

**Тема: Вступ до дисципліни**

*Лекція 1*

1. Предмет і об'єкти досліджень у водній токсикології. Мета і завдання курсу, його місце у системі знань та фаховій підготовці бакалаврів за напрямом «Водні біоресурси та аквакультура»
2. Розвиток наукових основ водної токсикології, її методологія
3. Основні напрями сучасних досліджень з водної токсикології

Водна токсикологія – це наука про токсичні властивості водного середовища по відношенню до представників біоти водойм.

Предметом її дослідження є різноманіття, походження, структура, поведінка, шляхи міграції і механізми трансформації токсичних речовин у водному середовищі та токсична дія їх на гідробіонтів.

Об'єктами дослідження виступають водойми, які потерпають від забруднення токсичними речовинами, джерела забруднення водного середовища, водні екосистеми та їх складові частини.

Основними завданнями водної токсикології є дослідження типів і компонентного складу забруднень, походження, структури і властивостей токсичних речовин, характеру їхнього впливу на живі організми водних екосистем.

Кінцевою метою токсикологічних досліджень є визначення і прогнозування еколого-токсикологічної ситуації на водних об'єктах та обґрунтування шляхів зменшення токсикологічної загрози для людини як споживача води і гідробіоресурсів.

Водна токсикологія як самостійна наука почала формуватися у середині ХІХ століття на базі санітарної гідробіології, максимально інтенсивний її розвиток припадає на середину і другу половину ХХ століття. Основоположником водної токсикології по праву вважають М.С.Строганова. Ним вперше було чітко сформульовано завдання цієї науки, введено сам термін «водна токсикологія». Значний вклад внесли і такі вчені як Е.О.Веселов, В.І.Лук'яненко, Б.О.Флеров, О.Ф.Філенко, Л.П.Брагінський, В.Д.Романенко та ін.

Основними напрямками сучасних досліджень у водній токсикології є: боротьба із забрудненням водойм, розпізнавання токсичності водного середовища і діагностика отруєння риб, з'ясування механізму дії токсичних речовин і метаболізму токсикантів в організмі гідробіонтів, боротьба з непромисловими (або шкідливими) гідробіонтами за допомогою хімічних речовин.

Практичне значення водної токсикології полягає у встановленні і науковому обґрунтуванні гранично допустимих концентрацій токсичних речовин у стічних водах при скиданні їх у водойми рибогосподарського і комплексного призначення; розробці уніфікованих методів визначення токсичності водного середовища та діагностиці отруєння гідробіонтів; підборі водних організмів для біотестування та визначення якості води за біологічними показниками; розробленні методичних підходів щодо контролю та управління еколого-токсикологічною ситуацією на водоймах.

### Тема: Введение к дисциплине

#### Лекция 1

1. Предмет и объекты исследования в водной токсикологии. Цель и задачи курса, его место в системе знаний и профессиональной подготовке бакалавров направления «Водные биоресурсы и аквакультура»
2. Развитие научных основ водной токсикологии, ее методология
3. Основные направления современных исследований по водной токсикологии

Водная токсикология – это наука о токсических свойствах водной среды по отношению к представителям биоты водоемов. Предметом ее исследования является многообразие, происхождение, структура, поведение, пути миграции и механизмы трансформации токсических веществ в водной среде и их воздействие на гидробионтов. Объектами исследования выступают водоемы, которые страдают от загрязнения токсичными веществами, источники загрязнения водной среды, водные экосистемы и их составные части.

Основными задачами водной токсикологии выступают: исследование типов и компонентного состава загрязнений; происхождения, структуры и свойств токсических веществ; характера их воздействия на живые организмы, составляющие водные экосистемы. Конечной целью токсикологических исследований является определение и прогнозирование эколого-токсикологической ситуации на водных объектах и обоснование путей уменьшения токсической угрозы для человека как потребителя воды и гидробиоресурсов.

Водная токсикология как самостоятельная наука начала формироваться в середине XIX века на базе санитарной гидробиологии. Максимально интенсивное ее развитие приходится на середину и вторую половину XX века. Основоположником водной токсикологии по праву считают М.С.Строганова. Им впервые были четко сформулированы задачи этой науки, введен сам термин «водная токсикология», определены критерии токсичности загрязняющих водоемы веществ. Значительный вклад в развитие науки внесли и такие ученые как Э.А.Веселов, В.И.Лукьяненко, Б.О.Флеров, О.Ф.Филенко, Л.П.Брагинский, В.Д.Романенко и др.

Основными направлениями современных исследований в водной токсикологии выступают: борьба с загрязнением водоемов, распознавание токсичности водной среды и диагностика отравлений рыб, определение механизма действия токси-

ческих веществ и метаболизма токсикантов в организме гидробионтов, борьба с непромышленными (или вредными) гидробионтами с помощью химических средств.

Практическое значение водной токсикологии заключается в установлении и обосновании предельно допустимых концентраций токсичных веществ в сточных водах при сбросе их в водоемы рыбохозяйственного и комплексного назначения; разработке унифицированных методов определения токсичности водной среды и диагностике отравления гидробионтов; подборе водных организмов для биотестирования и определения качества воды по биологическим показателям; разработке методических подходов по контролю и управлению эколого-токсикологической ситуацией на водоемах.

**Тема: Основні групи токсичних речовин, які забруднюють водне середовище**

*Лекція 2*

1. Основні класифікації токсичних забрудників водного середовища та їх застосування і практичне значення
2. Пріоритетні токсиканти. Ознаки пріоритетності
3. Форми існування токсичних забрудників у воді

Забруднюючі речовини – це сполуки, які надходять у навколишнє середовище або утворюються у ньому у кількостях, що виходять за межі звичайної наявності – граничних природних коливань або середнього природного фону. Вони викликають негативні зміни якості середовища і захворювання або загибель живих організмів, які його населяють. Такі властивості забруднюючих речовин називаються токсичними, а вони самі – токсикантами.

У наш час за оцінкою EPA (United States Environmental Protection Agency) існує більше 5 млн. найменувань токсичних речовин, які використовуються людиною у ході господарської діяльності і різними шляхами надходять у водні об'єкти. Серед них значну частину складають штучно синтезовані токсичні забрудники. Таке різноманіття не може бути контрольованим без застосування класифікацій, які повинні враховувати всі сторони впливу отрут на біологічні і екологічні системи. Величезна кількість токсичних речовин, їх різна будова, неоднаковий ступінь токсичності та рівень небезпеки, напрями дії на живі організми та характер ураження не дозволяють створити єдину універсальну класифікацію. Тому нині широко використовується цілий ряд класифікацій, які дещо полегшують контроль за забрудненням водою: за ступенем токсичності; за хімічною будовою та специфічністю токсичної дії; за механізмом токсичної дії і т.п.

Величезна різноманітність токсикантів унеможлиблює систематичний контроль за ними всіма з точки зору обсягу проведення і вартості досліджень. У зв'язку з цим для систематичного моніторингу якості води за токсикологічними показниками виділяють групу пріоритетних токсикантів. Основними ознаками пріоритетності забрудників є їхнє глобальне поширення; висока стійкість до трансформацій; тривалий період руйнування; висока токсичність у низьких концентраціях; здатність до біоаккумуляції та біомагніфікації. Речовини, що відповідають вказаним критеріям, називають екотоксикантами. До пріоритетних токсикантів відносяться важкі метали, нафта і нафтопродукти, феноли і т.д.

Різноманітність хімічного складу і будови токсичних речовин спричиняє і різноманітність форм їхнього існування у водному середовищі. За фазово-дисперсним станом серед токсикантів виділяють розчини (справжні і колоїдні) та зависі (емульсії, суспензії). Багато токсичних речовин можуть бути присутні у водному середовищі одночасно у декількох формах. Найбільш досліджені у цьому плані металічні отрути. Залежно від умов середовища (рН, окисно-відновний потенціал  $E_h$ , наявність лігандів) метали існують у різних ступенях окиснення і входять до складу різноманітних неорганічних і металоорганічних сполук, які можуть бути розчинними, колоїднодисперсними, або існувати у вигляді мінеральних чи органічних суспензій.

