась после 4-суточного пребывания рыб в растворе токсикантов и продолжалась 2 мин. Присутствие всех токсикантов обнаруживалось при концентрациях много меньших LC_{50} 96 ч.

Локомоторное поведение рыб, помещенных в аквариум, организовано как в пространстве, так и во времени. Например, золотые рыбки (*Carassius auratus*) обследуют новый для них аквариум в течение 20 ч, систематически заходят в разные его участки, а частота их перемещений и скорость плавания закономерно меняются во времени. Эти закономерности сами изменяются при действии ДДТ в сублетальной концентрации (10 мг/л) в течение четырех сут. Такие же концентрации ДДТ вызывают изменение траектории плавания золотых рыбок, нарушая корреляцию между направлениями последовательных поворотов.

Пространственное распределение локомоторной активности может быть связано не только с исследовательским поведением, но также с выработкой стереотипных действий, что часто наблюдается у животных, помещенных в замкнутое пространство. Личинки поденок и клещи, помещенные в чашки Петри с чистой водой, передвигаются преимущественно вдоль стенок, но в растворах фенола животные начинают перемещаться по всему пространству чашки. У поденок такое изменение наблюдается в сублетальной концентрации фенола (3 мг/л). Напротив, у *Salvelinus alpinus* (голец) при воздействии низких pH увеличивается тенденция задерживания у стенок в тупиках коридора. Кроме того, может играть роль стремление покинуть токсический раствор, т.е. проявляется так называемое территориальное поведение.

Локомоторная активность, как правило, изменяется периодически, и поэтому эффект внешних воздействий зависит от фазы ее ритма. Например, у налима при рН 7,8 активность приходится на ночь, а днем рыбы малоподвижны. При рН 5 и 4 ритм исчезает, поскольку рыбы становятся столь же активными днем, как и ночью. У голянов (*Prochilus prochilus*) при повышении концентрации цинка до 0,38–0,39 мг/л общий уровень активности как днем, так и ночью сначала в течение нескольких суток возрастал, а затем снижался. В то же время максимумы активности, в норме наблюдавшиеся днем, смещались к темному времени суток. Днем ритмика активности у раков изменяется под действием кадмия.

Таким образом, качество воды отражается на многих характеристиках локомоторной активности и учет только одной из них не дает полного представления о токсическом действии. В целом же локомоторная активность оказывается более чувствительным показателем, чем смертность. Изменения в передвижении организмов, часто очень тонкие и незаметные при визуальном наблюдении предшествуют явным патологическим нарушениям.

9. Ненаправленные реакции животных в ответ на действие источника раздражения называются *кинезами* (от греч. kinesis – движение).

Кинезы характерны для животных, вынужденных отыскивать оптимум при отсутствии направленного раздражения, при «пятнистом» распределении зон сильной и слабой стимуляции или невозможности использовать дистантные органы чувств.

Принципиально иной механизм ориентации состоит в отыскании направления на источник стимуляции или от него и движении в этом направлении. Такие способы ориентации называются *таксисы* и распространены у животных, способных сравнивать сигналы, одновременно поступающие с билатеральных рецепторов или последовательные сигналы от отдельного подвижного рецептора.

При *клинотаксисе* животное ориентируется, попеременно отклоняя конечности, голову или все тело вправо и влево, и двигаясь в этом направлении так, чтобы уровень возбуждения одних и тех же рецепторов был одинаков при отклонении в обе стороны. Клинотаксис позволяет ориентироваться как на химический стимул, так и по другим раздражителям, например, по направлению лучей света.

При другом способе – *тропотаксисе* – животные передвигаются так, чтобы симметричные рецепторы были возбуждены одинаково. Подобная ориентация известна по отношению к источникам света, звука, тепловых лучей, гравитации, но не используется при поиске источника химических стимулов.

Телотаксис – способ, при котором направление движения поддерживается тем, что определенные, направленные вперед рецепторы, например, зона фиксации глаз, обращены прямо на стимул. В отличие

от клинотаксиса и тропотаксиса этот способ позволяет двигаться только к стимулу, а не от него. Телотаксис используется при зрительной ориентации на источник света или на какой-либо предмет.

Многие животные способны проявлять как таксисы, так и кинезы в зависимости от свойств раздражителя.

В экспериментальных установках, где создается резкий градиент, возможно проявление только кинезов, но не хемотаксиса. Между тем многим рыбам и беспозвоночным свойственны хемотаксисы, поэтому такие экспериментальные условия для них неестественны. Кроме того, химическая ориентация часто связана с отрицательным *реотаксисом* – движением против течения при восприятии привлекающего химического стимула, и наоборот, сносом по течению при действии отпугивающего вещества.

Многие исследователи доказали, что токсиканты различными способами блокируют химическую рецепцию.

При высоком содержании меди в воде снижается электрическая реакция в обонятельной луковице лососевых, у некоторых других рыб обнаружено повреждение этим метаболитом обонятельной выстилки; ртуть блокирует чувствительность обонятельных рецепторов. Омары (*Homarus americanus*) двигаются против потока воды, содержащего пищевой экстракт. Если же в поток добавляли медь, то омары избегали участки с высокой концентрацией металла, что приводило к снижению притяжения к пищевому экстракту.

Обнаружено также влияние качества воды на распределение водных животных по отношению к свету. В большинстве исследований применяли альтернативные камеры, где животному приходилось выбирать между темнотой и светом. Предпочтение или избегание света определяли путем подсчета животных, находящихся на освещенной половине камеры. Ясно, что если токсикант сильно угнетает или, наоборот, усиливает подвижность животных, их распределение в камере становится равномерным независимо от отношения к свету.

Доказано, что токсиканты могут влиять как на кинезы, так и на таксисы. Существенное значение может иметь действие токсикантов на реотаксис водных животных. Использование гербицида 2,4 Д (дихлорфенила) в концентрации от 2 до 7 мг/л, не вызывающих гибели рыб, показало следующее: по мере увеличения концентрации, этот гербицид вызывал уменьшение длительности проявления положительного реотаксиса и увеличение времени, в течение которого не наблюдалось ориентации. Длительность проявления отрицательного реотаксиса и скорость плавания не изменились.

Реотаксис радужной форели наблюдался реже в растворах гербицидов диквата (5 мг/л) и симазина (1 мг/л). Скорость движения против «потока» уменьшалась при концентрации диквата 0,5 мг/л и симазина 4 мг/л.

10. В лабораторных экспериментах неоднократно наблюдалось, что животные стремятся покинуть растворы токсикантов. Например, жуки, клопы, нимфы, стрекозы и пауки выползают из сосудов с фенолом в летальных концентрациях. Отмечена миграция беспозвоночных вниз по течению при загрязнении воды. Бокоплавцы и личинки поденок открепляются от субстрата и сносятся по течению при попадании в воду метилхлорпирифоса и темефоса. Наблюдения за поведением медицинской пиявки (*Hirudo medicinalis*) и гуппи (*Gambusia reticulatus*) показали, что детергент «Лотос -71» вызывал реакцию избегания, начиная с концентрации 1 мг/л, фенол – 50 мг/л, ПХП – 5 мг/л. Для детергента и фенола эти концентрации оказались много ниже максимально переносимой концентрации (МПК), а для ПХП – на уровне LC_{50} 48 ч. Хлорофос не избегался даже при LC_{100} 48 ч. Пиявки под действием «Лотоса» и фенола останавливались на длительное время перед границей потока с токсикантом, а затем поворачивали в обратную сторону. Гуппи избегали «Лотос – 71» и фенол в сублетальных концентрациях, но ПХП и хлорофос – только в абсолют-но смертельных.

Surginus carpio (карпы и сазаны) избегали воду, перенасыщенную атмосферными газами, но в концентрациях, которые даже при кратком воздействии в дальнейшем вызывали смерть. Золотые рыбки избегали ионы меди при температуре 21,1⁰С, но привлекались ими при 21,5⁰С. Самки гольца сооружают углубления в грунте для откладки икры в аквариумах с высоким рН, но избегают закисленную воду. Опыты с *Gambusia affinis* показали, что рыбы избегали пестициды в концентрациях, меньших чем LC_{50} 24 ч. Если рыбам предлагали выбирать между двумя концентрациями 2,4 Д, то они предпочитали меньшую. Водяные ослики избегали «Лотос – 71» и фенол в сублетальных концентрациях, а ПХП и хлорофос в абсолютно смертельных. Кроме того, водяные ослики привлекались промежуточными сублетальными концентрациями детергента и фенола, а также промежуточными летальными концентрациями ПХП и хлорофоса. Жаброноги проявили реакцию избегания на фенол при максимально переносимой концентрации, хлорофос – при сублетальной концентрации и реагировали на детергент и ПХП. Отсутствие у жаброногов избегания этих веществ могло быть вызвано повреждением токсикантами хеморецепторов. Это предположение подтвердилось в опыте, когда животные, предварительно помещенные на 30 мин в растворы ПХП и «Лотос», затем переставали избегать фенол.

Исследования показали, что избегание вызывают вещества, которые действуют непосредственно на химические рецепторы или оказывают быстрое общее раздражающее воздействие, а не теми веществами, которые влияют на метаболизм и центральные отделы нервной системы после проникновения через кожу. Большинство веществ способно вызывать избегание у рыб в концентрациях, меньших LC_{50} .

В природе рыбы могут прекращать нерестовую миграцию вверх по течению рек из-за стоков целлюлозобумажного и алюминиевого производств. Эти данные получены в одних случаях прямым слежением за рыбами, а в других – путем учета рыб, проплывающих вверх по ручью. В то же время животные, избегающие какой-либо токсикант в лабораторной установке, в природе могут реагировать на него иначе. Например, молодь краба в лаборатории избегает закисленную воду, но в природе при снижении pH обилие молоди не уменьшается. Атлантический лосось в лабораторных условиях избегает смесь меди и цинка в концентрации 0,021 мг/л от летального порога, но миграция вверх по реке снижается только при загрязнении 0,35 – 0,43 мг/л от этого порога, при 0,80 мг/л миграция практически прекращается.

Для того, чтобы определить, какие именно ориентационные механизмы могут проявиться у данного вида животного при изменении качества воды, требуется не только учитывать распределение животных в среде, но по возможности вести непрерывное наблюдение за их передвижением и реакциями. Знание механизмов ориентации позволит делать более надежный прогноз для природных условий, а также точнее определять пороговые концентрации токсических веществ, вызывающие некоторые поведенческие реакции.

Активность двустворчатых моллюсков. У двустворчатых моллюсков периоды активного обмена со средой (при открытых створках раковины) чередуются с пассивными (при сомкнутых створках). При неблагоприятных условиях среды пассивные периоды становятся продолжительнее, что можно рассматривать как снижение двигательной активности и как разновидность избегания.

У мидий при снижении солености до 19%, содержания кислорода в воде до 3 мг/л, а также концентрациях поверхностно-активных веществ 0,1 – 1,0 мг/л увеличивается продолжительность пребывания с замкнутыми створками. У гребешка те же изменения среды вызывают не изоляцию, а увеличение двигательной активности. Однако медь в концентрации 0,05 мг/л вызывает у гребешка закрытие створок.

Сернистая медь (CuSO_4) в концентрации 10^{-1} мг/л вызывает гибель некоторых животных в течении 7–17 сут и увеличивает время пассивного обмена со средой до 95%.

При остром воздействии (1 мг/л) створки закрываются сразу, а затем нарушение работы запирающей мускулатуры снова приводило к их открытию. У этого же вида длительность активных периодов сокращается при действии растворов CdCl_2 и парахлормеркурибензоата в концентрациях 10^{-6} и 10^{-4} мг/л, причем последняя из них летальна. Грамоксон действует, начиная с 10^{-3} мг/л, летальная доза 10^{-1} мг/л.

Токсиканты могут действовать на работу мускулатуры, тем самым нарушая способность моллюсков закрывать створки. ПАВ вызывают

этот эффект у *Mytilus edulis*, но при таких концентрациях и такой длительности экспозиции, которые уже вызывают гибель моллюсков.

Фазовый характер поведенческих реакций. Поведенческая реакция организма на присутствие токсиканта может быть разной в зависимости от его концентрации. Например, при сравнительно небольших концентрациях уровень двигательной активности может оказаться выше, чем в контроле, но при более высоких – ниже. Подобным же образом величина реакции может возрасть в начале экспозиции в растворе токсиканта, а затем снижаться при длительном пребывании животного в той же неизменной концентрации.

У большинства видов рыб под действием фенола вначале наблюдается беспорядочное быстрое плавание, затем возбуждение спадает и наступает потеря рефлекса равновесия, судороги, нарушение ритма дыхания. Аналогичное поведение в растворах фенола описано у турбеллярий (ресничные черви) и нематод, олигохет (малощетинковые черви). При этом фаза снижения двигательной активности сопровождается судорогами. У пиявок такие же фазовые изменения наблюдаются в растворах карбофоса, рогора, ПХП и детергента «Лотос – 71».

Атлантический лосось и ручьевая форель в амплитуде температур выбирают разные температуры в зависимости от содержания ДДТ в воде. Низкие концентрации ДДТ понижают предпочитаемую температуру по сравнению с чистой водой, а высокие повышают. Например, динитрофенол в широком диапазоне концентраций, вплоть до вызывающей 100% смертность (DL_{100}), вообще не влиял на предпочитаемую температуру у атлантического лосося, цианистый калий по мере повышения концентрации постепенно понижает предпочитаемую температуру.

Фазовое изменение реакций наблюдается и в экспериментах по избеганию водными животными растворов химических веществ. Водяные ослики (*Asellus aguaticus*) проявляют как избегание, так и привлечение к растворам детергента и фенола. Привлечение малыми концентрациями сменяется избеганием при концентрации, в 10–20 раз выше.

Механизмы фазовых изменений реакций могут быть различными. Однако эти изменения отражают общую закономерность реагирования организма на изменение факторов среды.

Сравнительная чувствительность разных компонентов поведенческих реакций. Каждая форма поведения складывается из многих компонентов. Изучение влияния ДДТ на исследовательское поведение золотых рыбок, показало, что средняя частота смены участков в аквариуме и средняя скорость плавания рыб не изменялись под действием ДДТ. Однако разброс этих показателей в течение суток в опыте и контроле значительно различались. Действие ДДТ увеличивало или уменьшало величины обоих показателей в зависимости от времени действия.

У морского сома к присутствию в воде меди уровень локомоторной активности оказался менее чувствительным, чем траектория движения.

У водяных клопов, помещенных в аквариум в горизонтальном потоке белого света, по мере увеличения концентрации хлорпромазина уменьшаются амплитуда и скорость движения, а также число перемещений к свету и от него.

11. Исследования по сравнительной чувствительности разных форм поведения, полученные одновременно в течение одного эксперимента, проводятся достаточно редко.

У двустворчатого моллюска (*Mytilus edulus*) под действием ПАВ продукция биссусной нити снижается быстрее, чем способность закрывать створки раковины при раздражении.

Биссус (греч. *byssos* – хлопок) – секрет биссусовой железы, которая находится в ноге моллюска. Секрет затвердевает в виде нити и этими нитями моллюск прикрепляется к субстрату. В древности пинны и другие народы из этих нитей изготавливали тончайшую ткань – биссон.

У другого представителя этого класса – *Cardium edule* – зарывание в ил нарушается при меньших концентрациях ПАВ, чем защитное втягивание сифона.

У гольяна (*Phoxinus phoxinus*) сравнивали реакцию избегания с двигательной активностью при действии фенола. При концентрациях, когда двигательная активность резко подавлялась, а плавание становилось беспорядочным и некоторые рыбы даже погибали, избегания не наблюдалось.

Исследования особенностей поведения гидробионтов при действии различных токсикантов привели ученых к заключению о возможности идентификации токсикантов по поведенческим реакциям. Например, при действии меди, кадмия и цианида ритм вентиляторных движений жаберных крышек изменяется быстрее и при меньших концентрациях, чем плавательная активность. Фенол и аммиак действуют противоположным образом. Это различие можно объяснить тем, что фенол и аммиак в первую очередь раздражают обонятельные рецепторы.

Другие известные специфические симптомы интоксикации проявляются уже при летальных концентрациях или близких к ним. Например, у пиявок сем. *Hirudinidae* при действии летальных и сублетальных концентраций ФОП задние сегменты подворачиваются под вентральную поверхность тела и закручиваются, а при действии ПХП под брюшко подворачиваются передние сегменты.

Таким образом, изменения в поведении животных при действии токсикантов наступают значительно раньше и при меньших концентрациях токсических веществ, чем явные признаки отравления и гибель животных. Это относится к хлорорганическим и фосфороргани-

ческим пестицидам, тяжелым металлам и фенолу, детергентам и низким значениям рН.

Установлено, что поведение животных в лабораторных условиях управляется мотивациями, необязательно существенными в природе. Животные, попавшие в замкнутое пространство, пытаются покинуть его и все наблюдаемые в таких условиях эффекты токсикантов могут быть опосредованы через эту доминирующую мотивацию бегства. Поэтому прямое перенесение результатов лабораторных экспериментов в природу неоправдано. В природе поведение складывается из целых интегрированных комплексов различных форм поведения, в частности из инстинктивных цепей поведенческих актов. Таких комплексов немного и они связаны с питанием, размножением, строительством, защитой от врагов и т.п.

Учет изменений многих форм поведения одновременно позволяет повысить чувствительность методов биотестирования. Для этого следует учитывать комплексные изменения в поведении и выяснить механизм действия токсикантов на поведение.

Принципы действия качества воды на поведение. Методы психофармакологии. Условные рефлексы у беспозвоночных. Условные рефлексы используются для определения порога действия фармакологических и токсических веществ. В поведенческой фармакологии химические препараты независимо от их прямого биологического и физиологического действия на организм рассматриваются как сигналы, обладающие свойствами, общими для всех раздражителей. Химические препараты, подобно зрительным и слуховым сигналам, могут служить безусловными, условными, дифференцировочными, подкрепляющими и обстановочными раздражителями.

Высокая чувствительность дифференцировочных условных рефлексов позволяет использовать условнорефлекторные методики в водной токсикологии. Однако это не всегда возможно. Биотесты должны быть непродолжительными, а выработка условных реакций у многих беспозвоночных затруднительна.