**Тема: Основные группы токсических веществ, загрязняющих водную среду**

*Лекция 2*

1. Основные классификации токсических загрязнителей водной среды, их применение и практическое значение
2. Приоритетные токсиканты. Признаки приоритетности
3. Формы существования токсических загрязнителей в воде

Загрязняющие вещества – это соединения, которые поступают в окружающую среду или образуются в ней в количествах, выходящих за пределы обычного присутствия – предельных естественных колебаний или среднего природного фона. Они вызывают негативные изменения качества среды и заболевания или гибель живых организмов, которые его населяют. Такие свойства загрязняющих веществ называются токсическими, а они сами – токсикантами. В наше время по оценке EPA (United States Environmental Protection Agency) существует более 5 млн. наименований токсических веществ, используемых человеком в ходе хозяйственной деятельности, которые потом различными путями поступают в водные объекты. Среди них значительную часть составляют искусственно синтезированные токсичные загрязнители. Такое многообразие не может быть контролируемо без применения классификаций, которые должны учитывать все стороны влияния ядов на биологические и экологические системы. Огромное количество токсичных веществ, их различное строение, неодинаковая степень токсичности и уровень опасности, разные механизмы действия на живые организмы и характер поражения биологических объектов не позволяют создать единую универсальную классификацию. Поэтому сейчас широко используется целый ряд классификаций, которые несколько облегчают контроль за загрязнением водоемов – по степени токсичности; по химическому строению и специфике токсического действия; по механизму токсического действия и т.п.

Огромное разнообразие токсикантов исключает возможность систематического контроля за ними всеми с точки зрения объема проведения и стоимости исследований. В связи с этим для систематического мониторинга качества воды по токсикологическим показателям выделяют группу приоритетных токсикантов. Основными признаками приоритетности загрязнителей является их глобальное распространение, высокая устойчивость к трансформациям, длительный период разрушения; высокая токсичность в низких концентрациях; способность к биоаккумуляции

и биомагнификации. Вещества, отвечающие указанным критериям, называют экотоксикантами. К приоритетным токсикантам относятся тяжелые металлы, нефть и нефтепродукты, фенолы и т.д.

Разнообразие химического состава и строения токсичных веществ обуславливает разнообразие форм их существования в водной среде. По фазово-дисперсному состоянию среди токсикантов выделяют растворы (настоящие либо коллоидные) и взвеси (эмульсии либо суспензии). Многие токсичные вещества могут присутствовать в водной среде одновременно в нескольких формах. Наиболее исследованы в этом плане металлические яды. В зависимости от условий среды (рН, окислительно-восстановительного потенциала  $E_h$ , наличия лигандов) металлы могут одновременно существовать в разных степенях окисления и входят в состав разнообразных неорганических и металлоорганических соединений, которые могут быть растворимыми, коллоидно-дисперсными или существовать в виде минеральных или органических взвесей.



## Тема: Джерела і шляхи токсичного забруднення водойм

## Лекція 3

1. Джерела токсичного забруднення водойм. Поняття про токсикогенний стік
2. Шляхи надходження токсикантів у водойми
3. Параметри рівня токсичного забруднення водойм

Джерелами токсичного забруднення водойм вважаються суб'єкти і об'єкти навколишнього середовища, які безпосередньо забезпечують надходження токсичних речовин у водні екосистеми. Водотоки (річки, притоки річок, іригаційні та зрошувальні канали, струмки), які розносять зі своєю течією токсичні речовини, отримані з різних джерел, розглядаються як донори токсичного забруднення. Водойми, що приймають стоки від джерел або донорів, виступають реципієнтами токсичного забруднення. За походженням розрізняють природні і антропогенні забруднення. Антропогенні забруднення бувають первинними і вторинними, контрольованими і неконтрольованими. За просторовим поширенням залежно від розміру охоплених територій розрізняють локальні, регіональні і глобальні забруднення. За силою та характером дії на навколишнє середовище забруднення поділяють на фонові, імпульсні, перманентні, катастрофічні.

Дослідження токсифікації водного середовища у рибогосподарських водоймах показує, що носіями токсичності можуть бути водні маси, зависі, пересувні мули, планктон. У сукупності вони утворюють токсикогенний стік ( $F_t$ ):

$$F_t = F_i + F_o + F_m + F_s + F_p, \text{ де}$$

$F_i$  – іонний стік;  $F_o + F_m$  – стік розчинених органічних і мінеральних речовин,  $F_s$  – стік зависей,  $F_p$  – стік біологічно акумульованих речовин.

Шляхами надходження токсикантів у водойми виступають атмосферне перенесення і опади; поверхневі дифузні змиви з водозбірної площі; ґрунтові води; скидання промислових та комунально-побутових стоків безпосередньо у водні об'єкти. Кожен із цих шляхів робить свій внесок у формування загального токсикогенного стоку у водойми. Величина такого внеску не є постійною і весь час змінюється залежно від кліматичних та погодних умов на території, де розташована водойма, геоморфології та рельєфу ландшафтів, глибини розташування водопідпірних горизонтів та залягання ґрунтових вод, соціально-економічної структури регіону.

До основних параметрів, які дозволяють оцінити рівень токсичного забруднення водних екосистем, належать: вміст домінуючих стійких токсикантів у водних

масах, донних відкладах та організмах-моніторах; коефіцієнт донної акумуляції; коефіцієнт біологічної акумуляції; коефіцієнт магніфікації; ступінь перевищення рибогосподарських ГДК; ступінь перевищення лімітуючого показника шкідливості.

Напрямок розвитку токсичних процесів у водоймах визначається коефіцієнтами донної і біологічної акумуляції. Зростання даних коефіцієнтів свідчить про прогресуюче забруднення водойм, зменшення – про зниження рівня забруднення та активізацію процесів детоксикації та самоочищення водойм.

**Тема: Источники и пути токсического загрязнения водоемов**

*Лекция 3*

1. Источники токсического загрязнения водоемов. Понятие о токсикогенном стоке
2. Пути поступления токсикантов в водоемы
3. Параметры уровня токсического загрязнения водоемов

Источниками токсического загрязнения водоемов считаются субъекты и объекты окружающей среды, которые непосредственно обеспечивают поступление токсичных веществ в водные экосистемы. Водотоки (реки, притоки рек, ирригационные и оросительные каналы, ручьи), которые разносят токсичные вещества, полученные из разных источников, рассматриваются как доноры токсического загрязнения. Водоемы, принимающие стоки от источников или доноров, выступают реципиентами токсического загрязнения. По происхождению различают природные и антропогенные загрязнения. Антропогенные загрязнения бывают первичными и вторичными, контролируруемыми и неконтролируемыми. Относительно пространственного распространения и размера охваченных территорий различают локальные, региональные и глобальные загрязнения. По силе и характеру воздействия на окружающую среду выделяют фоновые, импактные, перманентные и катастрофические загрязнения.

Исследование токсификации водной среды в рыбохозяйственных водоемах показывает, что носителями токсичности могут быть водные массы, взвеси, донные илы, планктон. В совокупности они образуют токсикогенный сток ( $F_t$ ):

$$F_t = F_i + F_o + F_m + F_s + F_p, \text{ где}$$

$F_i$  - ионный сток;  $F_o + F_m$  – сток растворенных органических и минеральных веществ,  $F_s$  - сток взвесей,  $F_p$  - сток биологически аккумуляированных веществ.

Пути поступления токсикантов в водоемы являются атмосферный перенос и осадки; поверхностные диффузные смывы с водосборной площади; грунтовые воды; сброс промышленных и коммунально-бытовых стоков непосредственно в водные объекты. Каждый из этих путей вносит свой вклад в формирование общего токсикогенного стока в водоемы. Размер такого вноса не является постоянной величиной и меняется в зависимости от климатических и погодных условий на территории, где расположен водоем, геоморфологии и рельефа ландшафтов, глубины расположения водоупорных горизонтов и залегания грунтовых вод, социально-экономической структуры региона.

К основным параметрам, которые позволяют оценить уровень токсического загрязнения водных экосистем, относятся: содержание доминирующих устойчивых токсикантов в водных массах, донных отложениях и организмах-мониторах; коэффициент донной аккумуляции; коэффициент биологической аккумуляции; коэффициент магнификации; степень превышения рыбохозяйственных ПДК; степень превышения лимитирующего показателя вредности.

Направление развития токсических процессов в водоемах определяется коэффициентами донной и биологической аккумуляции. Их рост свидетельствует о прогрессирующем загрязнении водоемов, уменьшение – о снижении уровня загрязнения и активизацию процессов детоксикации и самоочищения водоемов.

**Тема: Поширення, міграції і трансформація токсикантів у водному середовищі**

*Лекція 4*

1. Особливості поширення і міграцій токсичних речовин у водному середовищі
2. Трансформація токсичних речовин у водному середовищі
  - 2.2. Фізичні процеси трансформації токсикантів у водному середовищі
  - 2.3. Хімічна трансформація токсикантів
3. Самозабруднення та самоочищення водою

Будь-яка екосистема, у тому числі і водна, в основі свого функціонування має колообіг речовин і енергії. Водойми різного типу і призначення сучасними дослідниками розглядаються як відкриті термодинамічні системи, до яких постійно надходять алохтоні неорганічні і органічні речовини та виділяються автохтоні сполуки – продукти життєдіяльності гідробіонтів та окисно-відновних хімічних реакцій. Речовини, що надійшли у водне середовище, негайно залучаються до ланцюга різноманітних переміщень і перетворень.

При цьому відбуваються фізичні (механічне перемішування та перенесення, розбавлення, випаровування, осадження, адсорбція і десорбція, фотоліз) та геологічні процеси (поховання у донних відкладах і породоутворення), хімічні (дисоціація, гідроліз, окисно-відновні реакції, комплексоутворення) та біологічні (поглинання живими організмами, руйнування і перетворення за участю ферментів) трансформації.

Серед фізичних процесів найбільш важливе значення має фотоліз. У результаті фотолізу можлива деградація та руйнування стійких токсичних забрудників водного середовища, особливо у регіонах з високою сонячною активністю. Проте часто при фотолізі утворюються нові речовини, токсичність яких вище, ніж у вихідних сполук. Інколи у електронно-збудженій молекулі відбувається перегрупування атомів, що викликає полімерізацію і утворення різноманітних ізомерів. Якщо молекула отримує велику кількість енергії, може відбутися розрив хімічних зв'язків з утворенням двох молекулярних уламків, які дуже часто є вільними радикалами або активними атомами.

Основна ж маса трансформацій токсичних речовин у водному середовищі здійснюється у результаті різноманітних хімічних реакцій, найважливішими з яких є гідроліз, окисно-відновні реакції, комплексоутворення.

Перебіг у водному середовищі величезної кількості різноспрямованих фізичних, хімічних і біологічних процесів за нормальних умов чітко взаємоузгоджений, що дозволяє водним екосистемам стабільно підтримувати на високому рівні якість води. Порушення збалансованості процесів спричиняє самозабруднення водою. Проте, процесам замозабруднення у водоймах різних типів протистоять процеси самоочищення, під якими розуміють сукупність реакцій розщеплення і виведення забруднюючих речовин з колообігу водного середовища.

1. Особенности распространения и миграции токсичных веществ в водной среде
2. Трансформация токсичных веществ в водной среде
  - 2.2. Физические процессы трансформации токсикантов в водной среде
  - 2.3. Химическая трансформация токсикантов
3. Самозагрязнение и самоочищение водоемов

Любая экосистема, в том числе и водная, в основе своего функционирования имеет круговорот веществ и энергии. Водоемы различного типа и назначения современными исследователями рассматриваются как открытые термодинамические системы, в которые постоянно поступают аллохтонные неорганические и органические вещества и выделяются автохтонные соединения – продукты жизнедеятельности гидробионтов и окислительно-восстановительных химических реакций. Вещества, поступившие в водную среду, немедленно вовлекаются в цепи различных перемещений и преобразований. При этом происходят физические (механическое перемешивание и перенос, разбавление, испарение, осаждение, адсорбция и десорбция, фотолиз) и геологические процессы (захоронение в донных отложениях и породообразование), химические (диссоциация, гидролиз, окислительно-восстановительные реакции, комплексообразование) и биологические (поглощение живыми организмами, разрушение и преобразование с участием ферментов) трансформации.

Среди физических процессов наиболее важное значение имеет фотолиз. В результате фотолиза возможна деградация и разрушение устойчивых токсичных загрязнителей водной среды, особенно в регионах с высокой солнечной активностью. Однако часто при фотолизе образуются новые вещества, токсичность которых выше, чем у исходных соединений. Иногда в электронно-возбужденной молекуле происходит перегруппировка атомов, вызывающая полимеризацию и образование различных изомеров. Если молекула получает большое количество энергии, может произойти разрыв химических связей с образованием двух молекулярных обломков, которые очень часто являются свободными радикалами или активными атомами.

Основная же масса трансформаций токсичных веществ в водной среде осуществляется в результате разнообразных химических реакций, важнейшими из ко-

торых являются гидролиз, окислительно-восстановительные реакции, комплексообразование.

Сосуществование в водной среде огромного количества разнонаправленных физических, химических и биологических процессов в нормальных условиях четко взаимосогласовано, что позволяет водным экосистемам стабильно поддерживать на высоком уровне качество воды. Нарушение сбалансированности процессов вызывает самозагрязнение водоемов.

Однако, процессам замозагрязнения в водоемах различных типов противостоят процессы самоочищения, под которыми понимают совокупность реакций расщепления и выведения загрязняющих веществ из круговорота водной среды.



**Тема: Біотрансформація токсичних забрудників у водних екосистемах**

*Лекція 5*

1. Поняття про біодоступність токсичних речовин
2. Мікробіологічна трансформація токсичних речовин у водному середовищі
3. Метаболізм ксенобіотиків в організмах гідробіонтів. Летальний синтез

Напрями, форми та швидкість трансформації токсичних речовин у водному середовищі визначають можливості їхнього потрапляння до організмів гідробіонтів і включення у метаболічні процеси, тобто обумовлюють певний рівень «біодоступності» ксенобіотиків. Біодоступність залежить від хімічної будови токсичних речовин, рівня токсичності сполук для організму-мішені, їхньої концентрації у навколишньому середовищі, умов середовища, які впливають на швидкість перенесення сполук в організми, від генетичних властивостей самих організмів, будови їхніх покривних тканин, наявності різних шляхів та механізмів перенесення токсичних речовин.

Абіотична трансформація токсичних речовин відбувається досить повільно. Значно швидше ксенобіотики деградують за участю біоти, особливо мікроорганізмів (головним чином бактерій і грибів). Мікробіологічна трансформація токсичних сполук, що потрапили у водне середовище, може протікати у різних напрямках, приводячи до мінералізації, акумуляції чи полімеризації вихідних реагентів. Токсичні сполуки, які піддаються повній деградації, використовуються мікроорганізмами як ростові субстрати і проходять повний метаболічний цикл. Часткова трансформація токсикантів відбувається у процесах кометаболізма або співокиснення і не пов'язана з включенням метаболітів у цикли живлення мікроорганізмів. Нарешті, деякі ароматичні вуглеводні і синтетичні полімери взагалі не піддаються біологічній трансформації.

У перетворенні токсичних речовин активну участь беруть і гідробіонти вищих рівнів біологічної організації, наприклад, молюски, риби, водні ссавці. У них основні механізми трансформації ксенобіотиків закладені в обмін речовин, при цьому біохімічні процеси перетворення токсикантів чітко скоординовані у просторі і часі, завдяки чому різні процеси, інколи прямо протилежні, здійснюються одночасно, не заважаючи один одному. Метаболізм ксенобіотиків проходить у дві фази: 1 – окисно-відновне або гідролітичне перетворення, 2 – синтетичні процеси кон'югації проміжних продуктів метаболізму з ендogenous речовинами, внаслідок чого утворюються полярні сполуки, які виводяться з організму за допомогою механізмів екскре-

ції. У всіх перетвореннях визначальна роль належить ферментам, які забезпечують спряженість трансформацій на метаболічному та енергетичному рівнях, що створює умови для саморегуляції та підтримання гомеостазу живих організмів.

Наслідками модифікації токсикантів можуть бути: послаблення токсичності, посилення токсичності, зміна характеру токсичної дії, ініціація токсичного процесу.

Якщо у результаті перетворення токсикантів у організмі гідробіонтів утворюються похідні, більш токсичні, ніж вихідні речовини, має місце, так званий, летальний синтез.

**Тема: Биотрансформация токсичных загрязнителей в водных экосистемах**

*Лекция 5*

1. Понятие о биодоступности токсичных веществ
2. Микробиологическая трансформация токсичных веществ в водной среде
3. Метаболизм ксенобиотиков в организмах гидробионтов. Летальный синтез

Направления, формы и скорость трансформации токсических веществ в водной среде определяют возможность их попадания в организмы гидробионтов и включение в метаболические процессы, т.е. обуславливают определенный уровень «биодоступности» ксенобиотиков. Биодоступность зависит от химического строения токсичных веществ, уровня токсичности соединений для организма-мишени, их концентрации в окружающей среде, условий среды, которые влияют на скорость переноса соединений в живые организмы, от генетических свойств самих организмов, строения их покровных тканей, наличия различных путей и механизмов переноса токсичных веществ.