Если животное занято выполнением какой-либо деятельности, то влияние посторонних факторов на нее тем меньше, чем выше уровень мотивации к этой деятельности. Поведение, определяемое сильной мотивацией, реже прерывается и заменяется поведением, относящимся к другой мотивации. Содержание O_2 в воде на последовательности поведенческих актов у морских полихет (*Nereis*) влияет определенным образом. Эти акты включают ирригацию (прокачивание воды через трубку, что связано с дыханием), поиск (вытягивание из трубки и ощупывание субстрата) и затаивание при внезапном раздражении. Скорость чередования этих актов зависела от внешних раздражителей, в частности от содержания в воде O_2 и пищевых экстрактов. Время спонтанного перехода от ирригации к поиску (т. е. длительность акта ирригации,

за которым следует поиск) тем больше, чем меньше содержится кислорода в воде. Однако такая зависимость имеет место только при отсутствии пищи. При добавлении в воду пищевых экстрактов содержание O_2 никак не влияет на время перехода: оно остается всегда коротким, т.е. *усиление пищевой мотивации приводит к тому, что снижение содержания O_2 (вплоть до нулевого уровня) перестает отражаться на поведении червей.*

Некоторые поведенческие реакции гидробионтов, например оборонительные, могут быть настолько важны для выживания, что их осуществление незначительно зависит от «посторонних» мотиваций и внешних воздействий. В этих случаях говорят об *иерархии форм поведения*. Если одна реакция биологически важнее другой, то она будет при наличии пусковых стимулов для обеих реакций подавлять другую реакцию, но не будет подавляться ею. Для полихет такая иерархия могла бы выглядеть следующим образом: пищевое поведение – ирригация – защитное поведение (в порядке снижения ранга в иерархии).

Рассматривая изменения качества воды как раздражитель и учитывая, что приобретенные реакции легче изменяются химическими веществами тогда, когда они выполняются относительно плохо, предполагается, что и врожденное поведение будет изменяться под действием токсикантов сильнее.

Токсикант представляет собой часть общего потока внешних воздействий на гидробионтов и способен изменять поведенческие реакции, вызываемые другими раздражителями. При этом очевидно, что выполнение реакций может как ухудшаться, так и улучшаться. Например, у гуппи плавательная способность усиливается по сравнению с контролем при низком содержании ФОП в воде, а при повышении их концентрации – падает.

12. Подавляющее большинство экспериментов по влиянию качества воды на поведение проведено в искусственных условиях. Вредное воздействие токсикантов может быть модифицировано огромным числом постоянно меняющихся факторов, которые в лабораторных условиях невозможно не только воспроизвести, но даже просто учесть. Труднее всего поддается изменению влияние пространственной структуры местообитания животного: объема, глубины и площади водоема, рельефа дна, территории, в пределах которой обитает животное. Для мелких гидробионтов, ведущих одиночный образ жизни, эти трудности можно частично обойти, создав в лаборатории подобие водоема, с набором растительных и животных видов, обеспечивающих естественный круговорот веществ, или используя модельные естественные водоемы. Для некоторых бентических беспозвоночных это вполне возможно, так как их индивидуальные территории часто ограничены несколькими десятками квадратных сантиметров, а внутривидовое взаимодействие между особями отсутствует даже при их высокой

плотности. В таких водоемах с естественными процессами многие факторы могут быть воспроизведены.

Однако для большинства животных, особенно для стайных мигрирующих рыб, такой подход нереален. Можно вести телеметрические наблюдения за рыбами в зоне загрязнения, но это только констатирует факт влияния загрязнения на поведение в данных условиях, а для прогнозирования крайне недостаточно.

Более перспективным представляется изучение закономерностей действия качества водной среды на механизмы управления поведением. Невозможно воспроизвести все факторы, которые могли бы изменить реакцию животного на токсикант, но знание механизма, управляющего данной реакцией, позволяет, по крайней мере, очертить границы ее возможных изменений. Если, например, животное в аквариуме активно передвигается, а при внесении токсиканта становится менее подвижным, это еще не означает, что в природе его реакция будет такой же. Может оказаться, что фоновая активность в природных условиях низка и при отсутствии загрязнения. Прогноз возможен только тогда, когда известны причины высокой активности. *Поэтому, любому поведенческому токсикологическому эксперименту должен предшествовать этологический анализ поведения – выявление причин, целей и последствий проявляемых животным реакцией.*

Этология позволяет найти общий подход к проблеме прогноза влияния качества воды на поведение в природных условиях.

Несмотря на множество изменчивых внешних факторов, действующих на организм, ясно, что организованное целенаправленное поведение возможно только в случае, если животное не автоматически реагирует на любые изменения среды, а активно выбирает лишь те из них, которые соответствуют его внутреннему состоянию и биологически значимы для него.

Факторы, определяющие поведение и чувствительность к качеству воды в природных условиях. Животные, помещенные для опыта в новую обстановку, могут пытаться покинуть ограниченный объем аквариума, а также исследовать его. Если объем мал и не соответствует потребностям животного, мотивация к выходу из замкнутого пространства и исследовательская мотивация могут сохраняться неопределенно долго. Поэтому даже после предварительной адаптации к условиям проведения эксперимента нельзя быть уверенным, что наблюдавшийся эффект токсиканта не связан с его действием именно на эти мотивации, тогда как в природе они могут проявляться редко.

В течение опыта животных можно вообще не кормить или позволять им наедаться до насыщения. В природе животные чаще всего питаются неравномерно, а потребность в поиске пищи и готовность реагировать на пищевые раздражители изменяются. Молодь рыб после суточного голодания избегает хлор в воде в больших его концентраци-

ях, чем после кормления. В этом случае ослабление избегания связано, по-видимому, с поиском пищи. Нехватка пищи, угроза со стороны хищников, факторы, вызывающие миграцию, могут изменить реакцию на загрязнение воды.

Сила мотивации зависит также от уровня фонового раздражения, а этот уровень, как правило, в естественных условиях выше, чем в лабораторных условиях. Помимо мотивации для проявления соответствующего ей поведения нужны специфические пусковые стимулы. Многие животные избегают определенные внешние воздействия, скрываясь в убежищах, которые в лабораторных условиях обычно отсутствуют. При проведении опытов с загрязнением воды продуктами нефтепереработки показано, что у нимф поденок, лишенных убежища, частота биений жабр (а также смертность) выше, чем у насекомых, которые имели возможность прятаться в стеклянных трубках.

Ориентирующие раздражители в экспериментальных условиях особенно часто отличаются от естественных. Животные могут использовать взаимозаменяемые ориентиры. Например, ориентация при вертикальных миграциях планктона может направляться одновременно отрицательным хемотаксисом и положительным фототаксисом. Поэтому нарушение световой ориентации под действием токсикантов в лаборатории еще не означает, что загрязнение воды повлияет на миграцию в естественных условиях.

Для надежного прогнозирования необходимо строгое соответствие мотиваций и специфических раздражителей в лабораторных экспериментах и в естественных условиях. *Для прогнозирования имеет смысл рассматривать только такие нарушения поведения под действием токсикантов, которые важны для выживания вида и размножения.* Далеко не все реакции на загрязнение имеют жизненно важное значение для организма. Заключение об опасном изменении качества воды можно делать лишь тогда, когда целостное поведение приводит к достижению цели с меньшим успехом, чем в обычных условиях. Если снижение эффективности поведения вызвано не только отклонением начальных этапов, но и нарушением фиксированного завершающего этапа, то это свидетельствует о том, что нарушен механизм управления поведением.

Если при загрязнении воды частота достижения биологической цели не уменьшается, но возрастают затраты на осуществление, можно говорить о снижении приспособленности особи и об опасности данного уровня загрязнения.

Этология позволяет наметить пути для прогнозирования действия загрязняющих веществ в воде на поведение животных в естественных условиях и для оценки биологического значения этого действия. Однако эти предсказания и оценки касаются только индивидуальных организмов, тогда как прогноз влияния загрязнителей необходим для по-

пуляций и экосистем. Известно, что снижение приспособленности и даже гибель части особей могут обернуться возрастанием продуктивности животного сообщества в целом. Для прогнозирования влияния качества воды на уровне сообществ, требуется переход от изучения поведения животных к экологическому моделированию.

ЛЕКЦИЯ 6. ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ГИДРОБИОНТОВ

ПЛАН:

- 1. Общие закономерности и особенности накопления тяжелых металлов водными организмами.**
- 2. Влияние металлов на организмы планктона и бентоса**

1. Антропогенная деятельность и отходы промышленности оказывают настолько сильное влияние на водные экосистемы и наносят ущерб природным ресурсам, что в последние десятилетия основные рыбные запасы как пресных так и морских вод значительно подорваны, а в некоторых случаях и полностью потеряны. Некоторые из оставшихся рыбных стад загрязнены тяжелыми металлами и органическими веществами до такой степени, что возникли серьезные вопросы об их пригодности быть пищей для человека.

В начале 70-х гг. возникло значительное беспокойство по поводу содержания ртути, а также других тяжелых металлов, таких как свинец и цинк, в организме рыб и во внешней среде. Опасения по этому поводу у нас в республике после чернобыльской аварии оправданы, и исследования сложной роли тяжелых металлов в почве и водной среде ведутся активно. Внесены коррективы в допустимые концентрации содержания тяжелых металлов в промышленных стоках. Эксперименты показывают, что в теле человека, животных и рыб откладывается значительное количество тяжелых металлов, хотя большая часть их выводится.

В некоторых случаях тяжелые металлы оказывают на рыб прямое воздействие. Установлено, что смывы с отвалов пород, поднимаемых на поверхность при добыче угля, калийных удобрений становятся более кислыми и обогащаются значительным количеством растворенного калия, цинка (Zn^{++}) и других металлов. Такая вода одновременно стимулирует образование у рыб слизи и вызывает ее коагуляцию. В результате мембраны жабр рыб оказываются покрытыми таким толстым слоем слизи, что рыбы задыхаются. В экспериментах со сточными водами целлюлозно-бумажной фабрики цинк, содержащийся там, вызывал снижение ряда показателей в крови кижуча.

Распределение тяжелых металлов в органах и тканях гидробионтов характеризуется большой неоднородностью и преимущественной локализацией в периферических органах и тканях. Минимальные концентрации отмечены в мышечной ткани, максимальные – в жабрах и

костях. В органах, ответственных за процессы секреции, экскреции и депонирования, отмечается повышенное содержание микроэлементов.

Загрязнение сточными водами, содержащими Рв, приводит к накоплению его в клеточных стенках и периферических вакуолях зеленых водорослей. Свинец при длительном воздействии вызывает почернение хвостового плавника у кумжи, искривление позвоночника, эрозию хвостового плавника и в конечном счете вялость и паралич. Икра и личинки рыб более чувствительны к свинцу, чем взрослые рыбы. Однако концентрации свинца, вызывающие эти явления, определить очень трудно. В жесткой воде свинец взаимодействует с другими растворенными веществами с образованием карбонатов, сульфатов, хлоридов и гидроокиси свинца, которые имеют различную растворимость, коллоидность или выпадают в осадок в зависимости от рН воды, поэтому для количественного определения свинца, способного проникнуть в функциональные системы рыб, требуются очень точные химические методы.

Каким образом свинец влияет на обмен веществ животных пока не установлено, но поскольку симптомы отравления свинцом частично сходны с вызываемым недостатком витамина С и триптофана, можно предположить, что свинец, вероятно, блокирует метаболические пути синтеза витамина С и триптофана.

Способность к накоплению тяжелых металлов у моллюсков имеет свои особенности. Установлено, что марганец и цинк как в раковинах, так и в мягких частях моллюсков накапливается в значительно большей степени, чем свинец, медь и никель. В отличие от двустворчатых, брюхоногие моллюски накапливают в мягких тканях в четыре раза больше меди и в 10 раз меньше марганца.

По отношению к взвеси моллюски являются концентраторами, при этом двустворчатые концентрируют только марганец, а брюхоногие – все элементы.

Исследования действия тяжелых металлов на личинок хирономид показали, что для хирономид наиболее токсична медь. Действие меди снимает органическое вещество, очевидно это связано с высокой способностью элемента к образованию стойких комплексов, к которым организмы менее чувствительны, чем к самой меди.

Присутствие дополнительного органического вещества увеличивает токсичность свинца, марганца, кадмия, цинка для моллюсков и цинка для хирономид, т.е. образование органокомплексов с этими металлами вызывает негативные сдвиги в жизнедеятельности беспозвоночных.

Альгицидные свойства полиметаллических руд. Для профилактики и борьбы с «цветением» воды в водоемах некоторыми исследователями рекомендуются полиметаллические руды и продукты их переработки, содержащие микроэлементы. Эти руды обладают альгицидными

ми свойствами. Внесение в воду альгицидных доз полиметаллических руд в качестве полимикродобрения может вызывать поступление в организм рыб избыточного количества микроэлементов. Как показали исследования, в результате длительного действия вносимых в воду альгицидных доз полиметаллических удобрений концентрация микроэлементов в тканях карпов значительно возрастала. Увеличивалось количество марганца, меди, железа, свинца, алюминия в кожной, мышечной и костной тканях, повышалось потребление кислорода и снижалось количество белка в сыворотке крови у подопытных карпов. Часто полиметаллические руды содержат много кадмия. Наиболее интересные исследования по влиянию солей кадмия в составе полиметаллических руд проведены на американской аквариумной рыбке (*Salvelinus fontinalis*). В момент нереста под влиянием кадмия (3 мг/л) происходит перевозбуждение самцов и наблюдается их массовая гибель (из 10 самцов погибают 9). В концентрации 1,7 мг/л и ниже нерест проходил нормально, но прирост молоди за 16 недель опыта был в два раза меньше, чем в контроле.

Содержание производителей вьюна (*Misgurnus fossilis*) в растворах полиметаллических руд, где была ртуть, приводит к ухудшению качества икры и повышению процента уродств у личинок, независимо от того содержались ли в растворе самцы и самки или представители только одного пола.

2. Медь – химический элемент, с атомной массой 63,5. Сравнительно малоактивный металл, который достаточно легко вступает в реакции с галогенами, серой, селеном. С водородом, углеродом и азотом не взаимодействует даже при высоких температурах.

Как и некоторые другие металлы, медь входит в число жизненно важных микроэлементов. Она участвует в процессе фотосинтеза и усвоения растениями азота, способствует синтезу сахара, белков, крахмала, витаминов и в малых дозах жизненно необходима всему живому (кровотворение, дыхательные ферменты).

Концентрация меди в воде в дозе 0,5 мг/л (биотическая доза) способствует утилизации эмбрионами белого амура железа, висмута и никеля, однако при этом понижается способность эмбрионов к накоплению цинка. Токсичная доза меди для икры и эмбрионов белого амура составляет 5,0 мг/л, но при такой дозе резко снижается концентрация марганца в икре и эмбрионах.

Многие соединения меди широко используются как средства для борьбы с вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур (в основном серноокислая медь). Серноокислая медь в качестве альгицида вносится и в водоемы. Комплексное соединение меди с аммиаком – аммиакат меди $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4 (\text{H}_2\text{O})_2\text{SO}_4]$ применяется для борьбы с эктопаразитами рыб. Окуни погибают при концентрации меди 0,25 мг/л через 40 ч.

Гибель форели наблюдается, если концентрация меди превышает 0,1 мг/л. Очень чувствительны сиговые – гибнут при концентрации меди – 0,1 мг/л.

Рыбы пиявки погибают при концентрации 0,08 мг/л через 24 ч. Пресноводные полипы (гидры) гибнут при концентрации меди 0,0004 мг/л. Парамеции – при 0,5 мг/л.

Санитарно-гигиенические ПДК по меди – 0,1 мг/л, а в воде рыбохозяйственных водоемов – 0,01 мг/л.

Марганец – элемент достаточно распространенный в земной коре, так как он содержится в количестве 0,1% от общей массы. Как микроэлемент присутствует в живых организмах, играя важную роль в обмене веществ, и влияя на процессы кроветворения.

В практической деятельности человека широко используется в виде KMnO_4 как важный антисептик и окислитель. Повышенная концентрация марганца в водных экосистемах приводит к накоплению его моллюсками, где он концентрируется в основном в мягких тканях. ПДК MnO_2 – 10 мг/л; MnCl_2 – 1 мг/л.

Цинк – химический элемент с высокой активностью, в результате чего всегда на воздухе покрывается пленкой. Присутствие в воде цинка уже в концентрации 0,1 мг/л снижает уровень гемоглобина в крови рыб. Это активный микроэлемент влияет на рост и развитие растительных организмов. ПДК в воде для санитарно-бытовых целей 0,1 мг/л, для рыбохозяйственных водоемов – 0,01 мг/л.

Кадмий. По химическим и физическим свойствам кадмий больше всего похож на цинк. Он медленно растворяется в кислотах, но к действию щелочей устойчив. Широко используется в лакокрасочной промышленности. Относится к группе высокотоксичных металлов. Летальные концентрации этого металла для многих видов пресноводных и морских рыб лежат в пределах от 0,01 до 2 мг/л. Установлено, что концентрация хлористого кадмия 4 мг/л приводит к гибели 10-дневных личинок русского осетра за 14 ч, 20-дневных за 29 ч, 30-дневных за 8,5 ч, а 60-дневные мальки погибают в течение 48 ч. Хрящевые ганоиды на ранних стадиях более устойчивы к действию кадмия в сравнении с морскими и пресноводными видами костистых рыб.

Летальная концентрация хлористого кадмия (LC_{100}) для личинок русского осетра – 4 мг/л, для личинок севрюги – 8 мг/л.

Кадмий хорошо растворим в воде. Осаждается и накапливается в донных осадках. Явление биоаккумуляции четко видно у моллюсков и ракообразных. Кадмий тормозит процессы самоочищения водоемов. Загрязнение почвы и водоемов сохраняется длительное время после прекращения последнего загрязнения.

Например, в Англии на территории, примыкающей к старинным плавильным печам, которые не работают со средних веков, концентрация кадмия до сего дня в сотни раз выше фоновых показателей и там

не ведется хозяйственная деятельность человека (разведение рыбы, выращивание сельскохозяйственных растений, откорм животных – запрящено). Механизм действия: Cd – конкурирует с Zn, а отсюда – угнетение синтеза гликогена в печени, эмбриотоксическое действие.

В поверхностных водах концентрация кадмия изменяется от 0,01 до 20–40 мкг/л. У беспозвоночных содержание кадмия обычно ниже чем в водорослях, где оно колеблется от 0,15 до 340 мг/1кг сухого вещества. ПДК кадмия – 0,005 мг/л.

Кобальт является жизненно важным элементом, входит в состав витамина В₁₂, на его долю приходится 4,5% массы витамина В₁₂.