Абиотические трансформации токсичных веществ происходят достаточно медленно. Значительно быстрее ксенобиотики деградируют при участии биоты, особенно микроорганизмов (главным образом бактерий и грибов). Микробиологическая трансформация токсичных соединений, попавших в водную среду, может протекать в различных направлениях, приводя к минерализации, аккумуляции или полимеризации исходных реагентов. Токсичные соединения, которые подвергаются полной деградации, используются микроорганизмами как ростовые субстраты и проходят полный метаболический цикл. Частичная трансформация токсикантов происходит в процессах кометаболизма или соокисления и не связана с включением метаболитов в циклы питания микроорганизмов. Наконец, некоторые ароматические углеводороды и синтетические полимеры вообще не поддаются биологической трансформации.

В преобразовании токсичных веществ активное участие принимают и гидробионты высших уровней биологической организации, например, моллюски, рыбы, водные млекопитающие. У них основные механизмы трансформации ксенобиотиков заложены в обмен веществ, при этом биохимические процессы превращения токсикантов четко скоординированы в пространстве и времени, благодаря чему различные процессы, иногда прямо противоположные, осуществляются, не мешая друг другу. Метаболизм ксенобиотиков проходит в две фазы: 1 – окислительно-

восстановительное или гидролитическое превращение, 2 – синтетические процессы конъюгации промежуточных продуктов метаболизма с эндогенными веществами, в результате чего образуются полярные соединения, которые выводятся из организма с помощью механизмов экскреции.

Во всех преобразованиях определяющая роль принадлежит ферментам, которые обеспечивают сопряженность трансформаций на метаболическом и энергетическом уровнях, создают условия для саморегуляции и поддержания гомеостаза живых организмов.

Последствиями модификации токсикантов могут быть: ослабление токсичности, усиление токсичности, изменение характера токсического действия, инициация токсического процесса. Если в результате преобразования токсикантов в организме гидробионтов образуются производные, более токсичные, чем исходные вещества, имеет место, так называемый, летальный синтез.

**Тема: Типізація забруднень водойм та дослідження векторів впливу різних їх типів на водну біоту**

*Лекція 6*

1. Типізація забруднень водойм. Інгрeдiєнтне і параметричне забруднення
2. Органічне забруднення та вектори його впливу на водну біоту
3. Сапробність водних об'єктів

Розрізняють інгрeдiєнтне і параметричне забруднення водойм. Інгрeдiєнтне забруднення – це надходження у водойми чужорідних речовин або зміна кількісного співвідношення між основними складовими гідрохімічного складу природних вод за рахунок як алохтонних, так і автохтонних процесів. Параметричне забруднення – це зміна якісних параметрів водного середовища. Інгрeдiєнтне забруднення включає сапробізацію, евтрофікацію, токсифікацію і ацидофікацію; до параметричного відносять нуклідизацію і термофікацію.

Наявність у воді органічних речовин є одним із важливих чинників, який визначає екологічну якість водного середовища. Ступінь забруднення водних об'єктів органічними речовинами визначає їхню сапробність. За походженням органічні речовини водойм поділяють на алохтонні і автохтонні. Алохтонними називаються забруднювачі, які надходять з площі водозбору. Автохтонні органічні речовини утворюються у самій водній екосистемі у процесі життєдіяльності гідробіонтів. Найбільшу масу органічної речовини продукують фітопланктон і макрофіти у процесі фотосинтезу. Значну частину автохтонної органічної речовини складає детрит, або мертва органічна речовина, яка утворюється у результаті розкладання органічних залишків рослинного і тваринного походження. Забруднення водойм органічними речовинами викликає зміну кольору, прозорості і мутності води, погіршує кисневий режим, спричиняє появу токсичних метаболітів, таких як аміак, сірководень, метан. Деякі групи органічних токсикантів, особливо штучно синтезованих, мають специфічну токсичну дію як локального, так і резорбтивного характеру.

За ступенем забруднення органічними речовинами води поділяють на полі-,  $\alpha$ -мезо-,  $\beta$ -мезо-, оліго- та ксеносапробні, а гідробіонтів, які живуть в них, на полі-, мезо- і олігосапробів. Мешканців особливо чистих вод називають катаробами, а особливо брудних – гіперсапробами. Ступінь сапробності визначається за видовим складом бактеріо-, фіто- і зоопланктону, бентосу та перифітону.

Одним з основних показників для оцінки сапробності водних об'єктів виступає кількісна характеристика наявності або відсутності у воді вільного кисню. Чим більше забруднення органічними речовинами, тим більша кількість кисню використовується на окиснення і тим менше його залишається у воді.

Зони сапробності найбільш чітко проявляються у малих річках з уповільненою течією. У ставах, озерах і водосховищах потік забруднень від стічних труб та інших точкових джерел поширюється концентрично, тому зони сапробності формуються за кільцевою схемою. За штормового і турбулентного перемішування вод межі між зонами сапробності стираються.

**Тема: Типизация загрязнений водоемов и исследование векторов влияния разных их типов на водную биоту**

*Лекция 6*

1. Типизация загрязнений водоемов. Ингредиентное и параметрическое загрязнение
2. Органическое загрязнение и векторы его влияния на водную биоту
3. Сапробность водных объектов

Различают ингредиентное и параметрическое загрязнение водоемов. Ингредиентное загрязнение – это поступление в водоемы инородных веществ или изменение количественного соотношения между основными составляющими гидрохимического состава естественных вод за счет, как алохтонных, так и автохтонных, процессов. Параметрическое загрязнение – это изменение качественных параметров водной среды. Ингредиентное загрязнение включает сапробизацию, эвтрофикацию, токсификацию и ацидофикацию; к параметрическому относят нуклидизацию и термификацию.

Наличие в воде органических веществ является одним из важных факторов, который определяет экологическое качество водной среды. Степень загрязнения водных объектов органическими веществами определяет их сапробность. По происхождению органические вещества водоемов делят на аллохтонные и автохтонные. Аллохтонными называются загрязнители, которые поступают в водоем из вне. Автохтонные органические вещества образуются в самой водной экосистеме в процессе жизнедеятельности гидробионтов. Наибольшую массу органического вещества продуцируют фитопланктон и макрофиты в процессе фотосинтеза. Значительную часть автохтонного органического вещества составляет детрит, или мертвое органическое вещество, которое образуется в результате разложения органических остатков растительного и животного происхождения. Загрязнение водоемов органическими веществами вызывает изменение цвета, прозрачности и мутности воды, ухудшает кислородный режим, вызывает появление токсичных метаболитов, таких как аммиак, сероводород, метан. Некоторые группы органических токсикантов, особенно искусственно синтезированных, имеют специфическое токсическое действие как локального, так и резорбтивного характера.

За степенью загрязнения органическими веществами воды делят на поли-,  $\alpha$ -мезо-,  $\beta$ -мезо-, олиго- и ксеносапробные, а гидробионтов, которые живут в них, на

поли-, мезо- и олигосапробов. Обитателей особо чистых вод называют катаробами, а особо загрязненных – гиперсапробами. Степень сапробности определяется видовым составом бактерио-, фито- и зоопланктона, бентоса и перифитона.

Одним из основных показателей оценки сапробности водных объектов выступает количественная характеристика наличия или отсутствия в воде свободного кислорода. Чем выше загрязнение водоема органическими веществами, тем большее количество кислорода расходуется на окисление и тем меньше его остается в воде.

Зоны сапробности наиболее четко прослеживаются в малых реках с замедленным течением. В прудах, озерах и водохранилищах поток загрязнений от сточных труб и других точечных источников распространяется концентрически, потому зоны сапробности формируются по кольцевой схеме. При штормовом и турбулентном перемешивании вод пределы между зонами сапробности стираются.



1. Біогенне забруднення водойм
2. Вектори впливу біогенного забруднення на біоту водойм
3. Заходи з попередження евтрофікації водойм

Концентрації біогенних елементів у воді характеризують трофність («кормність») водних об'єктів. За трофністю розрізняють оліго-, мезо- та евтрофні водойми. Залежно від кількості біогенів, які надходять у водну екосистему, може відбуватися перехід оліготрофних водойм у мезотрофні та евтрофні – найбільш біологічно продуктивні. Але за перевищення деякого критичного, індивідуального для кожної екосистеми, рівня біогенного навантаження настає стадія гіпертрофії, яка проявляється у різкому зниженні продуктивності водойм та погіршенні якості води.