Летальные концентрации хлористого кобальта для личинок белуги находятся в пределах от 0,1 до 10 мг/л. Используется хлористый кобальт, как удобрение водоемов в дозе 1 кг/га. Применение его повышает численность фитопланктона, его биомассу, способствует увеличению биомассы протококковых водорослей. Доза хлористого кобальта 0,5 кг/га увеличивала на 20% выживаемость личинок растительноядных рыб. Кобальт обладает и канцерогенными свойствами. Содержание кобальта в водоисточниках не должно превышать 0,1 мг/л. ПДК–0,05 мг/л в пересчете на ион кобальта.

Мышьяк обычно находится в воде в виде арсенат-ионов, входит в состав некоторых минеральных вод, содержится в сточных водах обогачительных фабрик, металлургических заводов, предприятий, производящих инсектициды и пестициды, часто встречается в смывах с площадей земли, где применяли инсектициды. По химическим свойствам более всего похож на фосфор. Чистый мышьяк не столь ядовит, как его соединения, в том числе и покрывающая его оксидная пленка. Некоторые неорганические и органические соединения мышьяка входят в состав ряда лекарственных препаратов. ПДК–0,05мг/л.

Железо в больших или меньших концентрациях почти всегда присутствует в пресных водах. Большое количество железа поступает в реки и озера с подземными водами, со сточными водами металлообработывающей, металлургической, текстильной, лакокрасочной промышленности и с сельскохозяйственными стоками. Железо в поверхностных водах находится в растворенном, взвешенном и коллоидном состояниях. Эти соотношения зависят от химического состава вод, pH и от температуры воды. В двухвалентном состоянии железо находится лишь при низких значениях pH. При pH 8,0 основной формой является Fe(OH)₃. Растворенное железо представлено соединениями, находящимися в ионной форме. В речных и озерных водах содержание железа редко превышает 1 мг/л. В болотных и грунтовых водах содержание железа существенно возрастает. Содержание железа в воде более 2мг/л значительно ухудшает органолептические свойства, придавая ей неприятный вяжущий вкус, и делает воду малоприспособной для технических целей. ПДК железа в питьевой воде – 0,5 мг/л, для трехвалентно-

го железа – 0,05 мг/л. Железо является биоактивным элементом и оказывает большое влияние на развитие гидробионтов. ПДК – 0,5 мг/л.

Молибден. В поверхностных водах находится в основном в форме MoO_4 . В речных водах его содержание колеблется от 2 до 10 мкг/л. Молибден необходим для жизнедеятельности растений, животных и человека. Он участвует в азотном обмене, необходим для действия ферментов. В растениях обычно накапливается в листьях. Однако недостаток этого элемента снижает содержание хлорофилла, ведет к увяданию и скручиванию листьев. У человека и животных при повышенном поступлении молибдена в организм развивается подагра.

Механизм отравления молибденом: 1) оказывает влияние на медный и фосфорно-кальциевый обмен (замещает фосфор в костях), вследствие чего прекращается рост скелета; 2) в печени понижается содержание меди и функция цитохромов нарушается.

Ртуть и ее соединения – отличаются высокими коэффициентами поглощения бурными водорослями и интенсивностью вовлечения в водную миграцию. В водных экосистемах содержится (кругооборот) до 10 тыс. тонн в год. Из 1 м^3 дождя на землю выпадает 200 мкг ртути, т.е. за год более 100000 тонн. Это в 15–20 раз больше, чем ее добывают во всем мире. Суммарное количество ртути в океане 206 млн. тонн, в наземной биомассе – 0,5 млн. тонн.

Только за счет сжигания угля в течение XX века нагрузка ртути на единицу площади суши земли увеличилась в 10 раз (с 0,7 до 6 г/км²). Из производимого в мире количества ртути (15 тыс. тонн) безвозвратно теряется 70% и включается в кругооборот почвой и водой. Водные гидробионты аккумулируют большое количество ртути. Ртуть отличается высокой токсичностью для любых форм жизни.

Гидробионты. Экологические последствия отражаются прежде всего на организмах водной среды – нарушение фотосинтеза и подавление жизнедеятельности одноклеточных водорослей в дозе 0,1 мкг/л.

Концентрация ртути 5–10 мкг/л и выше приводит к нарушению жизнедеятельности на ранних стадиях развития рыб, снижению их скорости роста, подавлению обонятельного анализатора, нарушению клеточного дыхания в жабрах и снижению ферментативной активности клеток печени и почек. Кумулируется почками. Пары ртути – нейротоксичны. Наступает торможение деятельности коры больших полушарий. Очень высока нефротоксичность, гонадотоксичность, эмбриотоксичность и тератогенное действие.

Ртуть относится к соединениям I класса опасности. ПДК – 0,001 мг/л.

Методы определения основаны на поглощении паров ртути водным раствором иода и иодида калия.

Меры профилактики – одной из главных мер является разработка технологических процессов, исключающих применение ртути (или ртутьсодержащих соединений). Категорически запрещается хранение

и прием пищи, а также курение в помещениях, где имеет место выделение паров ртути.

Свинец – общие запасы на планете до 100 млн. тонн, главным образом в виде сульфата свинца. В окружающую среду ежегодно поступает до 210 тыс. тонн свинца. Природный фон во всех компонентах окружающей среды имеет тенденцию к увеличению. Особенно фон резко возрос на территории Беларуси после чернобыльской аварии. Воды мирового океана содержат более 41 млн. тонн свинца при средней концентрации его 0,03 мкг/л.

В речных водах и озерах Беларуси его содержание колеблется от 0,2 до 8,7 мкг/л. Некоторые виды планктона обладают способностью накапливать (концентрировать) свинец в 12000 раз. Свинец широко используется в производстве кабелей, аккумуляторов, красок, лаков, производстве стекла, глазури, эмали, в резиновой промышленности, производстве спичек, в производстве пластмасс, в борьбе с вредителями сельского хозяйства (ортоарсенат свинца), этилированный бензин и др. Объем добычи свинца в мире – свыше 2,5 млн. тонн в год. В атмосферу и на поверхность земли ежегодно выбрасывается металлургическими предприятиями около 100 тыс. тонн, при сжигании каменного угля – 40 тыс. тонн свинца. В результате чернобыльской аварии загрязненность отдельных водоемов свинцом превышает в десятки раз ПДК. В результате производственной деятельности человека в Мировой океан попадает ежегодно до 700 тыс. тонн свинца. Особо опасны сточные воды производств: металлургического, металлообрабатывающего, машиностроительного, химического, химикофармацевтического, нефтехимического, спичечного, а также производств военнопromышленного комплекса. По данным Эйзингера (1979) интенсивное техногенное поступление свинца в среду обитания привело к увеличению его содержания в ней в ходе эволюции на 4 порядка, т.е. в десятки тысяч раз. Сильно загрязняются поля Беларуси свинцом при интенсивном внесении минеральных удобрений, при известковании почв доломитовой мукой.

Токсическое действие свинец проявляет на все виды гидробионтов. У большинства видов рыб наблюдаются интоксикации при концентрациях свинца 0,1 – 0,4 мг/л. Нитрат свинца при 0,1 мг/мл вызывает гибель колюшки, при дозе 1,6 мг/мл задерживает рост головастиков, при 5 мг/мл убивает дафний в течение 24 ч.

Хлорид свинца вызывает гибель сига при 0,33 мг/л, дафний – при 0,01 мг/л. Сульфат свинца токсичен для рыб в дозе 25 мг/л. Рыбы способны обнаруживать свинец в воде и избегать его. С годами в тканях крупных рыб заметно возрастает количество свинца в мышцах, т.е. происходит кумуляция, что служит признаком (показателем) длительности загрязнения. Свинец умеренно токсичен. Поражает ЦНС, синтез белка нарушается, оказывает гонадотоксическое и

эмбриотоксическое действие, воздействует на генетический аппарат клетки. ПДК–0,1мг/л.

Методы определения свинца в воде и рыбопродуктах – спектрометрия и полярография.

ЛЕКЦИЯ 7. ВЛИЯНИЕ ПЕСТИЦИДОВ НА ВОДНЫЕ ОРГАНИЗМЫ

ПЛАН:

1. Пестициды и их общая характеристика.
2. Пестициды и окружающая среда. Основные пути превращения пестицидов.
3. Скорость разложения пестицидов в водоемах и персистентность различных пестицидов в организме рыб.
4. Токсичность инсектицидов, гербицидов и моллюскоцидов для рыб и других гидробионтов.

1. Многие живые организмы способны наносить ущерб здоровью человека, животным, птицам, рыбам, растениям, а также разрушать неметаллические и металлические материалы и изделия из них. По подсчетам энтомолога Н.Н.Богданова-Котькова, значительный вред могут наносить около 68 тыс. различных насекомых и клещей из более 1 млн. видов существующих на земле членистоногих. Такие насекомые как комары, переносят возбудителей малярии и ряда других болезней, блохи – чумы и туляремии, вши – сыпного тифа, муха цеце – сонной болезни, комнатная муха может распространять более 200 желудочно-кишечных инфекций. Многие грызуны являются носителями опасных заболеваний, которые легко распространяются на человека через насекомых. Насекомые и клещи являются переносчиками вирусных заболеваний растений. Например, тля является переносчиком вирусных заболеваний картофеля, свекловичная муха – заболеваний сахарной свеклы. Большинство насекомых обладает чрезвычайно высокой плодовитостью – самка колорадского жука за сезон дает потомство 30 млн. экземпляров, а обычная комнатная муха при благоприятных условиях дает за лето поколение в несколько миллионов экземпляров. Еще быстрее происходит развитие и размножение микроорганизмов. Большой ущерб наносят вредные организмы сельскому хозяйству, особенно вредители, болезни растений и сорняки. Считается, что эти потери составляют 34% от потенциально возможного урожая.

Вредные организмы разрушают различные неметаллические и металлические материалы, пластмассы, растительное и синтетическое волокно, каучук, резину, стекло, нефтепродукты и др. Это и хорошо (идет превращение веществ) и плохо, так как изделия быстро изнашиваются.

Водоросли, моллюски и различные другие водные организмы, поселяясь на подвижной части судов приводят к значительному снижению их скорости, коррозии, повышению расхода горючего. Ежегодные

потери от обрастания судов в США оцениваются в 1 млрд. долларов, других странах – от 500 до 900 млн. долларов в год.

Водорослями и другими гидробионтами обрастают не только суда, но и портовые сооружения, градирни, гидротехнические сооружения, полностью могут зарастать водоемы. В связи с этим, во всех странах мира уже с давних времен проводится разработка и использование средств и методов защиты животного и растительного мира от вредных организмов и сорняков, что имеет большое хозяйственное, экологическое и санитарно-гигиеническое значение. Из многочисленных современных средств и методов защиты растений наибольшее распространение получил химический метод – использование химических соединений, уничтожающих вредные организмы. Химический метод эффективен также для защиты различных материалов и изделий из них от биологического разрушения.

Химические вещества, используемые для уничтожения различных видов вредных организмов или для предупреждения их развития называются *пестицидами*. В зависимости от того, на какие вредные организмы действуют пестициды, их разделяют на следующие основные группы:

акарициды – для борьбы с клещами (каратэ);

альгициды – для уничтожения водной растительности и водорослей, главным образом CuSO_4 ;

антисептики – для предохранения металлических и неметаллических материалов от разрушения микроорганизмами. К этой же группе относятся препараты, используемые для дезинфекции с целью уничтожения патогенных для человека и животных микроорганизмов;

арборициды – для уничтожения нежелательной древесной и кустарниковой растительности;

афициды – для борьбы с тлей;

бактерициды – для борьбы с бактериями – возбудителями бактериальных и вирусных болезней человека, животных (в том числе рыб), растений;

гербициды – для борьбы с сорными растениями. К гербицидам в большинстве случаев относят также арборициды и альгициды;

зооциды – для борьбы с грызунами. В зарубежной литературе эту группу веществ часто называют *родентицидами* или *ратицидами*;

инсектициды – для борьбы с вредными насекомыми;

лимациды или *моллюскоциды* – для борьбы с различными моллюсками, в том числе и с брюхоногими;

ихтиоциды – для борьбы с вредными видами рыб;

крустациды – (*crusta* – кора) для отделения коры от древесины, для борьбы против обрастания стенок отдельных полостей сооружений, емкостей минеральными веществами (корками, накипь).

К пестицидам относят также регуляторы роста растений – химические средства стимулирования и торможения (*ретарданты*) роста растений и вегетации водорослей, препараты для удаления листьев (*дефолианты*) и подсушивания растений (*десиканты*), применяемые для облегчения трудоемких работ по уборке хлопчатника, сои, картофеля и других культур, препараты для отпугивания (*репелленты*), привлечения (*аттрактанты*) насекомых и их стерилизации (*половые стерилизаторы*).

Все это огромное количество химических соединений должно производиться (загрязняя при этом атмосферу, сточные воды и прилегающую к заводам территорию), транспортироваться, складироваться и применяться. При этом с каждым годом производство и применение пестицидов увеличивается. Например, только в России и Беларуси (и в странах СНГ) производство пестицидов с 1960г. по 1985г. возросло более чем в 10 раз и достигло (в пересчете на 100%-ное действующее вещество) примерно 350 тыс. тонн, а в 2001 году произведено около 500 тыс. тонн.

Мировое производство пестицидов к 2000 году достигло 5 млн. тонн в год и их стоимость составляет около 40 млрд. долларов. Темпы поиска новых пестицидов столь велики, что каждый год патентуется несколько тысяч только одних гербицидов.

Все это огромное количество пестицидов вместе со смывами удобрений попадает частично и в рыбохозяйственные водоемы и оказывает разнообразное, в том числе токсическое, влияние на гидробионтов.

Основные требования к пестицидам. Мировой ассортимент пестицидов, применяемых в различных странах, насчитывает более 1000 наименований (по действующим веществам), но наиболее широко используются около 300 химических наименований. Они должны отвечать соответствующим требованиям.

1. Одно из важнейших санитарно-гигиенических требований к пестицидам – возможно более низкая острая и особенно хроническая токсичность их для животных, рыб, человека.

2. Химические препараты должны быть безопасны в обращении и исключать возможность острых отравлений.

3. Остаточные количества пестицидов в пищевых продуктах растительного и животного происхождения не должны оказывать вредного влияния на организм человека.

4. Отсутствие у пестицидов blastomogennого, teratogennого (воздействие на эмбрион с возникновением аномалий и пороков развития, т.е. уродств), mutagenного, gonadotropного, embryotokсического действия и других возможных отдаленных последствий.

5. Особое требование предъявляется к персистентности пестицидного препарата, т.е. продолжительности сохранения в объектах окружающей среды: растениях, водорослях, моллюсках, фито- и зоопланк-

тоне, тканях рыб и др. Она зависит как от физических, так и химических свойств препарата. Из физических свойств на персистентность наибольшее влияние оказывает летучесть. Чем меньше летучесть, тем более продолжительное время пестицид может находиться в окружающей среде (например ДДТ – в донных отложениях сохраняется десятки лет и плотва, выловленная в озерах п. Ленино до сего времени имеет привкус и запах ДДТ, так как в 60-е годы ДДТ интенсивно использовался. С 1970г. – запрещен к использованию в сельском хозяйстве Беларуси).

6. Избирательность действия.

7. Отсутствие кумулятивной (накопление) способности, исключаящее возможность вредных последствий для гидробионтов.

К сожалению, все эти требования носят чисто теоретический характер, т. к. хозяйственная и экономическая целесообразность диктует совершенно другие подходы.

В настоящее время нет ни одного пестицида, который бы не оказывал то или иное токсическое действие на гидробионтов, обитающих в водоемах.

Поэтому главная задача специалистов – рыбоводов – недопущение попадания пестицидов в водоемы, где разводится рыба и знание вопросов закономерностей действия пестицидов (каждого вида) на гидробионты, а также знания по разработке способов и методов, снижающих токсический эффект пестицидов на организм рыб и других гидробионтов. Необходимы для этого знания и по превращению пестицидов в отдельных объектах окружающей среды.

2. Все химические соединения, в том числе и пестициды, включаются в кругооборот и циркулируют в объектах окружающей среды (в атмосфере, гидросфере, почве, растениях, гидробионтах, организмах животных и человека). Длительность циркуляции отдельных веществ различна.

Персистентные пестициды, особенно содержащие такие элементы как ртуть, мышьяк, свинец, селен, кадмий способны накапливаться в объектах окружающей среды (особенно в гидробионтах) и наносить серьезный ущерб.

Пестициды с высокой летучестью и низкой химической персистентностью сравнительно быстро разрушаются и не накапливаются в объектах окружающей среды. Вещества же достаточно стабильные и липофильные, т.е. растворимые в жирах, особенно быстро накапливаются в гидробионтах. Например, коэффициент биоконцентрирования (накопления) ДДТ для радужной форели составляет 124; пентахлорфенола – 5360; карбарила – 947; нитро – 2,5 – дихлорсалициланилида – 10000. При такой высокой степени концентрирования хлорорганических соединений в гидробионтах и других объектах окружающей среды они могут накапливаться в пищевых продуктах (мясо рыбы, кре-

ветки и другие гидробионты) и представлять опасность в смысле токсического воздействия на человека.

Основные пути превращения пестицидов происходят в атмосфере, гидросфере и почве.

Атмосфера. Пестициды попадают в атмосферу непосредственно с выбросами предприятий, на которых производятся, а также непосредственно при использовании их путем опрыскивания или опыления наземными средствами или с помощью авиации, а также в результате испарения с поверхности почвы или воды. Конечно, очевидно: наибольшее количество пестицидов попадает в атмосферу в момент их применения. Основными процессами, которые определяют поведение пестицидов в атмосфере, являются: диффузия в верхние слои, осаждение на почву и в водоемы, фотохимическое разложение, гидролиз водными парами и окисление кислородом воздуха и озоном.

Поэтому при выборе пестицидов для практического применения наиболее желательны пестициды, которые быстро разлагаются в атмосфере с образованием нетоксических продуктов.

Гидросфера. Пестициды могут попадать в водоемы в результате непосредственного внесения в водоемы препаратов, например, для борьбы с комарами и другими вредными насекомыми, из атмосферы, из почвы и со сточными водами предприятий, где они производятся, а также во время паводков и дождей.

Из атмосферы пестициды попадают в водоемы вместе с осадками в виде капель или твердых частиц сносимых ветром при авиационном и даже при наземном опрыскивании растений. В водоемах пестициды подвергаются химическим воздействиям (гидролиз, окисление, фотосинтез) и биохимическим воздействиям, когда пестициды поглощаются гидробионтами и в их организме происходит метаболизм пестицидов.

Кроме этих двух механизмов, пестициды могут адсорбироваться донными отложениями водоемов и сохраняться в них длительное время (ДДТ – десятки лет).

Поэтому одним из важных критериев выбора пестицида для конкретного хозяйства, где занимаются выращиваем рыбы, является токсичность пестицида для гидробионтов и способность его к биоконцентрации гидробионтами, в том числе – накопление пестицида в планктоне, позвоночных (рыба) и беспозвоночных. Этот факт должен быть решающим, особенно при использовании персистентных пестицидов, которые накапливаясь в организмах гидробионтов, могут приводить их к летальному исходу. Большинство фосфорорганических инсектицидов труднорастворимы в воде, поэтому их много бывает в донных отложениях и значительно меньше в воде и в тканях рыб. Хлорорганические инсектициды обладают наибольшей способностью накапливаться в органах и тканях гидробионтов. Именно это обстоятельство является

причиной резкого сокращения их использования и запрет на использование таких препаратов как ДДТ, препаратов диенового синтеза и других хлорорганических соединений в Беларуси.

3. Большое значение имеют пути и скорость метаболизма пестицидов в различных водных организмах, что непосредственно связано с накоплением пестицидов и скоростью выделения их из живых организмов.

Разложение пестицидов под действием микроорганизмов в донных отложениях происходит наиболее быстро в тех случаях, когда образуются гидрофильные метаболиты. По продолжительности сохранения в гидросфере и других объектах окружающей среды все пестициды делятся на 6 групп препаратов с периодом полного разложения: 1) более 18 месяцев; 2) до 18 месяцев; 3) до 12 месяцев; 4) не более 6 месяцев; 5) 3 месяца; 6) до 3-х месяцев.

Под полным разложением обычно понимается разрушение пестицида в результате химических и биохимических реакций с образованием практически нетоксичных веществ. Период разложения одного и того же пестицида сильно зависит от метеорологических условий, типа экосистемы, населенности водоема, состава и свойств донных отложений. Интенсивность разложения большинства пестицидов в водных экосистемах протекает тем выше, чем выше температура окружающей среды, интенсивность солнечного излучения и аэрация водоемов.

Данные, характеризующие скорость разложения некоторых пестицидов в речной воде (остаток в % от первоначального количества), приведены в табл. 2,3.

Из приведенных в табл. 2 и 3 данных видно, что персистентность пестицидов для рыб сильно зависит от химической структуры активнейшего вещества и метаболических путей превращения в организме гидробионтов.

Таблица 2. Скорость разложения пестицидов в речной воде (остаток в % от первоначального количества)

Препарат	Через 2 недели	Через 4 недели
Гексахлорциклогексан	100	100
Дильдрин	100	100
Эндрин	100	100
Фенурон	60	20
Тиофос	50	30
Монурон	40	30
Карбофос	25	20

Таблица 3. Персистентность различных пестицидов в организме рыб

Препарат	Персистентность
ДДТ	Более 18 месяцев

Полихлоркамфен	Более 6 месяцев
Дильдрин	1 месяц
Дикват	3 недели
2,4 – Д	1 неделя
Симазин	Менее 3-х суток
Линдан	Менее 2-х суток
Карбофос	Менее суток

4. Токсичность инсектицидов. Аналоги ДДТ. Сам ДДТ почти не растворим в воде, хорошо растворяется в масле, спирте, ацетоне. ДДД – дихлордифенилдихлоэртан – использование его в количестве 112 г/га водоема вызывало гибель рыб после 14 обработок.

ДФДФ – дифтордифенилтрихлоэртан – по токсичности равен ДДТ. Личинки комара погибают при концентрации 0,0012 мг/л инсектицида.

Гексахлорциклогексан (гексохлоран $C_6H_6Cl_6$) – используют в лесной промышленности для предохранения древесины от поражения насекомыми. Обладает очень высокой кумулятивной способностью. Задерживается в жировой ткани рыб. Механизм действия на рыб – нервно-паралитическое действие: рыбы возбуждены, выпрыгивают из воды, затем наблюдаются судороги, паралич дыхания. Отмечается отравление рыб при поедании кормовых организмов. Для семги – токсическая концентрация – 0,02 мг/л, для личинок стрекоз – 0,08 мг/л.

Токсафен – (полихлоркамфен $C_{10}H_{10}Cl_8$) – инсектицид контактного и системного действия. При обработке прудов из расчета 140 г/га он летален для всех видов рыб.

Хлордан – ($C_{10}H_6Cl_8$) менее токсичен чем ДДТ, но токсичнее гексахлорана. Очень чувствителен к нему серебряный карась – погибает при концентрации 0,08 мг/л, концентрация 0,5 мг/л токсична для большинства прудовых рыб.

Альдрин. Концентрация инсектицида 0,001 мг/л смертельна для отдельных видов рыб. Радужная форель погибает при концентрации 0,005 мг/л.

Полихлорпиринен. Препарат плохо растворяется в воде, хорошо в органических растворителях. Промышленностью выпускается в виде концентрата, содержащего 65% действующего вещества, 20% трансформаторного масла и 15% вспомогательных веществ (ОП-10). Применяют преимущественно для борьбы со свекловичным долгоносиком и колорадским жуком, а в рыбоводстве – в качестве ихтиоцида для уничтожения сорных рыб. Используют его для предохранения древесины от поражения насекомыми. Токсический эффект его для всех видов рыб (каarp, окунь, плотва, ерш, щука, налим, линь) 0,1 – 0,05 мг/л и ниже.

Наиболее чувствительна молодь на стадии малька. Ученые высказывают следующее опасение: в лесосплавных водоемах концентрациях

ПХП возрастает до 0,26 мг/л и наступает полное уничтожение рыб и многих кормовых объектов рыб.

Фосфорорганические соединения (ФОС). Механизм токсического действия ФОС – антихолинэстеразное действие. Практически все ФОС представляют собой яды нервно-паралитического и энзиматического действия. ФОС угнетают активность эстераз, протеаз, пероксидазы и повышают активность каталазы. Наиболее широко используются:

Хлорофос ($C_4H_8O_4Cl_3P$) – широко применяемый инсектицид. До 1998 года широко использовался для обработки КРС против кожного овода (гиподерминхлорофос), а в рыбоводстве – для уничтожения эктопаразитов рыб. 1–2%-ные растворы хлорофоса токсичны для карповых рыб. Для форели и щуки летальная концентрация – 1 мг/л, для окуней – 0,75 мг/л, плотва выдерживает до 30 мг/л. Кумуляция хлорофоса не высокая. Запрещен для использования в животноводстве.

Метилнитрофос ($C_9H_{12}O_5NSP$). Это контактный инсектицид и акарицид. Используется для борьбы с гнусом. Так как основным местом вылода комаров и других кровососущих насекомых являются болота, пойменные водоемы и мелководные места озер, используемые рыбой для нереста и нагула, метилнитрофос и фосфамид используют для обработки водоемов с целью уничтожения водных фаз развития насекомых. При хронической интоксикации рыб клинические признаки проявляются через две недели после отравления в виде угнетения, ослабления дыхания, паралитического состояния, залегания на дно. Гибель годовиков карпа наступает при концентрации 13 мг/л. Кумулятивные свойства выражены слабо.

Фосфамид ($C_5H_{12}O_3NSP$, рогор) – выпускается в виде 40%-ного концентрата желтого цвета с очень неприятным запахом. Это контактный и системный инсектицид и акарицид. Применяется в качестве лаврицида. При отравлении рыб фосфамидом наблюдается вялость, замедление движения, на внешние раздражения рыбы не реагируют.

Летальная концентрация для карпов 15 мг/л, окуней – до 40 мг/л.

Тетраэтилпрофосфат (C_2H_5)₄P₂O₇, терр, по токсичности равен ДДТ. Для всех видов рыб токсическая концентрация – 0,25 мг/л и выше.

Тиофос (паратион, E – 605). Имеет запах чеснока. Инсектицид контактного действия. По токсичности равен ДДТ. Концентрация 0,3 мг/л летальна для всех рыб. Очень чувствительны к тиофосу дафнии.

Трихлорметафос-3 (трихлорофос). Широко используется в качестве инсектицида. Применяется для борьбы с оводами крупного рогатого скота, северного оленя и другими паразитами сельскохозяйственных животных. Выпускается в виде 50%-ной эмульсии, которая легко эмульгируется с образованием стойкой белой эмульсии. Для рыб, других гидробионтов трихлорметафос является умеренно токсичным ядо-

химикатом. При концентрации 8 мг/л гибель карпа наступает через 22 дня.

Фунгициды – также токсичны для рыб. Современный ассортимент органических фунгицидов состоит из ряда солей дитиокарбаминовой кислоты, соединений хинонов, фенолов, соединений, содержащих трихлорметилтиогруппу.

Производные карбаминовой кислоты. В настоящее время в практике хозяйств Беларуси используется около 30 карбаматных препаратов. Наиболее токсичны для рыб ТМТД (тиурам), севин, мезурол, аводекс, карбин, карбатион. Наиболее широко используется *севин* (N – метилнафтилкарбамат). Согласно технологической схеме, при производстве севина сточные воды содержат это вещество. Количество сточных вод на 1 т получаемого севина составляет около 62 м³. Поэтому севин может попадать в водоемы как со сточными водами, так и с поверхностными стоками в результате использования его в качестве инсектицида. Летальная концентрация для окуней 0,2 мг/л, плотвы – 0,1 мг/л, карпа – 1 мг/л (табл. 4).

При концентрации 1 мг/л большинство видов рыб гибнет через 1–2 дня. Севин обладает выраженными кумулятивными свойствами. Клиническая картина отравления: резкое угнетение без стадии возбуждения, парезы, параличи, т.е. наблюдается картина нервнопаралитических признаков. На внешние раздражения у рыб отмечается слабая реакция, рыба держится на поверхности воды и проявляет симптомы кислородной недостаточности. Наибольшее количество севина кумулируется в печени (до 30%) и почках (до 60%) от общего количества отложенного (накопленного) в организме севина. Поэтому при подозрении на отравление рыбы севином необходимо брать для исследования печень и почки.

Т а б л и ц а 4. Токсичность некоторых инсектицидов для рыб (DL₅₀, мг/л)

Препарат	Пресноводные рыбы	Морские рыбы
ХОС: альдрин	0,0052 – 0,0082	0,0028
линдан	0,027 – 0,087	0,03
эндрин	0,0004 – 0,0086	0,0006 – 0,0026
ФОС: хлорофос	0,26 – 1,4	1
хлорпирифос	0,0033	0,07
Карбаматы: карбарил	4,34 – 11,2	1,75
метиокарб	0,11 – 0,64	0,55

Очень распространенным фунгицидом является *полисульфид бария*. Он чрезвычайно токсичен для рыб, так как содержит в своем составе сероводород.

Общий вывод из изложенного: высокотоксичные инсектицидные и фунгицидные препараты, такие как ДДТ, аналоги ДДТ (ДДД, ДФДФ,

метоксихлор, галогеновые соединения дифенилэтана), гексахлоран, токсафен, альдрин, полихлорпинен, хлордан, гептахлор, метафос, метоксихлор, ДНОК, сульфид бария *нельзя применять вблизи водоемов* (расстояние не менее 500–800 метров).

Токсичность гербицидов. Широко используются для борьбы с сорняками в прудах, водохранилищах, оросительных каналах. Токсичность гербицидов при внесении их в водоем для рыб и других гидробионтов зависит от природы гербицида, формы препарата, его дозы, вида и возраста рыб, температуры воды и содержания в ней кислорода и солей. Молодь рыб более чувствительна к гербицидам. С повышением температуры воды и уменьшением содержания в ней кислорода токсичность гербицидов увеличивается. Большинство гербицидов действует на рыб, как нервный яд. Клиническая картина: пугливость, вздрагивание на малейшие шумы и плески воды, стремительное плавание, броски, нарушение равновесия, опрокидывание на бок.

Очень чувствительны к гербицидам форель, окунь, ерш, щука, плотва. По степени токсичности для рыб гербициды распределяются в следующем порядке: карбаматы, гербициды, содержащие ростовые вещества и мочевины, триазины (табл. 5).

Производные дихлорфеноксиуксусных кислот (2,4-Д). Гербициды этой группы используют для химпрополки водоемов с целью уничтожения высшей и нижней водной растительности и тростников. К этой группе относятся 2,4-Д (аминная соль, натриевая соль) и др.

Т а б л и ц а 5. Токсичность некоторых гербицидов для рыб,
DL₅₀, мг/л

Препарат	Пресноводные рыбы	Морские рыбы
Атразин	50	-
2,4 – Д, бутиловый	0,39 – 2	5
Далапон	87	50
Диурон	3-60	63
Диносеб	0,07 – 0,3	-
Монурон	76	163
Симазин	25 – 100	-
Трифлуралин	0,01 – 0,09	-
Трихлорацетат натрия	100	1
Бромоксинил	0,05	-
Молинат	0,46 – 1,3	1

Летальная концентрация 2,4-Д (аминная соль) для окуней и плотвы – 50 мг/л, карпа – 58 мг/л. Хроническое отравление развивается у рыб при концентрации 30 мг/л. Гербицид 2,4-Д не обладает функциональной кумуляцией. Клиническая картина отравления: возбуждение, повышенная подвижность и очень высокая чувствительность к внешним звуковым раздражениям, рыба плавает по кругу с расстройством координации движения, т.е. признаки которые вызывают нервно-

паралитические яды. Патолого-анатомические изменения отмечаются в печени и миокарде сердца.

Таким образом, гербицид 2,4-Д оказывает на организм рыб полиморфное действие: нервно-паралитическое и гепатотропное, нарушая белково-углеводный обмен.

Все препараты на основе 2,4-Д имеют сильный, стойкий фенольный запах.

Производные мочевины (алкилпроизводные): монурон, диурон, фенурон, фигон. Используются также в качестве альгицидов. В экспериментах установлено, что монурон, диурон, фигон, кроме прямого и косвенного токсического влияния на организм рыб снижают содержание кислорода в воде и вызывают загрязнение водоема, так как при отмирании водных растений и нитчатых водорослей появляется большое количество нитритов, избыточной углекислоты и сероводорода.

Монурон в концентрации 20 и 10 мг/л и *диурон* в концентрации 2,5; 1,25 и 0,5 мг/мл отрицательно влияют на оплодотворение икры, нарушается эмбриональное развитие и морфогенез, а затем и гибель личинок.

При обработке диуроном водоема в концентрации 0,2 мг/л у рыб наблюдаются множественные кровоизлияния во внутренних органах, а при концентрации диурона 2,4 мг/л резко снижается гемоглобин крови и наступает гибель рыб. Дафнии чувствительны к монурону. При концентрации 8–10 мг/л второе поколение дафний не рождается вовсе. Для моллюсков и ракообразных монурон токсичен в дозах 50–100 мг/л.

Использование монурона с целью подавления массового развития сине-зеленых водорослей в виде суспензий и гранул (2 мг/л) снижает биомассу зоопланктона, особенно при обработке гранулами монурона. Через 3–7 суток первоначальная численность зоопланктона восстанавливается, т.е. наблюдается определенная адаптация. Лучшей адаптацией к монурону выражена у копепод, коловраток и хуже у кладоцер.

При внесении монурона из расчета 100 кг/га по АДВ численность донных водорослей (микробиобентос) за сутки снижается с 2,6 млн. клеток на 10 см³ до 0,2 млн. клеток на 10 см³, а на 9-й день после обработки водоросли вообще исчезают.

Механизм действия производных мочевины заключается в том, что они блокируют флавиновые ферменты в растительных клетках, в результате чего ингибируется процесс фотосинтеза.

В настоящее время для борьбы с сорняками все шире применяют симм-триазины – производные 1,3,5-триазина. Это гетероциклические соединения с тремя и более гетероатомами в цикле (бензольном кольце) – азот, азот и кислород; азот, азот и сера. Наибольшими избирательными гербицидными свойствами обладают соединения с тремя циклами. Наибольшее число патентов на способы получения и приме-

нения различных химических препаратов в качестве пестицидов из всех классов веществ приходится на гетероциклические соединения.

К симм-триазинам относятся более 50 препаратов, используемых для борьбы с сорняками сельскохозяйственных культур (симазин, атразин, тербутилазин, цианазин, ципрозин, трембуметон, прометон, симетрин, прометрин, метопротрин, метазин и др.) Большинство препаратов симм-триазинов в концентрациях 0,5–1 мг/л оказывают токсическое действие на рыб. Отчетливо снижаются при этом гематологические показатели у рыб.

Установлена способность водных организмов накапливать симм-триазины, поэтому они передаются по трофическим цепям и могут вызывать вторичное загрязнение водоемов. На дафний атразин действует токсически в дозе 30–50 мг/л.

Токсичность моллюскоцидов. Для борьбы с пресноводными моллюсками – переносчиками различных заболеваний животных, человека и рыб (бильгарциоз у людей, фасциолез жвачных, мониезиоз овец) широко применяют различные химические средства. Наибольшее применение нашли пентахлорфенол и пентахлорфенолят натрия. Это очень высокотоксичные соединения не только для моллюсков, но и рыб и других гидробионтов. Для рыб летальная концентрация этих препаратов – 0,4 мг/л, а для некоторых пресноводных рыб (окунь) – 0,06 мг/л. Гаммариды, дафнии, личинки стрекоз и другие кормовые организмы рыб выдерживают концентрацию не более 0,5 мг/л. Для ракообразных – 0,5 мг/л.

В настоящее время найдены более эффективные препараты из группы хлорированных салициланилидов (2,5-дихлор-4-нитросалициланилиновая кислота; 5,4-дихлорсалициланилид).

Токсичность препаратов для моллюсков (большой и малый прудовик) – переносчиков возбудителей болезней рыб – очень высокая. 5,4-дихлорсалициланилид вызывает гибель моллюсков в концентрации 1:100000. Препарат длительное время после обработки сохраняется в ложе пруда, обладает слабо выраженной кумуляцией. Токсическая концентрация для карповых рыб – 0,15 мг/л, т.е. относится к группе высокотоксичных.

Картина отравления характерна для нервно-паралитических ядов: у рыб наблюдается сильное возбуждение, судорожное, веерообразное движение плавников. Плавание рыб становится взбешенным, они стремятся выпрыгнуть из воды, «стоят» на поверхности воды или «ходят» по ней на хвосте. Гибель наступает от паралича дыхательного центра и паралича мышц.