Надмірне надходження у водну товщу біогенних елементів порушує рівновагу продукційно-деструкційних процесів і розглядається як біогенне забруднення водних екосистем. В евтрофних водоймах суттєво змінюються фізико-хімічні властивості середовища: підвищується каламутність, падає прозорість води, знижується рівень насичення води киснем, у придонних шарах з'являються анаеробні зони. Накопичення надмірної кількості органічних речовин у донних мулових відкладах супроводжується утворенням метану, водню, сірководню, аміаку, які можуть виділятися у вигляді бульбашок, а при розчиненні у воді надають їй неприємного запаху і мають токсичний вплив на рибу та безхребетних, особливо взимку в підлідний період, що призводить до задухи і масової загибелі риби та їхньої природної кормової бази.

У високоевтрофних водоймах для більшості водних тварин створюються несприятливі умови існування. Як наслідок – зменшується видове різноманіття промислово цінних видів риби. У місцях концентрування і розкладання синьо-зелених водоростей масово гине риба внаслідок отруєння продуктами лізису водоростей та кисневого дефіциту, викликаного процесами гниття.

Ступінь евтрофікації водойм оцінюють за біологічними, хімічними і фізичними показниками, які відрізняються для поверхневих та глибинних вод:

- для поверхневих вод – за видовим складом, чисельністю, біомасою і продукцією водоростей, чисельністю сапрофітних бактерій, видовим складом і рівнем розвитку макрофітів, концентрацією  $P-PO_4$  або сумою фосфоровмісних компонентів у воді на початку весняної циркуляції, активністю фосфатаз та нітрогеназ;

- для глибинних вод – за вмістом кисню у воді у літній період, БСК<sub>5</sub>, концентрацією CO<sub>2</sub>, рівнем накопичення P-PO<sub>4</sub> і розчинних сполук азоту, утворенням метану і сірководню у донних відкладах.

Для попередження евтрофікації водойм найважливішим заходом є обмеження стоку до них біогенних елементів. Це може бути здійснено різними шляхами – підвищенням культури землеробства, перехопленням біогенів із поверхневих стоків за допомогою дренажних систем та відстійників і відведенням зібраних стічних вод за межі водозбору. Перспективним напрямком є фітомеліорація прибережних територій.

1. Биогенное загрязнение водоемов
2. Векторы влияния биогенного загрязнения на биоту водоемов
3. Мероприятия по предупреждению эвтрофикации водоемов

Концентрации биогенных элементов в воде характеризуют трофность (кормность) водных объектов. По трофности различают олиго-, мезо- и эвтрофные водоемы. В зависимости от количества биогенов, которые поступают в водные экосистемы, может происходить переход олиготрофных водоемов в мезотрофные и эвтрофные – наиболее биологически продуктивные. Но при превышении некоторого критического, индивидуального для каждой экосистемы, уровня биогенной нагрузки наступает стадия гипертрофии, которая проявляется в резком снижении продуктивности водоемов и ухудшении качества воды.

Чрезмерное поступление в водную среду биогенных элементов нарушает равновесие продукционно-деструкционных процессов и рассматривается как биогенное загрязнение водных экосистем. В эвтрофных водоемах существенно изменяются физико-химические свойства среды: повышается мутность, падает прозрачность воды, снижается уровень насыщения воды кислородом, в придонных слоях появляются анаэробные зоны. Накопление чрезмерного количества органических веществ в донных иловых отложениях сопровождается образованием метана, водорода, сероводорода, аммиака, которые могут выделяться в виде пузырьков, а при растворении в воде вызывают появление неприятного запаха и имеют токсичное влияние на рыб и беспозвоночных, особенно зимой в подледный период, что вызывает массовую гибель рыб и их естественной кормовой базы.

В высокоэвтрофных водоемах для большинства водных обитателей создаются неблагоприятные условия существования. Как следствие – уменьшается видовое разнообразие промышленно ценных видов рыб. В местах концентрирования и разложения синьо-зеленых водорослей массово погибает рыба в результате отравления продуктами лизиса водорослей и кислородного дефицита, обусловленного процессами гниения.

Степень эвтрофикации водоемов оценивают по биологическим, химическим и физическим показателям, которые отличаются для поверхностных и глубинных вод:

- для поверхностных вод – по видовому составу, численности, биомассе и продукции водорослей, численности сапрофитных бактерий, видовому составу и

уровню развития макрофитов, концентрации  $P-PO_4$  или сумме фосфорсодержащих компонентов в воде в начале весенней циркуляции, активности фосфатаз и нитрогеназ;

- для глубинных вод – по содержанию кислорода в воде в летний период, БСК<sub>5</sub>, концентрации  $CO_2$ , уровню накопления  $P-PO_4$  и растворимых соединений азота, образованию метана и сероводорода в донных отложениях.

Для предупреждения эвтрофикации водоемов важнейшим мероприятием является ограничение стока биогенных элементов. Это может быть осуществлено различными путями – повышением культуры земледелия, перехватом биогенов из поверхностных стоков с помощью дренажных систем и отстойников и отведением собранных сточных вод за пределы водосбора. Перспективным направлением является фитомелиорация прибрежных территорий.

1. Токсичне забруднення водойм
2. Багатокомпонентність і комбінована дія промислових стічних вод
3. Ацидофікація природних вод
4. Методи очищення стічних вод

Основним джерелом токсичного забруднення водойм є господарська діяльність людини у всій сукупності її напрямків. У процесі виробництва різні галузі господарства скидають у водойми стічні води, які містять цілий комплекс хімічних речовин, здатних викликати патологічні зсуви у функціонуванні окремих організмів або їхню смерть, а також змінюють перебіг всіх внутрішньоводоймних процесів, у результаті чого змінюється структура біотичних комплексів і відмічаються ознаки деградації водних екосистем. Крім антропогенного походження токсичність водного середовища може бути спричинена і надходженням у воду токсинів, вироблених у процесі життєдіяльності самих гідробіонтів (природна токсичність).

Стічні води промислових підприємств, як правило, містять цілий комплекс токсикантів різної хімічної природи.

Вплив багатокомпонентних стічних вод на водні екосистеми має комплексний характер, а роль окремих компонентів не завжди можна виділити і оцінити. У зв'язку з цим, поряд з визначенням ступеню токсичності окремих інгредієнтів промислових стічних вод важливим є встановлення характеру взаємодії різних речовин, об'єднаних ознаками хімічної спорідненості або спільністю технологічного процесу.

Розрізняють наступні види комбінованої дії отрут: 1) незалежна сумісна дія, коли кожна з декількох отрут має різні фізіологічні механізми дії, тобто впливає на різні функціональні системи; 2) однакова сумісна дія, при якій отрути мають однаковий механізм токсичної дії, тобто токсичні ефекти накладаються один на одного; 3) аддитивна дія отрут, коли токсичні ефекти всіх компонентів сумуються; 4) синергічна дія; 5) антагоністична дія.

Серед токсичного забруднення водойм окремо виділяють ацидофікацію – підкиснення водного середовища внаслідок потрапляння у водойми кислотних опадів або підкиснених вод поверхневого стоку. Під впливом ацидофікації у водоймах відбувається перебудова планктонних угруповань, гине зоопланктон та зообентос, спостерігаються опіки на листі макрофітів, відмічаються кислотні хвороби у риб та їхня загибель.

Протидіяти токсичному забрудненню водойм покликані різноманітні методи очищення стічних вод (поверхневих, побутових, промислових).

Найбільш перспективним і радикальним вирішенням проблеми забруднення водойм є будівництво сучасних багаторівневих очисних споруд, де процес очищення стічних вод включає первинне (механічне), вторинне (біологічне) і третинне (хімічне) очищення, дезинфекцію та дезодорацію води. Цільовим призначенням очисних споруд є запобігання впливу стічних вод на якість води водойм господарсько-побутового призначення в межах населених пунктів і рибогосподарського призначення поза населеними пунктами.

1. Токсическое загрязнение водоемов
2. Компонентный состав и комбинированное действие промышленных сточных вод
3. Ацидофикация естественных вод
4. Методы очистки сточных вод

Основным источником токсического загрязнения водоемов является хозяйственная деятельность человека во всей совокупности ее направлений. В процессе производства разные отрасли хозяйства сбрасывают в водоемы сточные воды, которые содержат целый комплекс химических веществ, способных вызывать патологические нарушения в функционировании отдельных организмов или их смерть, а также изменяют ход всех внутриводоемных процессов, в результате чего изменяется структура биотических комплексов и отмечаются признаки деградации водных экосистем. Кроме антропогенного происхождения токсичность водной среды может быть вызвана и поступлением в воду токсинов, выработанных в процессе жизнедеятельности самих гидробионтов (естественная токсичность).