Приведенные показатели токсичности пестицидов являются не абсолютными, так как зависят от условий проведения эксперимента (вида рыбы, возраста рыбы, температуры воды, условий питания, время пребывания рыбы в период нахождения пестицида в воде и т.п.) и мо-

гут несколько меняться в ту или другую сторону. Однако эти данные правильно отражают главное свойство пестицидов – их токсичность для организма рыб. Молодь рыб и икринки более чувствительны к пестицидам по сравнению со взрослыми особями.

ЛЕКЦИЯ 8. ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ДЕТЕРГЕНТОВ НА ФЛОРУ И ФАУНУ ВОДОЕМОВ

ПЛАН:

1. «Цветение» воды и токсичность водорослей для гидробионтов.
2. Токсичность нитратов и нитритов для рыб.
3. Влияние элементарного, треххлористого и пятихлористого фосфора на биохимические процессы в водоемах и организм гидробионтов.
4. Влияние детергентов на флору и фауну водоемов. Токсические концентрации моющих средств для гидробионтов.

1. В связи с созданием искусственных водоемов – водохранилищ, каналов, прудов, плотин большинство ручейков Беларуси (особенно в хозяйствах Могилевской области) превратились в каскады водоемов с небольшим стоком воды и в этих водоемах создались благоприятные условия для массового развития сине-зеленых водорослей – «цветение» воды в теплое время года. «Цветение» охватывает огромные территории. Зеленые и сине-зеленые водоросли рода афанизоменон и ривулария в летний период вызывают «цветение» вод от Балтийского до Азовского морей. В течение года окраска вод пресных водоемов характеризуется широким диапазоном оттенков. При «цветении» воды биомасса сине-зеленых водорослей достигает до 36 кг/м^3 , а пятна «цветения» достигают несколько километров в длину и сотен метров в ширину.

«Цветение» резко снижает органолептические качества воды и вызывает массовую гибель не только других гидробионтов (рыб), но даже и сельскохозяйственных животных при использовании водоемов для водопоя (коров).

По данным В. В. Метелева (1971) первые наблюдения о токсическом действии на рыб и домашних животных были еще в XVIII–XIX вв. В Австралии (1878) наблюдалась массовая гибель рыб и коров, совпавшая по времени с «цветением» озера, в котором сильно разрастались водоросли рода нодулария. Позднее во всех странах мира (особенно в жаркое, засушливое время после сезона дождей) все больше и больше появлялось сообщений о массовой гибели рыб в период усиленного размножения сине-зеленых водорослей.

Наибольшее скопление сине-зеленых водорослей наблюдается в местах массового загрязнения и разложения органических веществ (стоки от животноводческих комплексов, ферм, перерабатывающих предприятий, минеральных удобрений с полей и др.). В таких местах в безветренную погоду концентрация сине-зеленых водорослей достигает свыше 1 млн. клеток на 1 см^3 поверхности воды, т.е. на поверхности

водоема образуется пленка толщиной до 2-х см из спор и отмирающих водорослей. При этом происходит резкое уменьшение зоопланктона.

При отмирании и гнилом распаде водорослей в воду поступают токсины водорослей, аммиак, сероводород, другие ядовитые вещества, вода обедняется кислородом, поэтому может произойти отравление и замор рыб.

Существуют две точки зрения среди ученых ихтиотоксикологов на причину гибели рыб в период интенсивного развития сине-зеленых водорослей.

Одни исследователи считают, что гибель рыб происходит под действием токсинов сине-зеленых водорослей, другие исследователи связывают гибель рыб с развитием в воде гнилом процессов и выделением ядовитых газов (аммиак, метан, сероводород), которые резко снижают содержание кислорода в воде (дефицит БПК).

Очевидно, что обе точки зрения дополняют друг друга, так как при отмирании сине-зеленых водорослей бурно развивается анаэробная микрофлора, которая в процессе жизнедеятельности (при разложении органики) образует и выделяет в водную среду токсины бактериального происхождения.

Проведены многочисленные исследования по выявлению и изучению токсинов, выделяемых сине-зелеными водорослями. Эти токсины по своему химическому строению и проявлению токсического эффекта близки к термостабильному токсину гриба бледной поганки, который считается *протоплазматическим и гемолитическим ядом*.

Из водоросли микроцистис токсика выделен сильный печеночный яд (поражает печень рыб) и фикоцин, который вызывает сильные поражения кожи у крупного рогатого скота при действии солнечных лучей (фотосинтетический яд).

Из водоросли микроцистис аэрогиноза выделено два токсина:

1) сильнейший токсин (эндотоксин) самих водорослей, действующий длительное время и вызывающий смерть рыб и млекопитающих в минимальных концентрациях (сотые доли миллиграммов на литр). По химическому строению эндотоксин микроцистис – полипептид, состоящий из 10 аминокислотных остатков, обладает кислотными свойствами, хорошо растворим в воде. Обладает небольшим молекулярным весом (свободно проникает в ткани организма рыб) и в связи с цикличностью строения токсин плохо гидролизует, т.е. устойчив в водной среде и в организме рыб;

2) второй токсин выделен из микроорганизмов, обитающих на водорослях. Вызывает гибель рыб, мышей. Химическая природа не расшифрована.

Выделены токсические вещества для рыб из водорослей рода афанизоменон, микроцистис флосаква, примнезиум парвум, анабена фло-

саква, глоэтрихия эхикулата, глоэтрихия пизум, ривулария, нодулария, целосфеиум и др.

Степень ядовитости водорослей зависит от концентрации их в воде, а также от стадии роста. Например, анабена флосаква оказывает токсическое действие на гидробионтов (дафний, кишечную палочку, рыб) при следующих условиях: концентрация водоросли примерно 1 млн. клеток на 1 мл воды, рН среды 7–8, культура водоросли находится в логарифмической стадии роста, количество живых клеток составляет не меньше 70%.

Проведены эксперименты, свидетельствующие о том, что присутствие в аквариуме других видов водорослей (нодулария и формидиум) как бы снимает токсическое действие анабены (антагонизм), так как внешние признаки проявления токсикоза рыб отсутствуют (но нарушение эритропоза сохраняется).

Таким образом, сине-зеленые водоросли могут вызывать токсикозы рыб, которые возникают в тех случаях, когда водоем «цветет», т.е. в нем размножаются в большом количестве токсические виды водорослей (монокультура), при этом водоросль находится в логарифмической стадии роста с преобладанием живых клеток и выделением в водоем токсинов. Патогенное влияние сине-зеленых водорослей проявляется комплексно: функции организма рыб нарушаются как от действия эндотоксинов водорослей, токсических веществ бактериального происхождения, продуктов разложения органического вещества водорослей, так и от дефицита кислорода при сочетании определенных факторов.

Эти токсикозы рыб значительно усугубляются при загрязнении грунта, ила, воды веществами как неорганической, так и органической природы.

Для предотвращения гибели рыб в период «цветения» воды рекомендуется подливать в водоем воду с таким расчетом, чтобы поднять ее уровень на 0,5–0,7 м, а также вносить в пруды суперфосфат в количестве 10–20 кг/га, так как отсутствие в поверхностных слоях воды растворимого фосфора способствует созданию заморных явлений.

Токсические вещества водной улитки. Водная улитка (Лимнея перепра) в процессе жизнедеятельности выделяет в воду токсические вещества, которые действуют на нервную систему рыб (нервно-паралитический токсикант).

Проведенные исследования показывают, что водные улитки в количестве 25–50 г/л вызывают гибель форели. Симптомы отравления форели: беспокойство, сильное возбуждение, судорожные движения, нарушение равновесия, мерцательные судороги мышц, подергивания плавников, их паралич и смерть. Обратимость отравления возможна при помещении рыб в свежую воду в стадии опрокидывания. Такая же картина отравления токсическими веществами водной улитки и у других рыб, за исключением угрей для которых улитки служат пищей.

2. *Нитраты* или соли азотной кислоты, известны под общим названием селитры (калийная, натриевая, аммонийная), которая широко используется в сельском хозяйстве в качестве азотного удобрения. В этих видах удобрений содержится значительное количество нитритов (солей азотистой кислоты), которые могут (при дождях) вымываться из почвы и попадать в водоемы вместе с нитратами. Кроме этого, в результате жизнедеятельности денитрифицирующих бактерий (особенно при загрязнении водоемов) образуются *нитриты* из нитратов. Иногда их концентрация может достигать токсического значения (5–30 мг/л). Нитриты образуются в воде при разложении органических веществ и их наличие показывает (свидетельствует) о недавнем загрязнении водоема органическими веществами и на недостаточное содержание в воде свободного кислорода. Кроме этого, при обработке растений гербицидами (особенно в сухую, жаркую погоду) растения (злаки и др.) способны накапливать нитраты и нитриты. В этом случае, корм для рыб (зерновой) может служить источником нитритов и вызывать отравления рыб. При попадании в кишечник нитраты и нитриты вызывают раздражающее действие на слизистую оболочку, а после всасывания в кровь нитриты вызывают кислородное голодание тканей (гемоглобин теряет способность связывать и отдавать кислород), резко нарушается осморегуляция (ионы K^+ , Na^+ не задерживаются в организме рыб и выводятся из организма). К нитратам особенно чувствительна молодь рыб. Обратимость отравления невысокая, если развилась метгемоглобинемия. Корма для рыб, содержащие 0,5% нитратов представляют опасность и скармливать их рыбам не рекомендуется.

3. *Фосфор и его соединения* широко используются в промышленном органическом синтезе ряда ФОП и ФОС. Фосфорнокислые удобрения нашли широкое применение в сельском хозяйстве и без них нельзя получить высокие урожаи сельскохозяйственных культур, в том числе зерна и картофеля. Суперфосфат $[Ca(H_2PO_4)_2 + 2CaSO_4]$ широко применяется в рыбоводных хозяйствах в качестве удобрения рыбоводных прудов с целью повышения развития кормовых организмов рыб. Фосфор необходим для построения тела рыбы. Недостаток фосфора в рационах рыб снижает их развитие и рост, поэтому внесение фосфорных удобрений в водоемы способствует улучшению физиологического состояния рыб, так как ион фосфора осмотически проникает через жабры, усваивается и включается в обмен веществ. Все процессы биохимических превращений веществ и обмена энергии практически невозможны в организме рыб без макроэргических соединений (креатинфосфат, никотиндинуклеотидфосфат, АТФ и др.). Фосфор является одним из основных элементов костяка.

Большие дозы внесения фосфорных удобрений в водоемы могут вызвать отравления рыб.

Проведены исследования по влиянию различных форм и дозировок фосфора (P_4): взвесь, эмульсия, раствор и коллоид элементарного треххлористого и пятихлористого фосфора на сазана, леща, карася, плотву. *Результаты исследований свидетельствуют, что все четыре формы элементарного фосфора и его хлористых солей (галогениды) высокотоксичны для рыб.* Специфические признаки отравления в острых опытах – резко выраженная экзофтальмия (поражение роговицы глаз), а в хронических – водянка и ерошение чешуи. LD_{50} треххлористого фосфора для икры и молоди рыб является 40 мг/л, пятихлористого фосфора – 50 мг/л, пятибромистого фосфора – 100 мг/л. Патолого-анатомическая картина: дистрофические изменения в печени, почках, сердечной мышце, во всех отделах центральной нервной системы – лизис (растворение) нервных клеток. Клиническая картина отравления рыб фосфором такая же характерная, как и для всех токсикантов, действующих на нервную систему. Летальные концентрации всех четырех форм элементарного фосфора для ветвистоусого рачка (дафния magna): LD_{100} – $LC_{100}P_4$ (мг/л): взвесь – 8,0; эмульсия – 0,25; раствор – 0,4; коллоид – 20. $LC_{100}PCL_3$ и PCL_5 является 80 мг/л. Установлено, что концентрация фосфатов (суперфосфат) 0,3–0,5 г/л способствует размножению дафний, ускоряет их половое созревание и увеличивает число индивидуумов в потомстве. Концентрация суперфосфата 2 г/л вызывает летальный эффект для дафний.

При концентрациях PCL_3 и PCL_5 105–110 мг/л в опытах с грунтом и при 50 мг/л в опытах без грунта наблюдается массовая гибель личинок хирономид (мотыля). Концентрация P_4 (эмульсия) 0,025 мг/л в опытах без грунта оказывает токсический эффект на личинки хирономид, т.е. чистый элементарный фосфор токсичнее соединений фосфора в 2000 раз. Следует отметить, что в хронических опытах отмечено явление кумуляции (накопление) фосфора в органах и тканях рыб.

4. Детергенты – поверхностно-активные вещества (ПАВ), обладающие моющим и бактерицидным действием. В состав моющих средств входит от 20 до 40% ПАВ и 60–80% различных добавок (силикат натрия, кальцинированная сода, триполифосфат натрия, отбеливатели, карбоксиметилцеллюлоза и др.).

По характеру гидрофильных групп детергенты делят на 3 группы:

1) анионоактивные (алкилсульфаты, алкилбензосульфаты, алкиларилсульфаты и др.). Они применяются в домашнем хозяйстве и входят в состав моющих средств типа «Новость», «Дельфин» и др.;

2) неактивные детергенты (сложные эфиры, соединения аммиака и веществ на основе полиоксиэтиленов). Они применяются в промышленности;

3) катионоактивные детергенты (производные пиридина и четырехвалентные соединения аммония). Они обладают бактерицидными свойствами и применяются в прачечных больниц, санитарных учре-

ждениях. Четырехвалентные соединения аммония обладают еще и альгицидными свойствами.

Анионоактивные и неактивные детергенты в минимальных концентрациях (0,01–0,05 мг/л) повышают частоту дыхания у рыб, при этом потребление кислорода увеличивается в 2–3 раза. Сублетальные концентрации (0,4–0,9 мг/л) вызывают у рыб симптомы «удушья» – рыба гибнет с широко раскрытым ртом и жабрами (разрушение респираторного эпителия жабр). Длительное нахождение рыбы в водоемах с незначительными концентрациями детергентов приводит к снижению резистентности организма (во всех случаях на рыбе развиваются паразитические грибки, приводящие к полному разрушению плавников. Основное место поражения («орган-мишень») рыб детергентами – жабры. Проведены многочисленные исследования по определению токсичности различных детергентов. Различные синтетические моющие средства в концентрации 5–20 мг/л вызывают гибель рыб в течение 3–9 часов. Токсичность додецилбензолсульфоната для рыб при 20⁰С составляет 3–4 мг/л (в течение 24 и 48 часов наступает смерть). При инкубации икры в концентрациях анионоактивных детергентов 1–15 мг/л у появившихся личинок и мальков наблюдаются целый ряд специфических уродств. Концентрации 20 мг/л и выше оказывали летальный эффект. Считается, что ПДК ПАВ (в зависимости от вида детергентов) 0,1–0,25 мг/л.

Трубочники погибают при содержании алкиларилсульфаната 10 мг/л, бокоплавыв и водяные ослики – 5 мг/л, хирономиды – 2 мг/л. Развитие водорослей задерживается при его концентрации 60 мг/л и выше. Считается, что на высшую растительность концентрация в водоеме алкилсульфанатов до 40 мг/л не оказывает токсического влияния.

Катионоактивные детергенты – их токсическое действие связано с изменением поверхностного натяжения веществ.

Четырехвалентные соединения аммония (тетраалкиламмонийный хлорид) в концентрации 1–2 мг/л применяются в качестве *альгицидов*.

LD₅₀ различных препаратов этой группы (алкилдиметилбензил, аммонийные хлориды, метилендодецилтриметиламмонийные хлориды, лаурилдиметилбензиламмонийные хлориды, тетраалкиламмонийные хлориды и др.) очень малая и составляет 0,01–0,02 мг/л для рыб; 0,05–0,07 мг/л для дафний и трубчатых червей; для хирономид – 0,03 – 0,05 мг/л.

ЛЕКЦИЯ 9. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОТЕСТОВ В ВОДНОЙ ТОКСИКОЛОГИИ

ПЛАН:

1. Биотестирование: терминология, задачи, подходы.
2. Тест-объекты, характеризующие токсическое действие загрязнителей водоемов на гидробионтов
3. Симптомокомплекс при отравлении пиявок ХОП

1. Оценка качества водной среды только по гидрохимическим показателям страдает рядом недостатков и не всегда дает представление о токсичности водной среды для гидробионтов. Токсичность – понятие биологическое и зная только химические показатели того или иного вещества в водной среде нельзя составить правильное представление о процессах, протекающих в водоеме, содержащем токсикант или токсиканты. Часто встречаются случаи, когда химический анализ показывает наличие токсикантов, а токсичность в отношении тест-объектов не особенно проявляется, и, наоборот, химические исследования показывают, что все в норме, токсические вещества не обнаруживаются, а вода токсична («мертвая» вода).

Второй недостаток химических анализов воды заключается в том, что гидрохимические данные не показывают влияния трансформации загрязняющих веществ в водной среде, взаимодействия токсических веществ, не дают интегральной оценки вреда, причиняющего токсикантами. Биотестирование по сравнению с гидрохимическим анализом методологически более верно. Кроме того, методы аналитической химии водной среды далеки от совершенства и они не могут быть проведены без дорогостоящего оборудования и реагентов.

Поэтому биотестирование может существенно ограничить объем громоздких работ и занять одно из первых мест в системе оценки качества (нормы) как природных так и сточных вод многих производств.

Что же понимается под термином «биотестирование», «биотест»? *Биотестирование* – проведение испытания, определение действия вещества на живые организмы в определенных, стандартных условиях.

Под биотестом понимается оценка (испытание) в строго определенных условиях действия вещества или комплекса веществ на водные организмы путем регистрации изменений того или иного биологического (или физиолого-биохимического) показателя исследуемого объекта по сравнению с контролем.

В широком понимании *биотестирование* – это определение токсичности водной среды по состоянию биологических объектов. Таким образом, под биотестированием понимается обязательное проведение эксперимента на биологических тест-объектах.

В понятии «*биотестирование*» главный компонент – эксперимент. В этом и заключается разница, основное отличие «*биотестирования*» от понятий «*биоиндикация*» и «*мониторинга*» (*monitor* – лат. надзирающий, напоминающий – старший учащийся, помощник учителя в школе) состояния водной среды по биологическим параметрам. В случае биоиндикации или мониторинга о состоянии водоема, о качестве воды судят по присутствию или отсутствию тех или иных организмов.

Только при помощи биотестирования можно решить одну из основных (главных) задач водной токсикологии – определить рыбохозяйственные ПДК тех или иных веществ.

Однако процедура и результаты биотестирования имеют колоссальные различия от таковых при нахождении ПДК того или иного вещества.

Главная задача, которую решает биотестирование, – получить быстрый ответ: есть токсичность или нет (для принятия конкретных мер). Поэтому и методы биотестирования должны отличаться простотой, быстротой, хотя получаемые результаты могут быть только ориентировочными.

Методика же установления ПДК конкретного вещества отличается комплексным подходом, длительностью и значительно большими финансовыми и материальными затратами.

Задачи, которые может решать биотестирование:

- 1) биотестирование позволяет определить токсичность природных вод;
- 2) позволяет в быстрые сроки устанавливать районы и источники загрязнения;
- 3) позволяет выявить токсичность сточных вод и определить пределы их очистки. Необходимо отметить, что очистка сточных вод – это дорогостоящий процесс;
- 4) позволяет определить наиболее токсичные из стоков, что помогает упростить очистку стоков;
- 5) дает быстрый ответ о степени токсичности сточных вод на разных стадиях очистки, т. е. производить контроль за работой очистных сооружений и сточных вод после очистки.

Одной из самостоятельных задач биотестирования является составление предварительной токсикологической оценки отдельных загрязняющих веществ. В бывшем СССР в 60–80 г. в период быстрого становления водной токсикологии это направление успешно развивалось в Институте биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина АН СССР под руководством академика Б. А. Флерова. Было предложено много тест-объектов, но в основном, исследования были направлены не на контроль за состоянием водной среды, а на обоснование ПДК, т.е. на прогноз опасности тех или иных веществ. Это привело к тому, что до настоящего времени не сделано выбора гидробионтов, которые служи-

ли бы унифицированными тест-объектами для определения токсичности водной среды. Вот это обстоятельство и явилось главным препятствием для широкого использования биотестирования в оценке качества водной среды.

В странах Западной Европы, в том числе и бывших странах СЭВ, имеются унифицированные биотесты, но по мнению белорусских, украинских, российских токсикологов они недостаточно совершенны, поэтому эти биотесты не получили признания и распространения в Беларуси.

2. В нашей республике негласно принято следующее положение, свидетельствующее о чистоте водоема: если в водоеме водятся раки, пиявки, пескарь, ерш, то вода в водоеме чистая, водоем не загрязнен токсикантами.

Накоплен достаточно большой экспериментальный материал по сравнительной устойчивости флоры и фауны водоемов (гидробионтов) к токсикантам, но этот материал трудно анализировать и использовать, так как результаты исследований получены в различных условиях проведения экспериментов.

Очень трудно выбрать тест-объект для биотестирования всех групп токсикантов. Принципиально правильным будет следующее положение: чувствительность тест-объекта будет зависеть от правильно выбранной “функции мишени” или конкретного места действия токсиканта. Поэтому и разработка чувствительных экспресс-методов должна основываться в первую очередь на знании механизма действия конкретного токсического вещества. Установлено, что ФОП (пестициды ФО) и карбаматы обладают ярко выраженным антихолинэстеразным действием. Поэтому способность веществ ингибировать холинэстеразу у гидробионтов можно использовать (и используют) для разработки методик определения в воде фосфорорганических и карбаматных соединений. Эти данные уже использованы Флеровым, Лапкиной, которые разработали методики для тестирования ФОП и карбаматных соединений. В качестве тест-объектов берутся ветвистоусые рачки, так как они очень чувствительны к ФОП ($LC_{50}=0,1 - 0,6$ мкг/л).

Хлорорганические пестициды (ХОП) действуют на нервную систему и на нервно-мышечные синапсы, угнетают АТФ-азную активность нервной и мышечной ткани, т.е. нарушается процесс образования и накопления макроэргических соединений (другими словами – образование энергии). Электрофизиологические методы исследования (проводимость, порог возбуждения, пороговая сила раздражителя и др.) дают точный ответ, но они слишком сложны для целей биотестирования ХОП (хотя и необходимы), а определение АТФ-азной активности нервной и мышечной ткани гидробионтов в условиях эксперимента *in vivo*, т.е. у живых объектов, представляется обнадеживающим, но все

еще недостаточно изучено, нет достаточного количества дешевых реагентов, чтобы использовать в практической работе.

Аммоний и его соли, низкие значения рН, соли тяжелых металлов, некоторые ХОП (например, полихлорпинен) угнетают ионный обмен у водных животных. Быстрота нарушений этого процесса в жабрах рыб и беспозвоночных позволяет использовать его для разработки экспресс-методов тестирования перечисленных веществ путем простой регистрации электропроводности среды в которой находятся тест-объекты. Но приборов и методик этих до сего времени нет.

Надо только всегда помнить: во всех случаях при определении токсичности тест-реакция, или тест-функция, должна быть биологически значимой для конкретного тест-объекта, т.е. прямо или косвенно указывать на патологию тест-объекта.

Большинство токсикологов, изучающих влияние токсикантов на гидробионтов основное внимание уделяют проявлению общих черт патологии гидробионта под воздействием токсиканта. Но главный смысл исследований должен быть в регистрации специфических симптомов проявления отравления, характерных для группы веществ, т. е. разработка симптомокомплексов проявления действия токсических (и не только) доз не одного вещества, а группы веществ (тяжелые металлы, фенолы, ХОП, ФОП, поверхностно-активные вещества). Наиболее детально симптомокомплексы отравлений изучены на медицинских пиявках (*Hirudo medicinalis*). Эти животные благодаря морфологическим особенностям их мускулатуры (наличию кольцевых, продольных и поперечных слоев) проявляют особенно яркие, специфические симптомы отравлений при действии разнообразных токсических веществ.

По данным Флерова (1980), симптомы отравления пиявок всеми ФОП одинаковы, но они отличаются от симптомов отравлений, вызываемых как ХОП, так и фенольными соединениями.

В растворах ФОС (хлорофос) наблюдается следующая последовательность развития патологии: подворачивание задних сегментов, постепенное скручивание пиявки в спираль так, что движения прекращаются, резкое укорачивание тела из-за контрактуры продольных мышц, заглатывание раствора (при этом глотка открыта и наблюдается работа челюстей), увеличение массы и объема пиявок, далее происходит расслабление продольной мускулатуры, усиленное выделение мочи, падение массы, перед смертью тело удлиняется и изгибается дугой вентральной поверхностью наружу. Авторы считают, что по этому яркому набору признаков (симптомокомплексу) интоксикации можно с уверенностью говорить о присутствии фосфорорганических пестицидов в воде.

При действии фенола проявляется другой симптомокомплекс отравления пиявок. В растворе фенола вначале происходит беспорядочная двигательная активность, после которой пиявка на продолжи-

тельное время прикрепляется присосками к стенке сосуда и повисает в виде петли. Затем животное падает на дно, деревенеет (застывает в неподвижности), на теле появляются характерные перетяжки и утолщения, которые не наблюдаются при действии других групп токсикантов.

3. Силтомокомплекс при отравлении пиявок ХОП (полихлорпине-ном) – первый признак отравления проявляется в подворачивании передних сегментов животного под брюшко или закручивание их в спираль. Затем развиваются характерные ритмичные судороги, заканчивающиеся неподвижностью и смертью. Подворачивание передних сегментов авторы иногда наблюдали и при отравлении металлами.

В смеси токсикантов проявляются симптомы отдельных компонентов. При взаимодействии сублетальных концентраций веществ развиваются только первичные (первоначальные) признаки отравлений.

Таким образом, исследования показывают принципиальную возможность использования медицинских пиявок для идентификации отдельных токсикантов.

Характерный набор признаков и служит ключом в идентификации определенных токсикантов в исследуемых пробах воды. Конечно, надо признать, что это только первые шаги той громадной работы, которую предстоит сделать, чтобы выявить конкретные, наиболее чувствительные гидробионты к минимальнейшим концентрациям токсикантов, относящихся к разным группам химических соединений.

И уже в настоящее время изданы и рекомендованы для практического использования «Методические указания по использованию медицинских пиявок в качестве тест-объекта для обнаружения и распознавания в воде антихолинэстеразных веществ» (Л., 1986). Детальное наблюдение за поведением медицинской пиявки в широком диапазоне концентраций солей металлов позволило выявить простой и достаточно чувствительный показатель присутствия в воде этих веществ. Таким показателем служит время пребывания молодой пиявки в покое (статичное состояние).

Для удобства биотестирования регистрируют смену статического состояния на динамичное (СССД) у многих особей одновременно. В естественной воде без добавления солей металлов (контроль) молодь пиявки в чашках Петри обычно находится в неподвижном состоянии на протяжении суток и лишь в некоторых случаях отдельные особи ползают. Добавление ионов металлов (CuSO_4 , MgCl_2 , $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$) вызывает СССР уже в первые 15 мин. Значимость этой реакции такова, что при продлении времени контакта с этими веществами (концентрация 0,1–0,01 мг/л) молодь гибнет через 30–72 часа.

Предложены и другие биотесты. Например, Н. С. Строганов предлагает экспресс-метод определения токсичности воды, используя в качестве тест-объекта дафний и циклопов и наблюдая за ними в течение

2, 5, 10, 20 дней, но разрешающая способность этих тест-объектов мала.

Все же самый лучший тест-объект – это представитель того вида рыб, которых собираются разводить в данном водоеме, и куда могут попасть токсические стоки предприятий, находящиеся вблизи водоема. Предварительно на этом виде рыб необходимо провести биотестирование степени разведения токсических стоков.

ЛЕКЦИЯ 10. РАСЧЕТ УЩЕРБА, НАНОСИМОГО РЫБНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ

ПЛАН:

1. Состояние загрязнения водоемов. Ущерб, наносимый им рыбной промышленностью.
2. Методика определения ущерба
3. Пути предотвращения загрязнения водоемов многообразны

1. Большинство рыбохозяйственных водоемов республики чистые и многие из них пригодны для обитания и развития ценных видов рыб. В последние годы проделана большая работа по предотвращению загрязнения водоемов. На некоторых из них загрязнение полностью прекратилось или стабилизировалось и дальнейшее его увеличение не наблюдается.

Серьезную опасность для рыбного хозяйства представляют геологические изыскания, лесосплав, водный транспорт, смыв удобрений с полей и применение пестицидов.

Не все случаи отрицательного влияния перечисленных выше и ряда других факторов на водоемы и рыбное хозяйство можно выразить количественно и оценить. Поэтому не всегда можно подсчитать полный ущерб, наносимый рыбной промышленностью, населению и народному хозяйству в целом. Ущерб оценивается только по той его части, которая поддается количественному учету.

Наиболее просто учесть гибель рыбы, падение уловов или порчу товарных качеств продукции. Рыбные запасы на внутренних водоемах являются таким сырьем, которое хранится в естественных водоемах без всяких издержек со стороны государства и использование его не зависит от общественного строя, политической направленности государства или каких-либо других социально-общественных показателей.

Виновников нанесения ущерба следует не только привлекать к административной или уголовной ответственности, но и требовать от них возмещения причиненных убытков.

2. Подрыв рыбных запасов может происходить как при регулярном систематическом отрицательном воздействии загрязнителей, так и при разовом их поступлении в водоем, причем разовое отрицательное воздействие может быть не менее вредным, чем систематическое. Все зависит от количества и качества поступивших в водоем загрязнений, от условий их сброса и ряда других факторов. Поэтому ущерб должен оцениваться в каждом конкретном случае с учетом всех факторов. При обнаружении гибели рыбы, ухудшения гидрохимического режима или других случаев отрицательных изменений в водоеме необходимо на основе объективного анализа имеющихся материалов установить причину этих явлений. Если они являются результатом загрязнения или

отрицательных воздействий каких-то факторов, связанных с хозяйственной деятельностью человека, то определяют ущерб, нанесенный рыбному хозяйству этими действиями в последовательности, приведенной ниже.

1. Устанавливают акваторию водоема, которая подвергалась отрицательному воздействию, с указанием ее категории и рыбохозяйственной характеристики (места нагула и нереста, миграционные пути, зимовальные ямы, неводные участки).

2. Определяют количество погибших и поврежденных рыб, молоди, икры, кормовых организмов, причем молодь учитывают как взрослую рыбу, полуснулую и поврежденную рыбу за погибшую, так как в дальнейшем она обычно погибает.

Личинки и икру также принимают за половозрелую рыбу с учетом отхода их при естественном развитии до взрослых особей.

3. Если гибель рыбы, ее молоди и икры, нарушение условий их обитания и другие неблагоприятные изменения в водоеме произошли вследствие единовременного отрицательного воздействия (аварийный, залповый сброс стоков, взрывы и т.д.) или в результате несогласованности с органами рыбоохраны увеличения систематического сброса сточных вод или изменения технологии производства, то ущерб исчисляют по стоимости погибшей и испорченной рыбы и молоди и стоимости потомства, которое могло быть получено от этой рыбы.

4. Когда причиненный ущерб является результатом систематического регулярного сброса в водоемы сточных вод, воздействия лесосплава или других отрицательных факторов хозяйственной деятельности, то при определении его может быть несколько случаев:

а) если акватория водоема, подвергшаяся отрицательному воздействию, является местом обитания и нагула рыб, величину потерь, стоимость которых подлежат возмещению, определяют для нетекучих водоемов из средней продуктивности на 1га площади, а для рек – на 1км в пересчете на всю пораженную площадь;

б) если данная акватория является местом нереста одного или нескольких видов рыб, ущерб определяют по стоимости всего воспроизводившегося здесь запаса этих рыб согласно данным научно-исследовательских учреждений или органов рыбоохраны;

в) если нарушаются миграционные пути проходных рыб вследствие их засорения, загрязнения и по другим причинам или оказывается губительное действие на скатывающуюся молодь и икру этих рыб в водоеме, так как в результате воздействия указанных факторов полностью подрываются их запасы;

г) если данная акватория одновременно является местом обитания, нагула и воспроизводства рыб, ущерб исчисляют так, как описано в пунктах а, б, в.

5. В случае загрязнения источников, питающих рыбоводные заводы, нерестово-выростные и прудовые хозяйства, в результате чего гибнет или портится рыбоводная продукция, ущерб исчисляют по стоимости погибшей икры, личинок, молоди, товарной рыбы, производителей с учетом затрат на восполнение потерь согласно бухгалтерскому учету предприятия.

Пораженную акваторию можно определить путем проведения санитарно-биологических исследований или визуально по различным внешним признакам (изменение цвета, прозрачности, вкуса, запаха воды, появление на поверхности водоема пены, пленок, струйности, загрязнения берегов, засорение орудий лова, образование отложений на дне водоемов, уход рыбы или ее гибель).

В некоторых случаях дальность распределения загрязнений можно определить расчетным путем, исходя из расходов сбрасываемых стоков и водоема и условий смешения вод.

Количество погибшей рыбы и ее молоди в зависимости от конкретных условий определяют следующим способом: непосредственным подсчетом погибших особей на единицу площади водоема и берега с последующим пересчетом на всю пораженную акваторию; расчетом по средней рыбопродуктивности (например, зимой, когда водоем покрыт льдом) контрольным обловом определенного участка и пересчетом на всю загрязненную площадь; опросом населения и актами, составленными авторитетной комиссией.

При пересчете пловущей и выброшенной на берег погибшей и поврежденной рыбы учитывают не только общее ее количество, но и видовой, размерный, возрастной состав и описывают признаки поражения, а также поведение полуснулых рыб. Если это возможно, фотографируют пловущую и выброшенную на берег рыбу. В случае необходимости некоторое количество полуснулой рыбы или только что погибшей отбирают для отправки в лабораторию на анализ с указанием на этикетке предполагаемой причины гибели рыбы и ее поведения после поражения.

Количество рыбы, выброшенной на берег, подсчитывают на нескольких контрольных площадках размером 1 м^2 , а затем пересчитывают на всю площадь, предварительно установив ширину и длину береговой полосы, на которой обнаружена выброшенная рыба. При этом также определяют половой состав погибших и поврежденных рыб. Половой состав пловущих рыб определяют путем контрольного облова, а если это невозможно, используют данные, полученные при учете рыбы, выброшенной на берег.

В общем количестве рыб, подсчитанных на берегу, могут быть экзemplяры, ранее учтенные в водоеме, а затем выброшенные на берег. Может наблюдаться и обратное явление, так как часть рыб смывается

с берега волной. Эти два процесса взаимно уравнивают друг друга и на точность расчетов почти не влияют.

Погибшая и полуснулая рыба сносится не только поверхностными, но и более глубокими слоями воды, частично опускается на дно. Количество ее не менее 20% от общего числа плывущей по поверхности. Это следует учитывать при общем подсчете.

На основании проведенного учета определяют количество погибшей и поврежденной рыбы по видам и исходя из средней массы рыбы разных видов, подсчитывают общие потери в центнерах. Оценка ущерба в денежном выражении производится по прейскуранту розничных цен.

Зимой, во всех случаях, когда погибшую рыбу подсчитать невозможно, количество ее определяют исходя из средней рыбопродуктивности данного водоема. Если на данный период таких сведений по тем или иным причинам нет, расчет производится по прошлой рыбопродуктивности этого водоема или рыбопродуктивности аналогичных водоемов (можно брать литературные данные). Зная рыбопродуктивность и пораженную акваторию, легко вычислить количество погибшей рыбы в единицах массы, а по соотношению отдельных видов рыб в уловах оценить эти потери в денежном выражении.

Например, средняя рыбопродуктивность на пораженной акватории, равной 2000 га составляет 15 кг/га. Тогда общая рыбопродуктивность этого участка составит $15 \times 2000 = 30000$ кг. Соотношение рыб в уловах будет следующим: лещ—48%; жерех—3; плотва—16; щука—0,2; налим—0,4; окунь—1,2; ерш—5,2; мелочь второй группы—26%. При этом условии в составе 30000 кг рыбы будет находиться: леща—14400 кг; жереха—900; плотвы—4800; щуки—60; налима—120; окуня—360; ерша—1560; мелочи второй группы—7800 кг. Подсчитать ущерб в денежном отношении для каждого вида рыб и в целом, без учета воспроизводства.