Сточные воды промышленных предприятий, как правило, содержат целый комплекс токсикантов разной химической природы. Влияние многокомпонентных сточных вод на водные экосистемы имеет комплексный характер, а роль отдельных компонентов не всегда можно выделить и оценить. В связи с этим, наряду с определением степени токсичности отдельных ингредиентов промышленных сточных вод важным является установление характера взаимодействия разных веществ, объединенных признаками химического сродства или общностью технологического процесса. Различают следующие виды комбинированного действия ядов: 1) независимое совместное действие, когда каждый из нескольких ядов имеет разные физиологические механизмы действия, то есть влияет на разные функциональные системы; 2) одинаковое совместное действие, при котором яды имеют одинаковый механизм токсического действия, а токсические эффекты накладываются друг на друга; 3) аддитивное действие, когда токсические эффекты всех компонентов суммируются; 4) синергическое действие, когда токсичность смеси превышает суммарную токсичность ее компонентов; 5) антагонистическое действие – снижение токсичности смеси по сравнению с токсичностью ее компонентов.

Среди токсического загрязнения водоемов отдельно выделяют ацидофикацию – подкисление водной среды в результате попадания в водоемы кислотных осадков

или подкисленных вод поверхностного стока. Под воздействием ацидофикации в водоемах происходит перестройка планктонных сообществ, погибает зоопланктон и зообентос, наблюдаются ожоги на листьях макрофитов, отмечаются кислотные болезни у рыб и их гибель.

Противодействовать токсическому загрязнению водоемов призваны разнообразные методы очистки сточных вод (поверхностных, бытовых, промышленных). Наиболее перспективным и радикальным решением проблемы загрязнения водоемов является строительство современных многоуровневых очистных сооружений, где процесс очищения сточных вод включает первичную (механическую), вторичную (биологическую) и третичную (химическую) очистку, дезинфекцию и дезодорацию воды. Целевым назначением очистных сооружений является предупреждение влияния сточных вод на качество воды водоемов хозяйственно-бытового назначения в пределах населенных пунктов и рыбохозяйственного назначения вне населенных пунктов.



1. Радіаційне забруднення водойм
2. Міграції радіонуклідів у водному середовищі
3. Вплив радіоактивного забруднення водойм на життєдіяльність гідробіонтів
4. Термічне забруднення водойм та його наслідки для водних екосистем

Радіаційне забруднення водойм обумовлюється природними і штучними радіонуклідами, які утворюються у процесі радіоактивного розпаду хімічних елементів. Радіоактивним розпадом називається здатність ядер атомів самочинно перетворюватися в інші ядра або переходити із збудженого стану в основний. На відміну від звичайних реакцій, пов'язаних зі змінами в електронній оболонці атомів, радіоактивний розпад є хімічною реакцією безпосередньо в атомному ядрі. Внаслідок процесів вилуговування, вивітрювання та ерозії гірських порід, космічного випромінювання і т.д. у біосфері відбувається безперервна міграція радіонуклідів. Природними радіонуклідами обумовлюється природний радіаційний фон територій. Крім природних існують штучні радіонукліди, які різними шляхами надходять у водойми, викликаючи їхнє радіаційне забруднення.

Для гідросфери основний внесок у дозове навантаження формується радіонуклідами калію ( $^{40}\text{K}$ ), рубідію ( $^{87}\text{Rb}$ ), урану ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ) та торію ( $^{232}\text{Th}$ ). Ступінь радіоактивності річкових вод залежить від їхньої мінералізації. Радіоактивність озерних вод тісно пов'язана з хімічним складом води приток та підземних джерел, які живлять озеро. Основною причиною підвищення радіоактивності озерних вод є концентрування радіоізотопів у результаті випаровування, особливо у зонах недостатнього зволоження. До океану радіоактивні речовини потрапляють переважно через вивітрювання гірських порід, поверхневий та підземний стік. Менша роль належить абразії берегів, вулканічній активності, еоловому та космічному пилу. Радіоактивність підземних вод обумовлена складом гірських порід, у яких вони формуються.

Потрапивши у водне середовище, радіонукліди включаються у процеси міграції та розподілу в абіотичних (вода, зависі, донні відклади) і біотичних (гідробіонти різних трофічних рівнів) компонентах водних екосистем. Кількісна і просторова міграція радіонуклідів визначається їхньою здатністю розчинятися у воді, утворювати колоїди і псевдоколоїди, абсорбуватися на завислих частинках. Найбільша міграційна активність і розсіювання у природних водах спостерігається для  $^{238}\text{U}$  і  $^{40}\text{K}$ , в меншій мірі – для  $^{226}\text{Ra}$ , ще менше – для  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  і  $^{210}\text{Po}$ .

Для оцінки вмісту і розподілу радіонуклідів у водній екосистемі було запропоновано використовувати поняття радіоємності водойми.

Радіонуклідне забруднення водойм супроводжується прямим ураженням біосистем наслідок дії іонізуючого випромінювання і опосередкованим – через порушення збалансованих структурно-метаболических зв'язків у гідробіоценозах.

Одним із типів параметричного забруднення водойм виступає термофікація – тобто зміна термічних режимів вод внаслідок скидання підігрітих водних мас.

Зміна термічного режиму водойм викликає перебудову їхніх флори і фауни, часто спричиняючи суттєві зрушення у структурі і функціонуванні вихідних екосистем у небажаному напрямку.

1. Радиационное загрязнение водоемов
2. Миграции радионуклидов в водной среде
3. Влияние радиоактивного загрязнения водоемов на жизнедеятельность гидробионтов
4. Термическое загрязнение водоемов и его последствия для водных экосистем

Радиационное загрязнение водоемов обуславливается естественными и искусственными радионуклидами, которые образуются в процессе радиоактивного распада химических элементов. Радиоактивным распадом называется способность ядер атомов самовольно превращаться в другие ядра или переходить из возбужденного состояния в основное. В отличие от обычных реакций, связанных с изменениями в электронной оболочке атомов, радиоактивный распад является химической реакцией непосредственно в атомном ядре. В результате процессов выщелачивания, выветривания и эрозии горных пород, космического излучения и так далее в биосфере происходит непрерывная миграция радионуклидов. Естественными радионуклидами обуславливается природный радиационный фон территорий. Кроме естественных существуют искусственные радионуклиды, которые различными путями поступают в водоемы, вызывая их радиационное загрязнение.

Для гидросферы основной взнос в дозовую нагрузку формируется радионуклидами калия ( $^{40}\text{K}$ ), рубидия ( $^{87}\text{Rb}$ ), урана ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ) и тория ( $^{232}\text{Th}$ ). Степень радиоактивности речных вод зависит от их минерализации. Радиоактивность озерных вод тесно связана с химическим составом воды притоков и подземных источников, которые питают озеро. Основной причиной повышения радиоактивности озерных вод является концентрирование радиоизотопов в результате испарения, особенно в зонах недостаточного увлажнения. В океан радиоактивные вещества попадают преимущественно в результате выветривания горных пород, поверхностного и подземного стоков. Меньшая роль принадлежит абразии берегов, вулканической активности, эоловой и космической пыли. Радиоактивность подземных вод обусловлена составом горных пород, в которых они формируются.

Попав в водную среду, радионуклиды включаются в процессы миграции и распределения в абиотических (вода, взвеси, донные отложения) и биотических (гидробионты различных трофических уровней) компонентах водных экосистем. Количественная и пространственная миграция радионуклидов определяется их способностью растворяться в воде, образовывать коллоиды и псевдоколлоиды, абсор-

бирова́ться на взвешенных частицах. Наибольшая миграционная активность и рассеивание в естественных водах характерны для  $^{238}\text{U}$  и  $^{40}\text{K}$ , в меньшей мере – для  $^{226}\text{Ra}$ , еще меньше – для  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{210}\text{Po}$ .

Для оценки содержания и распределения радионуклидов в водной экосистеме было предложено использовать понятие радиоемкости водоема.

Радионуклидное загрязнение водоемов сопровождается прямым поражением биосистем путем воздействия ионизирующего излучения и опосредствованным – через нарушение сбалансированных структурно-метаболических связей в гидробиоценозах.

Одним из типов параметрического загрязнения водоемов выступает термофикация – то есть изменение термических режимов вод в результате сброса подогретых водных масс. Изменение термического режима водоемов вызывает перестройку их флоры и фауны, часто провоцируя существенные сдвиги в нежелательном направлении в структуре и функционировании исходных экосистем.