Зная среднюю массу взрослой рыбы каждого вида, можно подсчитать количество погибшей рыбы в штуках. Такой подсчет необходим для выяснения ущерба, нанесенного естественному воспроизводству рыбных запасов. Его можно определить учитывая количество погибших самок отдельных видов рыб. Зная их плодовитость, промысловый возврат от икры и среднюю массу промысловых рыб, рассчитывают ущерб в кг, причиненный запасам рыб вследствие гибели потомства при однократном нересте:

$$\text{Весовой ущерб} = \frac{n \cdot m \cdot a \cdot b}{100}, \quad (1)$$

где n — количество погибших самок данного вида рыб;
 m — средняя плодовитость самок, в тыс. штук икринок;
 a — промысловый возврат от икры, %;

в – средняя промысловая масса рыбы, кг.

Если в формулу не вводить среднюю массу, то ущерб будет выражен в количестве экземпляров рыб.

Суммируя ущерб, нанесенный воспроизводству отдельных видов рыб, получаем общий ущерб, вследствие гибели учтенного количества рыб.

В тех случаях, когда погибшая рыба в естественных условиях могла бы нереститься не один, а несколько раз, численность потомства рассчитывают с учетом этого, учитывая ежегодный естественный отход (коэффициент естественного отхода), производителей, возвращающихся на нерест и изъятие рыб промыслом.

При разовом отрицательном воздействии загрязнений или других факторов на нерестилища погибают на них икру учитывают путем подсчета на контрольных площадках (1м^2) и пересчета на всю пораженную площадь, а для пелагической икры – путем облова определенного объема воды и установления процента гибели. Ущерб определяют по приведенной выше формуле.

Количество рыбы, потерявшей пищевую ценность определяют по процентному содержанию ее в общих потерях или в уловах, а также согласно актам рыбохозяйственных и других организаций, фиксирующих подобные случаи. При полной потере пищевых и товарных качеств (при списании) ущерб определяют как в случае гибели рыбы, по всем показателям с учетом воспроизводства. Если по разрешению санитарных органов рыбу можно использовать как пищевой продукт при снижении лишь ее сортности, ущерб определяют потерями на сортности.

Отрицательное воздействие загрязнений и других факторов на водоемы вызывает не только гибель рыбы и ее потомства, но и гибель кормовых организмов, за счет которых происходит прирост ихтиофауны. Потери прироста рыб, вызванные гибелью кормовых организмов, могут быть учтены только в результате проведения (или на основе ранее проводившихся) гидробиологических исследований. Это дает возможность выявить количественное уменьшение биомассы кормовых организмов (планктон, бентос) в водоеме. Зная общее количество погибших бентосных и планктонных организмов и их кормовые коэффициенты, можно установить потери прироста рыб, вызванные загрязнением. Например, общее количество погибших личинок насекомых и червей составило $52,5 \text{ кг/га}$, пораженная акватория равнялась 200 га . Общее количество погибших организмов выразилось величиной $52,5 \times 200 = 10500 \text{ кг}$ или 105 ц . Кормовой коэффициент – 10 , следовательно, потери прироста рыб (в основном леща), вызванные только гибелью донных кормовых организмов, составляют $10,5 \text{ ц}$. Эти потери можно представить и в денежном выражении, если известно процентное соотношение в уловах рыб разных видов, производя расчеты по формуле

(1). Если учесть, что средняя товарная стоимость 1ц рыбы составляет 200000 руб., то при таком расчете ущерб в денежном выражении составит $200000 \times 10,5 = 2,1$ млн. рублей. Таким же образом рассчитывают потери прироста массы рыбы, вызванные гибелью планктона.

Обобщив потери в результате гибели рыбы (1) и ее потомства (2) и потери на приросте рыб (3), вызванные гибелью кормовых организмов, а также потери от порчи товарных качеств (4), получим общий ущерб, причиненный рыбному хозяйству данного водоема в результате его загрязнения или других отрицательных воздействий.

В настоящей методике ущерб, наносимый рыбному хозяйству оценивается только с учетом биологических показателей и совершенно не затрагивает вопросы экономики рыбного хозяйства в целом. В тоже время загрязнение оказывает влияние на все стороны его ведения. Нередки случаи, когда под влиянием загрязнения вследствие гибели рыбы или изменения ее видового, размерного состава и ее размножения в водоеме приходится прекращать промысел, изменять конструкцию орудий лова или заменить их другими, заменять суда и т.д. Иногда приходится полностью перестраивать всю организацию промысла вплоть до закрытия и переноса рыбозаводов, тоневого участка, изменения рыболовных бригад. Все эти потери должны включаться в общую методику определения ущерба.

3. Наиболее простым является запрет сброса в водоемы сточных вод и других загрязнений, т.е. законодательный путь.

Этот путь был избран в начале прошлого века в Англии, когда преобладал сброс в водоемы бытовых сточных вод, которые можно было использовать на полях орошения.

С ростом промышленности и городов количество отработанных сточных вод и качественное их разнообразие возрастает. Отвод их от водоисточников и полное использование их на полях орошения, как это было ранее, стало невозможным, так как многие стоки небезопасны в санитарном отношении.

В настоящее время воды рек республики по своему качественному составу в подавляющем большинстве относятся к категории умеренно загрязненных (ИЗВ – индекс загрязнения вод 1–2,5). Это реки Днепр и Сож (на всем протяжении), Березина (в районе г.Светлогорска), Припять (выше г.Пинска и Мозыря), Свислочь (в черте г. Минска), Ипуть, Неман, Муховец, Лидея, Ушача, Щара.

К категории чистых (ИЗВ = 1) относятся воды рек: Березины – в верхнем течении до г.Борисова, Свислочи – на участке с. Хмелевка – Дрозды, Случи – г.п. Старобин, Западной Двины выше г. Витебска, Вилии у г. Вилейка и выше.

Загрязненными (ИЗВ = 2,5 – 4,0) являются воды рек: Березины выше г. Бобруйска, Свислочи ниже Минска, Припяти ниже г. Пинска и Мозыря, Узы – г. Гомель, Ясельды – г. Береза.

В числе используемых скважин подземных вод около 11% скважин эксплуатируются без зон санитарной охраны строгого режима, многие с негерметизированными устьями. Обеспеченность скважин гидротехническим оборудованием менее 50%. В начале 90-х гг. из-за интенсивного использования в сельском хозяйстве минеральных удобрений и пестицидов было установлено нитратное загрязнение грунтовых вод практически во всех районах Витебской и Минской областей, когда превышение ПДК составляло в 10 раз и более. В последние годы уровень загрязнения вод нитратами резко снизился.

Из общего объема ежегодного забора воды из поверхностных и подземных источников на долю сельского хозяйства, включая рыбное, приходится 36,4%, промышленность забирает 31,6% и жилищно-коммунальное хозяйство – 32%.

К основным путям предотвращения загрязнения водоемов можно отнести следующие:

- 1) поиск методов полного прекращения или уменьшения сброса сточных вод в водоемы;
- 2) поиск новых, более совершенных, дешевых и рациональных методов очистки и обеззараживания сточных вод;
- 3) установление биологически обоснованных требований к качеству воды водоемов разного водопользования, к допустимому содержанию в ней тех или иных загрязнений и к пределу очистки и обезвреживания сточных вод и других загрязнений перед спуском их в водоемы.

В настоящее время в республике составлены и действуют правила эксплуатации по 35 водохранилищам (всего 137), полный объем 16 из них превышает 10 млн.м³ воды. По всем действующим водохранилищам утверждены водохозяйственные паспорта. По озерам, водохранилищам и прудам разрабатываются водоохранные полосы.

На территории республики на учет имеется 214 сооружений биологической очистки, на которые поступает 2,6 млн. м³/сут сточных вод. Только 525 очистных сооружений обеспечивают удовлетворительную степень очистки, 48% – имеют очень низкую эффективность работы, в результате чего около 10% сточных вод, проходящих биологическую очистку, сбрасываются в водные объекты с повышенными остаточными концентрациями загрязняющих веществ.

За необеспечение нормативной очистки сточных вод и сверхнормативный сброс загрязняющих веществ в природные водные объекты к виновным лицам применяются меры административной ответственности.

ЛЕКЦИЯ 11. ВОДООЧИСТКА И ВОДОПОДГОТОВКА

ПЛАН:

1. Эвтрофирование водоемов.
2. Основные технологические схемы утилизации и обеззараживания навоза
3. Классификация сточных вод
4. Фазы взаимодействия между сточными водами и водой водоема.
5. Самоочищение водоемов

1. В последние годы часто отмечается, что интенсивно развивающееся сельское хозяйство становится одним из активных источников поступления в водоемы загрязняющих веществ, особенно, биогенных (БВ). На речных, озерных и водохранилищных водосборах, где формируется природное качество воды, располагаются значительные площади сельскохозяйственных угодий. С них ежегодно в водоемы республики поступает азота до 3-х, а фосфора до 10 раз больше, чем с городскими стоками. Аналогичные данные отмечаются и за рубежом.

В Швейцарии более 70% азота и до 50% фосфора поступает в озера и водохранилища с сельскохозяйственных земель. Высокие концентрации азота, достигающие 10 мг/л, характерны для рек, протекающих через аграрные районы США и других стран. По данным исследований в Германии, вынос азота с угодий составляет 56% (из них 22%-хозяйственно-бытовые сточные воды, 24%-промышленные). Отмечается, что вынос биогенных веществ в водные объекты в значительной степени зависит от способов хранения и применения минеральных и органических удобрений. Значительный вред водным объектам наносит смыв биогенных веществ с сельхозугодий, особенно во время снеготаяния, когда из-за неверных агротехнических приемов (например, зимний вывоз на поля азотсодержащих удобрений) в водоемы может поступать около 80% внесенного азота, что приводит к усилению процессов *эвтрофирования*.

Eutrophia – хорошее питание (греч.). Эвтрофные растительные организмы способны произрастать только на богатых питательными веществами субстратах (водоемах).

Согласно ГОСТ 17.1.1.01 – 77, эвтрофирование (эвтрофикация, эвтрофия) вод есть повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных элементов под действием антропогенных или естественных (природных) факторов.

Между эвтрофированием и загрязнением есть существенная разница, которая заключается прежде всего в том, что загрязнение обусловлено сбросом токсических веществ, подавляющих биологическую

продуктивность водоемов, а эвтрофирование до известной степени повышает эту продуктивность.

Одним из самых простых способов оценки достижения водоемом эвтрофного статуса является проверка превышения фактическими концентрациями биогенных веществ предельно допустимых значений. Поэтому установление норм предельно допустимого содержания в воде биогенных веществ необходимо не только в санитарногигиеническом плане, но и для ограничения возможности эвтрофирования водоемов.

Процесс эвтрофирования, который связан в основном с повышенным содержанием в воде минеральных соединений азота и фосфатов, приводит к ухудшению качества воды. Ухудшаются органолептические показатели качества воды и накапливаются токсические продукты.

Предложена следующая шкала трофических уровней:

Диапазон концентраций общего Р, мкг/л		
0 – 10	10 – 20	20 и выше
Эвтрофный	Олиготрофный	Мезотрофный

Эвтрофирование и загрязнение большинства водохранилищ обусловлено главным образом стоком с полевых угодий и предприятий агропрома, который в нашей республике приносит в водоемы 50% всех биогенных веществ.

В результате эвтрофирования происходит усиленное развитие фитопланктона, прибрежных зарослей, водорослей, «цветение» воды и другие. В глубинной зоне усиливается анаэробный обмен, образуются сероводород, аммиак, метан, нарушаются окислительно-восстановительные процессы и возникает дефицит кислорода. Это приводит к гибели ценных рыб и растений, вода становится непригодной не только для питья, но и для купания. Эвтрофированный водоем утрачивает свое хозяйственное значение.

Существует комплекс факторов эвтрофирования, которые связаны с деятельностью человека.

Отдельные факторы обладают так называемым множественным эффектом, т.е. являются одновременно причиной органического, минерально-солевого и теплового загрязнения.

Многие источники эвтрофирования обладают кумулятивными свойствами и в зависимости от дозы и периода воздействия могут и подавлять, и стимулировать метаболизм экосистемы.

Наконец, отдельные факторы образуют между собой причудливые комбинации и биологические эффекты воздействия непредсказуемы на текущем уровне знаний.

В настоящее время научно-исследовательскими институтами разработан ряд моделей эвтрофирования озер и водохранилищ, основанных на описании внутриводоемных экологических процессов разных трофических уровней при поступлении в водоем различных биогенных веществ. Но эти модели не используются, так как практически нет исходных данных на уровне предпроектных разработок.

Поэтому для каждого водоема, находящегося в критическом состоянии и нуждающегося в оздоровлении, необходимо составление схемы биогенной нагрузки, которая формируется на водосборе и включает все источники поступления загрязняющих веществ в водоемы. На основании такой схемы и должна выработываться оптимальная стратегия предупреждения и борьбы с эвтрофированием конкретного водоема.

Мероприятия по устранению эвтрофирования на водоемах, которые достигли соответствующего критического уровня трофности, трудоемкие и дорогие, а результаты проявляются со значительной задержкой во времени, так как эвтрофные водные экосистемы очень инерционны. А если учесть, что эти мероприятия чаще всего финансируются и осуществляются по остаточному принципу, эффект от них может быть незначительным или вообще отсутствовать.

Загрязнение водной среды в природно-аграрных системах фосфорными соединениями происходит в результате поверхностного стока. Основной причиной миграции фосфора является эрозия почв, которая особенно активно проявляется в областях с холмистым рельефом. Максимальные потери могут достигать 22 кг/га. Именно эрозия приводит к потере почвой питательных веществ и к биогенному загрязнению водной среды, которое вызывает эвтрофирование водоемов и размножение сине-зеленых водорослей. Фосфор является более активным стимулятором их развития, чем азот.

Участие аграрного производства в биогенном загрязнении вод постоянно возрастает в связи с большой распаханностью территорий республики, их мелиоративного освоения, применения минеральных и органических удобрений, химических средств защиты растений, строительства ферм и животноводческих комплексов вблизи водоемов.

Основными источниками биогенной нагрузки в пределах аграрных территорий являются: 1) сельскохозяйственные угодья (пашня, сенокосы, пастбища); 2) объекты животноводства с помещениями для содержания скота, отстойники сточных вод, навозохранилища и жижеборники; 3) склады минеральных удобрений; 4) населенные пункты; 5) естественный растительный покров (леса, луга, болота) и 6) атмосферные осадки.

2. Основные технологические схемы утилизации и обезвреживания навоза, который образуется на фермах и комплексах следующие:

Первая схема. Многоступенчатая очистка используется на крупных комплексах, где внедрен гидросмыв. В соответствии с данной техноло-

гией отходы по каналам подаются в главный коллектор, а затем в приемный резервуар насосной станции, откуда насосами перекачиваются в вертикальные отстойники и далее на фильтры вибрационного типа, где происходит разделение навоза на твердую и жидкую фракции. Твердую фракцию укладывают в штабеля для обеззараживания, после чего ее используют в качестве удобрения, а жидкая поступает в аэротенки для биологической очистки аэробными микроорганизмами. Осветленная, после отстаивания, жидкость идет на вторую ступень очистки и затем сбрасывается в водоемы или на сельскохозяйственные поля. Например, летом при поездке в Оршу около свиноводческого гибридного центра явно ощущается запах – это используют сточную жидкость после второй очистки для полива трав.

Вторая схема. Использование стоков для производства торфокомпостных смесей, вывозимых на поля для прохождения биотермического обеззараживания. Данный метод применим на небольших фермах (200 голов).

Третья схема. Очистка стоков с помощью прудов накопителей и навозохранилищ. Согласно данной технологии, отходы из стойловых помещений поступают в лотки и с помощью гидросмыва направляются в приемники, откуда перекачиваются в хранилища. При длительном хранении навозная жижа расслаивается на твердую и жидкую фракции и обеззараживается. После этого жидкая фракция идет на поля фильтрации и затем в водоем, а твердая – на сельскохозяйственные угодья для удобрения.

Четвертая схема. Самоочищение и утилизация отходов в естественных водоемах. Первоначально жидкие отходы из животноводческих помещений поступают в горизонтальный отстойник, на котором осаждаются твердая фракция. Осветленная верхняя жидкость из отстойника стекает в пруд-накопитель, а оставшийся осадок под воздействием внешних факторов (солнце, ветер, температура) постепенно высыхает и затем его используют в качестве органического удобрения.

Пятая схема. Наиболее перспективным методом утилизации и обеззараживания отходов является их анаэробная переработка (метаногенез). В этом случае происходит разложение органического вещества метанообразующими бактериями в биогазовом реакторе. Образующийся метан используется для сжигания и выработки тепловой и электрической энергии. Этой энергии хватает не только для процесса переработки отходов, но и для других нужд животноводческого комплекса.

3. В настоящее время нет единой, универсальной классификации сточных вод и их компонентов. Существующие классификации сточных вод (Вигельта, Эллиса, Хлопина и Дурилина) не отражают влияния сточных вод на водоем в целом. Они учитывают лишь требования здравоохранения и не соответствуют запросам рыбохозяйственной токсикологии.

Полная классификация сточных вод должна учитывать все стороны их действия на водоем, на гидрологические, гидрохимические показатели, на флору и фауну водоема.

Можно считать более приемлемой классификацию сточных вод, которую в 1968 г. предложил профессор Е. А. Веселов, хотя и она не полностью характеризует влияние загрязнителей на гидробионты.

Классификация в основном отражает действие сточных вод на водоем. Сточные воды в этой классификации делятся:

- 1) содержащие органические загрязнители:
 - а) на сточные воды, содержащие органические загрязнители со специфическими ядовитыми свойствами;
 - б) на сточные воды, содержащие органические загрязнители без специфических ядовитых свойств;
- 2) содержащие неорганические загрязнители:
 - а) сточные воды, содержащие неорганические загрязнители со специфическими ядовитыми свойствами;
 - б) сточные воды, содержащие неорганические загрязнители без специфических ядовитых свойств.

Органические загрязнители в сточных водах могут быть следующими:

- 1) первичные продукты животного происхождения;
- 2) первичные продукты растительного происхождения;
- 3) продукты термической переработки твердого топлива (каменно-уголь, торфа, дерева);
- 4) нефть, нефтепродукты и их компоненты;
- 5) органические кислоты;
- 6) кетоны и спирты;
- 7) фенолы;
- 8) органические красители и их компоненты;
- 9) поверхностноактивные вещества (в том числе моющие средства);
- 10) пестициды (в том числе инсектициды, гербициды, фунгициды, нематоциды, зооциды, репелленты, хемотрелизаторы, стимуляторы и ингибиторы роста растений, дефолианты и др.). *Неорганические загрязнители сточных вод:*

- 1) сероводород и сернистые соединения;
- 2) неорганические кислоты и щелочи;
- 3) неорганические яды;
- 4) соли натрия, кальция, магния, аммония (хлориды, сульфаты, нитраты);
- 5) взвешенные минеральные вещества.