**Тема: Закономірності реагування водних екосистем на забруднення**

*Лекція 10*

1. Структура водної екосистеми за забруднення водойм токсикантами
2. Показники наявності і дії токсичних речовин у водному середовищі
3. Загальні закономірності реагування водних екосистем на забруднення
4. Рівні реагування біоти водойм на токсичне забруднення
5. Особливості реагування на токсичне забруднення рослинних і тваринних організмів водойм

Водна екосистема являє собою єдність водного об'єкта і водозбірної площі. За надходження у водойми токсичних речовин відбувається перерозподіл функцій між їх складовими. Водозбірна площа разом із судноплавством сприймається як єдина підсистема першого порядку «берег» і виступає як забрудник, а власне водний об'єкт – як підсистема «вода». Підсистеми «берег» і «вода» неоднорідні і мають свої складові, які виконують різні функції – транзит, трансформація і акумуляція токсикантів. Між «берегом» і «водою» функціонують проміжні буферні підсистеми (ліси, лісосмуги, луки, поля), які затримують міграцію токсикантів від джерел забруднення до водних об'єктів, виконуючи роль біофільтрів.

До показників, які свідчать про надходження у водойму токсичних речовин і розвиток токсифікації водного середовища, належать: зміна фізичних і фізико-хімічних властивостей води, погіршення кисневого режиму, зміна хімічного режиму вод, акумуляція токсикантів у компонентах екосистем, хронічні і гострі отруєння гідробіонтів; перебудова структури угруповань, вимирання флори і фауни водойм.

Водні екосистеми розглядаються як відкриті термодинамічні системи, що мають структурну цілісність та характеризуються функціональною єдністю структурних компонентів, яка здійснюється у напрямку динамічного саморозвитку за рахунок саморегуляції та адаптації. Реакція-відповідь водної екосистеми на дію токсичних речовин характеризується такими просторово-часовими фазами: 1) рецепція і первинна реакція; 2) самоаналіз системи; 3) зворотній зв'язок та саморегуляція системи; 4) зовнішня відповідь; 5) кінцева дія.

Фізичною і фізико-хімічною основою реагування водних екосистем на пошкоджуючі впливи токсикантів є закони термодинаміки і принцип Ле-Шательє – Брауна.

Структурно-ієрархічна організація водної біоти, що склалася у ході еволюційного процесу, визначає різні рівні реагування гідробіонтів на ушкоджуючий вплив токсичних речовин, причому кожен вищий рівень організації коригує зміни, що відбулися на нижчих рівнях, і, в свою чергу, коригується вищими рівнями екологічної ієрархії – аж до біосферного.

Складна ієрархічна структура водних екосистем обумовлює величезну різноманітність реакцій реагування на токсичне забруднення представників біоти, які відносяться до рослинного та тваринного світу. Механізм реагування полягає у послідовній зміні біохімічних і фізіологічних реакцій організму, спрямованих на відновлення ушкоджених функцій (компенсаторні реакції). У випадку тривалої дії або високої інтенсивності чинника, що обумовлює глибокі незворотні ушкодження, розвиваються різні патології, або організм гине.

**Тема: Закономерности реагирования водных экосистем на загрязнение**

*Лекция 10*

1. Структура водной экосистемы в условиях токсического загрязнения
2. Показатели наличия и действия токсических веществ в водной среде
3. Общие закономерности реагирования водных экосистем на загрязнение
4. Уровни реагирования биоты водоемов на токсическое загрязнение
5. Особенности реагирования на токсическое загрязнение растительных и животных организмов водоемов

Водная экосистема представляет собой единство водного объекта и водосборной площади. При поступлении в водоемы токсических веществ происходит перераспределение функций между их составляющими. Водосборная площадь вместе с судоходством воспринимается как единая подсистема первого порядка «берег» и рассматривается как источник загрязнения, а собственно водный объект – как подсистема «вода». Подсистемы «берег» и «вода» неоднородны и имеют разные составляющие, которые выполняют различные функции, - транзит, трансформация и аккумуляция токсикантов. Между «берегом» и «водой» функционируют промежуточные буферные подсистемы (леса, лесополосы, луга, поля), которые задерживают миграцию токсикантов от источников загрязнения к водным объектам, выполняя роль биофильтров.

К показателям, которые свидетельствуют о поступлении в водоемы токсических веществ и развитии токсификации водной среды, относятся: изменение физических и физико-химических свойств воды, ухудшение кислородного режима, изменение химического режима вод, аккумуляция токсикантов в компонентах экосистем, хронические и острые отравления гидробионтов; перестройка структуры сообществ, вымирания флоры и фауны водоемов.

Водные экосистемы рассматриваются как открытые термодинамические системы, которые имеют структурную целостность и характеризуются функциональным единством структурных компонентов, которое осуществляется в направлении динамического саморазвития за счет саморегуляции и адаптации. Реакция-ответ водной экосистемы на действие токсических веществ характеризуется определенными пространственно-временными фазами: 1) рецепция и первичная реакция; 2) самоанализ системы; 3) обратная связь и саморегуляция системы; 4) внешний ответ;

5) конечное действие. В основе реагирования водных экосистем на влияние токси- кантов лежат законы термодинамики и принцип Ле-Шателье - Брауна.

Структурная организация водной биоты, которая сложилась в ходе эволюци- онного процесса, определяет разные уровни реагирования гидробионтов на повре- ждающее действие токсических веществ, причем каждый высший уровень органи- зации корректирует изменения, которые происходят на низших уровнях, и, в свою очередь, корректируется высшими уровнями.

Сложная структура водных экосистем обуславливает значительное разнообра- зие реакций реагирования на токсическое загрязнение представителей биоты, кото- рые относятся к растительному и животному миру. Механизм реагирования заклю- чается в последовательном изменении биохимических процессов и физиологических реакций организма, направленных на восстановление поврежденных функций (ком- пенсаторные реакции). В случае длительного воздействия или высокой интенсивно- сти фактора, который обуславливает глубокие необратимые повреждения, развива- ются разные патологии, или организм погибает.



**Тема: Загальні механізми токсичної дії забрудників водного середовища**

*Лекція 11*

1. Шляхи надходження отрут в організми гідробіонтів
2. Механізми токсичної дії отрут в організмах гідробіонтів
3. Залежність токсичного ефекту від концентрації і часу дії отруту
4. Біологічна акумуляція і магніфікація токсикантів у водних екосистемах

Живі організми, у тому числі і всі гідробіонти, більшістю ученими розглядаються як концентратори хімічних елементів. Виділяють два основних шляхи надходження отрут різного походження в організми гідробіонтів: 1) безпосередньо із води у процесі біосорбції через органи дихання і шкіряні покриви – парентеральний шлях та 2) у складі їжі по трофічних ланцюгах через травну систему – пероральне живлення. Окрім відмічених вище, виділяють іще один, незалежний шлях, пов'язаний з поглинанням неорганічних сполук, адсорбованих на частинках зависей.

Взаємодія токсикантів або продуктів їхнього перетворення у живих організмах із структурними елементами біосистем, яка лежить в основі розвитку токсичного процесу, називається механізмом токсичної дії. За механізмом токсичної дії всі отрути поділяють на дві великі групи: локальні та резорбтивні. Процес інтоксикації у будь-якому живому організмі розпочинається з патогенної дії отруту у місцях їхнього проникнення, а також з рефлекторних реакцій з боку нервової системи. Надалі, після потрапляння у кров отруйні речовини, з'єднуючись з білками, порушують фізико-хімічні процеси у її плазмі та клітинних елементах. Розносячись током крові, вони фіксуються у різних тканинах і органах відповідно до сорбційної ємності та біохімічної спорідненості останніх по відношенню до окремих токсикантів. Механізм дії більшості отрут тісно пов'язаний із включенням їх у різні ланки біологічних процесів за рахунок фізико-хімічних і хімічних реакцій

Вирішальне значення у процесі розвитку інтоксикацій у гідробіонтів мають дві перемінні величини – концентрація токсичних речовин у воді та час експозиції організму гідробіонтів до отрути. Високі концентрації токсикантів викликають загибель гідробіонтів за короткий проміжок часу, низькі – мають пролонговану дію. За швидкістю перебігу токсичного процесу виділяють гострі, підгострі і хронічні отруєння (токсикози).