Сточные воды без специфических токсических веществ содержат органические загрязнители и являются преимущественно отходами предприятий пищевой промышленности (картофелеперерабатывающей, винокуренной, дрожжевой и др.). Они характеризуются большим

содержанием нестойких органических веществ и наличием продуктов их анаэробного, распада. При попадании их в водоем в результате жизнедеятельности гнилостной микрофлоры в водоемах накапливаются ядовитые газы: сероводород, метан, аммиак, а так же уксусная и другие органические кислоты (молочная) и происходит резкое падение содержания кислорода, что приводит к заморам рыбы в водоеме.

Сточные воды со специфическими токсическими веществами содержат меньше органических веществ, но они также стимулируют развитие гнилостной микрофлоры в результате чего создается дефицит кислорода в водоеме. Кроме того, в условиях дефицита кислорода, токсические вещества этих сточных вод оказывают более сильное влияние на гидробионтов.

4. Различают три фазы во взаимодействии между сточными водами и водой водоема:

- 1) изменение физических, физико-химических свойств воды и токсическое действие на гидробионтов;
- 2) действие на процессы, протекающие в водоеме, а также на процессы, возникающие в биоценозах;
- 3) стабилизация в водоеме в результате саморегулирования.

Загрязнение водоема сточными водами создает неблагоприятные условия для развития объектов, служащих кормом для рыб, вследствие этого в водоеме снижается и количество рыб.

Если в какой-либо части водоема в результате пагубного влияния токсических сточных вод погибают все без исключения водные организмы, то такой участок водоема называют *зоной уничтожения*.

Если же гибнут только наиболее чувствительные организмы, в то время как устойчивые формы не повреждаются или повреждаются незначительно, то говорят *об опустошенной или обедненной зоне*.

Если в водоеме погибают ракообразные, насекомые и их личинки, то вновь заселяется водоем личинками только через два месяца, а полное восполнение их количества происходит лишь через полтора года.

В биологическом контроле за загрязнением водоема сточными водами важная роль принадлежит *индикаторам сапробности*. Принцип санитарно-биологического анализа заключается в том, что при поступлении в водоем сточных вод целый ряд гидробионтов гибнет, вследствие этого возникают специфические сообщества организмов, характеризующие различную степень загрязнения хозяйственно-бытовыми стоками.

Сапробность – это комплекс физиологических свойств данного организма, который способен развиваться в воде с повышенным содержанием органических веществ или с той или иной степенью загрязнения токсикантом.

При поступлении в водоемы сточных вод в водоемах возникают последовательно следующие зоны загрязнения: полисапробная, альфа-мезосапробная, бета-мезосапробная и олигосапробная.

Полисапробная зона характеризуется большим содержанием нестойких органических веществ и наличием продуктов их анаэробного распада (метан, сероводород). Кислород отсутствует, содержится много органического детрита, протекают восстановительные процессы, железо находится в форме FeS, ил имеет черную окраску с запахом сероводорода. В этой зоне в массовом порядке развиваются растительные организмы с гетеротрофным типом питания – сапрофитные бактерии, нитчатые бактерии, серные бактерии, бактериальные зооглеи, а из простейших: инфузории и бесцветные жгутиковые.

Альфа-мезосапробная зона. В этой зоне происходит аэробный распад органических веществ с образованием аммиака, кроме того, содержится много свободной углекислоты, кислород имеется в небольшом количестве. В воде и донных отложениях протекают окислительно-восстановительные процессы, железо находится в закисной и окисной формах, ил сероватой окраски. В этой зоне развиваются организмы, обладающие большой выносливостью к недостатку кислорода и высокому содержанию углекислоты. Преобладают растительные организмы с гетеротрофным и миксотрофным питанием, т.е. организмы со смешанным питанием – неорганическими и органическими веществами (они имеют хлорофилл и способны в сильнозагрязненных водоемах питаться органическими веществами). Обильно развиваются бактериальные зооглеи, нитчатые бактерии, грибы, из водорослей – осциллятории, стигеоклонииум. Из животных организмов – инфузории, встречаются коловратки; много окрашенных и бесцветных жгутиковых. В иле находится значительное количество тубифицид и личинок хироноид.

Бета-мезосапробная зона отмечается в водоемах, почти освободившихся от нестойких органических веществ (полная минерализация). Концентрация кислорода и угольной кислоты сильно колеблется в течение суток, в дневные часы содержание кислорода доходит до перенасыщения, и углекислота может полностью исчезнуть. В иле много органического детрита, интенсивно протекают окислительные процессы, ил желтой окраски. В этой зоне наблюдается большое разнообразие животных и растительных организмов; в иле содержатся черви, личинки хироноид, моллюски.

Олигосапробная зона характеризует практически чистые водоемы с незначительным содержанием нестойких органических веществ и небольшим количеством их минерализации. Содержание кислорода и углекислоты не претерпевает заметных колебаний в дневные и ночные часы суток. Цветение водорослей, как правило, не наблюдается. В донных отложениях мало органического детрита, автотрофных микро-

организмов и бентосных животных (червей, личинок хирономид и моллюсков). Показателями чистоты воды в этой зоне являются некоторые красные водоросли и водные мхи.

5. Под самоочищением водоемов понимают весь комплекс биологических, физических и химических процессов, которые способствуют освобождению водоема от загрязнений, вносимых сточными водами и образующихся вследствие жизнедеятельности аборигенных организмов.

Большое влияние на самоочищение водоемов оказывают следующие факторы: географическое положение, геология, особенности водоснабжения бассейна, количество и состав сточных вод, поступающих в водоем.

Наибольший вред водоемам наносят промышленные, хозяйственно-бытовые сточные воды и пестициды. Они вызывают дефицит кислорода, образование сероводорода, аммиака, свободной углекислоты. Пестициды, особенно из группы хлорорганических соединений, отрицательно влияют на качество воды и жизнь гидробионтов, на биологические процессы и процессы самоочищения водоемов.

При биологическом самоочищении водоема отмечаются две фазы: анаэробная и аэробная. Анаэробная фаза характеризуется образованием промежуточных продуктов из гниющего органического материала (растительных и животных организмов) преимущественно за счет жизнедеятельности бактерий и некоторых простейших. В аэробных условиях в разложении органического вещества участвует большое количество самых разнообразных групп гидробионтов: инфузории, колвратки, водоросли и другие организмы планктона и бентоса.

Фитопланктон и высшая водная растительность как антагонисты бактерий играют важную роль не только в процессах минерализации органического вещества, но и в формировании санитарно-гигиенического состояния водоемов.

К физическим факторам самоочищения относится прежде всего *седиментация* – осаждение нерастворимых веществ. Между физическими и биологическими процессами самоочищения наблюдается тесная связь.

Химические процессы, протекающие в водоеме, в свою очередь, тесно связаны с биологическими. Показателями санитарного состояния водоемов являются: содержание кислорода, окисляемость, содержание углекислоты, аммиака, нитритов, нитратов и др. В процессе самоочищения водоемов, загрязненных солями тяжелых металлов, через определенный промежуток времени наблюдаются следующие три фазы возобновления флоры и фауны:

1) развитие флоры *scyrtogam* и бедной фауны беспозвоночных, состоящих исключительно из личинок насекомых;

2) развитие зеленых водорослей, появление малощетинковых червей (турбеллярий и олигохет);

3) развитие высших водных растений и увеличение численности беспозвоночных, появление единичных видов моллюсков и затем – рыб.

ЛЕКЦИЯ 12. НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ

ПЛАН:

1. Принципы нормирования охраны водоемов от загрязнения.
2. Требования к качеству и свойствам воды рыбохозяйственных водоемов.
3. Нормирование в рыбохозяйственных водоемах

1. Вопрос о нормировании до настоящего времени остается спорным, так как установление в воде предельно допустимых концентраций вредных веществ является по сути своей легализацией загрязнения водоемов.

Наряду с общим одобрением принципа нормирования рядом биологов отмечается, что существующая принципиальная основа нормирования, в частности установление ПДК, неверная, и ПДК не гарантируют от загрязнения даже текущие водоемы не говоря уже об озерах, прудах и водохранилищах. Водоохранилища, используемые для водоснабжения не могут быть использованы для приема отходов промышленного производства. Сточные воды должны очищаться до таких пределов, чтобы содержание в них отдельных компонентов не превышало содержания их в природных водах, или они вообще не должны сбрасываться в водоемы. Однако такая степень очистки сточных вод не всегда оправдана и целесообразна, тем более, что она неэкономична. Известно, что чем меньше остается в стоках загрязнителей, тем труднее их извлечение и тем дороже оно обходится. Научное и практическое решение задач нормирования зависит от того критерия, по которому можно судить о допустимости загрязнения водоемов. В настоящее время, допустимость поступления загрязнений в водоемы определяется пригодностью его воды ниже уровня загрязнений для разных видов водоиспользования.

Критерий качества воды для рыбохозяйственных водоемов – пригодность ее для обитания и воспроизводства промысловых рыб и других гидробионтов, а также для сохранения и роста их запасов, которые обеспечивают определенный уровень уловов. Для водоемов питьевого и культурно-бытового водопользования – пригодность для использования населением. Общебиологический критерий обобщает оба эти критерия. Они показывают, что нормативные требования для водоемов разного водопользования не могут быть одинаковыми. Одно и то же количество вещества, находящегося в воде, оказывает различное действие на водные организмы и человека. Следовательно, санитарно-гигиенические нормативы нельзя полностью распространять на рыбохозяйственные водоемы и гидробионтов.

3. Рыбохозяйственные нормативы должны способствовать сохранению в водоемах высокой биологической продуктивности, а не только промысловой. Это может быть достигнуто только при условии таких пределов содержания загрязнителей в рыбохозяйственных водоемах, при которых не будет нарушен нормативный ход круговорота веществ в водоемах и процессов самоочищения.

Рыбохозяйственные нормативы прежде всего должны способствовать охране бактерий, простейших, грибов и других организмов, участвующих в процессах самоочищения воды. Большую роль в самоочищении играет и высшая водная растительность, которая является достаточно хорошим детоксикантом.

Не должно нарушаться начальное звено круговорота веществ, т.е. звено автотрофных организмов, так как фитопланктон составляет основу питания зоопланктона, растительоядных и других организмов. Недопустимо нарушение всех организмов пищевой цепи и различных трофических уровней для сохранения нормального функционирования водных экосистем. Только охрана всех звеньев будет способствовать созданию высокой биопродуктивности водоемов. Поэтому нормирование в рыбохозяйственных водоемах должно быть направлено на сохранение и восстановление взаимосвязей гидробионтов и условий их обитания, близких к природным.

2. В основу разработки требований к качеству воды должен быть положен принцип создания в водоемах нормальных условий обитания и воспроизводства рыб и других гидробионтов. Поэтому нормированию должны подлежать все основные показатели качества воды – цвет, запах, вкус, содержание взвешенных веществ, кислорода и т.д. Среди экологических факторов, имеющих наиболее важное значение для гидробионтов, выделяются *температура и содержание кислорода*. В природных водоемах средних широт амплитуда колебаний температуры в летний период не превышает 7°C , а чаще составляет $2\text{--}4^{\circ}\text{C}$, внезапное повышение температуры воды более чем на 5°C вызывает нарушение жизнедеятельности, явно заметное по внешним признакам.

Согласно рыбохозяйственным нормативам недопустим прогрев водной массы в летний период выше $25\text{--}30^{\circ}\text{C}$. В нерестовые лососевые водоемы теплые воды не должны поступать.

Стойкость рыб к недостатку кислорода понижается с повышением температуры воды. Так, пороговая концентрация, ниже которой рыба гибнет от удушья, у окуня при $15^{\circ}\text{C}=0,4\text{ мг}\text{O}_2/\text{л}$, а при 25°C – уже $1,4\text{ мг}\text{O}_2/\text{л}$, у плотвы соответственно $0,6$ и $1,6\text{ мг}/\text{л}$; у щуки – $0,72$ и $1,4\text{ мг}/\text{л}$ и т.д. Зимой пороговая концентрация всегда ниже, чем летом. У большинства рыб процессы жизнедеятельности протекают нормально только в том случае, когда содержание кислорода в воде не ниже $3\text{--}4\text{ мг}/\text{л}$, а у лососевых – не ниже $6\text{--}7\text{ мг}/\text{л}$.

Рыбохозяйственные нормативы O_2 должны удовлетворять следующим требованиям: содержание растворенного O_2 не должно снижаться во все сезоны года до минимальных потребностей в нем рыб и других водных организмов даже на короткое время; всегда должен быть некоторый запас O_2 в воде (коэффициент безопасности) на случай неожиданных изменений его количества в результате резкого изменения температуры, pH, содержания углекислоты, появления токсикантов и т.д. Для водоемов разных типов требование к содержанию O_2 в разные сезоны года неодинаковы.

В открытый период содержание O_2 во всех рыбохозяйственных водоемах должно быть выше 6,0 мг/л. Это требование распространяется в зимний период на водоемы, в которые сбрасывают нагретые сточные воды (на участках, где температура воды выше $0,5^{\circ}C$).

БПК (биохимическое потребление кислорода). Нормирование этого показателя необходимо потому, что БПК является косвенным показателем содержания в воде органических веществ, поддающихся окислению, показателем хода процессов самоочищения, т.е. минерализации органического вещества, а также косвенным показателем бактериального загрязнения и бактериального самоочищения воды, особенно при загрязнениях типа бытовых сточных вод.

Учитывая, что зимнее снижение концентрации O_2 в большинстве естественных водоемов до 50–25% насыщения является обычным, для водоемов первой категории, в которых содержание O_2 в зимний период не падает ниже 60% насыщения (8,8 мг/л) и водоемов второй категории, в которых оно не падает ниже 40% (5,9 мг/л) БПК после смешивания ее со сточными водами или другими загрязнениями не должна превышать 2,0 мг/л.

Активная реакция воды. Поступление в рыбохозяйственные водоемы кислых и щелочных загрязнений может быть допущено только в том случае, если это не вызывает изменения нормальных условий обитания и развития водных организмов и протекания биохимических процессов. В природных водоемах pH колеблется от 4,5 до 9,5, но наиболее благоприятные условия для водных организмов наблюдаются лишь в пределах колебания pH от 6,5 до 8,5 и поэтому эти показатели приняты как нормативные.

Взвешенные вещества. На водные организмы и среду их обитания взвешенные вещества оказывают большое влияние.

Прямое их воздействие на гидробионтов выражается в том, что они могут засорять жабры рыб и препятствовать газообмену. Некоторые минеральные вещества наносят им травмы. С другой стороны, мелкие взвешенные частицы некоторых органических веществ являются пищей отдельных мелких животных.

Вообще прямое отрицательное воздействие взвешенных веществ на водные организмы, особенно на рыб, проявляется в меньшей степени,

чем косвенное. Рыбы способны выдерживать высокие концентрации взвешенных веществ в воде. При высоком содержании в воде взвешенных веществ, вследствие уменьшения прозрачности воды снижается интенсивность фотосинтеза, ухудшаются условия питания организмов, отфильтровывающих корм. Взвешенные вещества, оседая на дно, образуют отложения, препятствующие нормальному развитию бентоса и корневой системы растений. Отложение взвесей на нерестилищах ведет к уничтожению икры и потере нерестовых участков. Взвешенные органические вещества, особенно остатки волокна, растительной клетчатки потребляют на свое окисление большое количество O_2 . Нормирование взвешенных веществ в воде рыбохозяйственных водоемов также обязательно, как и других показателей качества воды.

Содержание взвешенных веществ в воде водоемов первой категории после смешения ее со сточными водами или другими загрязнениями не должно увеличиваться больше чем на 0,25 мг/л, а в воде водоемов второй категории – на 0,75 мг/л.

Плавающие примеси (вещества). Различные плавающие примеси, жировые, нефтяные и другие пленки, образующиеся на поверхности воды, препятствуют ее аэрации, тормозят ход процессов самоочищения, способствуют снижению интенсивности фотосинтеза и т.д. Пленки могут покрывать жабры рыб, нарушая дыхательный процесс.

При поступлении в водоемы сточных вод на поверхности воды не должны обнаруживаться пленки нефтепродуктов, масел, жиров и других примесей.

Окраска, запахи, привкусы. Поступающие в водоемы разрешенные к сбросу сточные воды и другие вещества не должны придавать воде водоемов посторонних запахов, привкусов, окраски и не должны передаваться мясу рыб и других промысловых гидробионтов.

Ядовитые и токсические вещества. В воде рыбохозяйственных водоемов ядовитые вещества не должны содержаться в концентрациях, оказывающих прямо или косвенно вредное воздействие на рыб и другие водные организмы, т.е. концентрация их не должна превышать установленные для них ПДК.

Возбудители заболеваний. Вода рыбохозяйственных водоемов не должна содержать возбудителей заболеваний. Сточные воды, содержащие возбудителей должны подвергаться обеззараживанию после предварительной очистки. Методы обеззараживания и предварительной очистки (механическая или биологическая) согласовываются с органами государственного санитарного надзора в каждом отдельном случае.

Общие меры профилактики отравлений рыб ядовитыми химикатами (токсикантами). Имеющиеся данные показывают, что основным источником отравлений рыб являются ядовитые вещества, поступающие в водоемы со сточными водами производств различного ха-

рактера, препараты, которые используются в сельском и рыбном хозяйстве либо в качестве минеральных удобрений, либо в качестве пестицидов – гербицидов и средств борьбы с вредителями садов, полей, огородов, грызунами, а также для борьбы с «цветением» водоемов, использованием моллюскоцидов, фунгицидов, пестицидов – антгельминтиков, при передозировках в водоемах лекарственных веществ, ихтиоцидов.

Обширный материал по отравлению рыб минеральными и органическими токсикантами свидетельствует о том, что основной причиной зарегистрированных случаев отравлений рыбы ядами является несоблюдение инструктивных указаний по использованию и хранению ядохимикатов, а также их учету.

При применении ядохимикатов в сельском хозяйстве необходимо принимать меры к недопущению попадания их в водоемы, которые используются для водоснабжения и разведения рыбы. Работники рыбохозяйственных организаций и санитарные ветеринарные организации и станции по защите растений должны так организовать свою работу, чтобы не допустить и полностью исключить возможность отравления водоемов – усилить контроль за качеством вод, поступающих в водоемы, контроль за хранением, транспортировкой и применением ядохимикатов в сельском хозяйстве.