В умовах незначного, але систематичного забруднення водойм токсикантами, навіть у межах їхніх гранично допустимих концентрацій, також можливий розвиток

токсичного процесу. У такому випадку ми маємо справу з кумулятивним ефектом. Практично всі гідробіонти, як рослинні, так і тваринні організми різної складності організації, здатні тривалий час накопичувати токсичні речовини або токсичні ефекти. Механізм розвитку кумулятивних токсикозів полягає у високій швидкості надходження токсичних речовин до організмів гідробіонтів та низькій швидкості їх виведення, накладанні слідових реакцій одна на одну.

Кумулятивний токсикоз може виникати не тільки внаслідок прямого поглинання токсикантів із води. Однією із специфічних особливостей водних екосистем є передача токсикантів по трофічних ланцюгах, т.з. біомагніфікація.

**Тема: Общие механизмы токсического действия загрязнителей водной среды**

*Лекция 11*

1. Пути поступления токсикантов в организмы гидробионтов
2. Механизмы токсического действия ядов в организмах гидробионтов
3. Зависимость токсического эффекта от концентрации и времени действия токсикантов
4. Биологическая аккумуляция и магнификация токсикантов в водных экосистемах

Живые организмы, в том числе и все гидробионты, большинством ученых рассматриваются как концентраторы химических элементов. Выделяют два основных пути поступления ядов различного происхождения в организмы гидробионтов: 1) непосредственно из воды в процессе биосорбции через органы дыхания и кожные покровы – парентеральный путь и 2) в составе пищи по трофическим цепям через пищеварительную систему – пероральное питание. Кроме отмеченных выше, выделяют еще один, независимый путь, связанный с поглощением неорганических соединений, адсорбируемых на частицах взвесей.

Взаимодействие токсикантов или продуктов их превращения в живых организмах со структурными элементами биосистем, которое лежит в основе развития токсического процесса, называется механизмом токсического действия. За механизмами токсического действия все яды делят на две большие группы: локальные и резорбтивные.

Процесс интоксикации в любом живом организме начинается с патогенного действия ядов в местах их проникновения, а также рефлекторными реакциями со стороны нервной системы. В дальнейшем, после попадания в кровь токсические вещества, соединяясь с белками, нарушают физико-химические процессы в ее плазме и клеточных элементах. Разносясь током крови, они фиксируются в различных тканях и органах в соответствии с сорбционной емкостью и биохимическим сродством последних по отношению к отдельным токсикантам. Механизм действия большинства ядов тесно связан с включением их в разные звенья биологических процессов за счет физико-химических и химических реакций.

Решающее значение в процессе развития интоксикаций у гидробионтов имеют две переменные величины – концентрация токсических веществ в воде и время экспозиции организма гидробионтов к яду. Высокие концентрации токсикантов вызы-

вают гибель гидробионтов за короткий промежуток времени, низкие – имеют пролонгированное действие. По скорости хода токсического процесса выделяют острые, подострые и хронические отравления (токсикозы).

В условиях незначительного, но систематического загрязнения водоемов токсикантами, даже в пределах их предельно допустимых концентраций, также возможно развитие токсического процесса. В таком случае мы имеем дело с куммулятивным эффектом. Практически все гидробионты, как растительные, так и животные организмы разной сложности организации, способны длительное время накапливать токсичные вещества или токсичные эффекты. Механизм развития куммулятивных токсикозов заключается в высокой скорости поступления токсичных веществ в организмы гидробионтов и низкой скорости их выведения, либо наложении следовых реакций друг на друга.

Куммулятивный токсикоз может возникать не только в результате прямого поглощения токсикантов из воды. Одной из специфических особенностей водных экосистем есть передача токсикантов по трофическим цепям, т.н. биомагнификация.

**Тема: Біологічні методи оцінки ступеня забруднення водойм токсичними речовинами**

*Лекція 12*

1. Біоіндикація якості води за токсичного забруднення водойм
2. Біомоніторинг стану водних екосистем
3. Біотестування у водній токсикології

Біоіндикація – це метод оцінювання якості води та екологічного чи токсикологічного стану водойм за складом видів-індикаторів чи структурними або структурно-функціональними показниками гідробіоценозів. Інакше кажучи, біоіндикація – це спосіб оцінювання антропогенного навантаження, у тому числі і токсичного, на водойми за реакцією на нього живих організмів та їхніх угруповань. Даний підхід базується на положенні, що всі живі і неживі компоненти водних екосистем тісно взаємопов'язані між собою, а отже, токсичне забруднення та погіршення якості води у водоймах адекватно відбивається на їх мешканцях.

Зміни, які відбуваються під впливом токсичних речовин, що надходять у водойми, найбільш чітко проявляються на надорганізмених рівнях організації біотичних систем: змінюється видовий склад та рівень біорізноманіття, відбувається перебудова структурно-функціональної організації гідробіоценозів. У критичних ситуаціях життя у водоймах припиняється. Це стосується певного проміжку часу, після чого гідробіоценози відновлюються. Основою задачею біоіндикації є розробка методів і критеріїв, які могли б об'єктивно відображати рівень антропогенного впливу на середовище існування гідробіонтів з урахуванням комплексного характеру забруднення і діагностувати ранні порушення в найчутливіших компонентах гідробіоценозів.

Поряд з біоіндикацією з тією ж метою використовують комбінований метод – біомоніторинг, який базується на дослідженні структурних змін гідробіоценозів і аналітичному визначенні вмісту стійких токсикантів в тканинах і органах організмів-моніторів. Організмами-моніторами, тобто організмами, здатними відображати протікання процесів токсифікації у водному середовищі, вважаються біоконцентратори – організми, які здатні накопичувати токсичні речовини. Здатність організмів-моніторів накопичувати токсиканти кількісно характеризується коефіцієнтом біологічного нагромадження, який представляє собою відношення концентрації стійких токсикантів у компонентах біоти до їх вмісту у водних масах. Біомоніторинг якості

водного середовища є невід'ємною і необхідною складовою частиною контролю за якістю вод у більшості країн світу.

Для повної оцінки рівня токсичного забруднення водного середовища використовують у комплексі біомоніторинг + біотестування.

Метод біотестування ґрунтується на експериментальній оцінці відгуку окремих тест-об'єктів або тест-культур гідробіонтів на вплив токсикантів. Біотестування являє собою процедуру встановлення токсичності окремих хімічних речовин, поверхневих прісних, солонуватих та морських вод, а також підземних і стічних вод для гідробіонтів з використанням кількісних оцінок зміни їх життєво важливих функцій або за виявленням летальної дії.

**Тема: Биологические методы оценки степени загрязнения водоемов токсичными веществами**

*Лекция 12*

1. Биоиндикация качества воды относительно токсического загрязнения водоемов
2. Биомониторинг состояния водных экосистем
3. Биотестирование в водной токсикологии

Биоиндикация – это метод оценки качества воды и экологического или токсикологического состояния водоемов по составу видов-индикаторов либо по структурным или структурно-функциональным показателям гидробиоценозов. Иначе говоря, биоиндикация – это способ оценки антропогенной нагрузки, в том числе и токсической, на водоемы по реакциям на нее живых организмов и их сообществ. Данный подход базируется на положении о том, что все живые и неживые компоненты водных экосистем тесно взаимосвязаны между собой, а значит, токсическое загрязнение и ухудшение качества воды в водоемах адекватно отражается и на их жителях.

Изменения, которые происходят под воздействием токсических веществ, поступающих в водоемы, наиболее четко проявляются на надорганизменных уровнях организации биотических систем: изменяется видовой состав и уровень биоразнообразия, происходит перестройка структурно-функциональной организации гидробиоценозов. В критических ситуациях жизнь в водоемах прекращается. Это касается определенного времени, после чего гидробиоценозы восстанавливаются. Основной задачей биоиндикации является разработка методов и критериев, которые могли бы объективно отображать уровень антропогенного воздействия на среду обитания гидробионтов с учетом комплексного характера загрязнения и диагностировать ранние нарушения в чувствительных компонентах гидробиоценозов.

Наряду с биоиндикацией с той же целью используют комбинированный метод – биомониторинг, основанный на исследовании структурных изменений гидробиоценозов и аналитическом определении содержания стойких токсикантов в тканях и органах организмов-мониторов. Организмами-мониторами являются организмы, способные отражать протекание процессов токсификация в водной среде. Ними считаются биоконцентраторы – организмы, которые способны накапливать токсичные вещества. Способность организмов-мониторов накапливать токсиканты количе-

ственно характеризуется коэффициентом биологического накопления, который представляет собой отношение концентрации устойчивых токсикантов в компонентах биоты к их содержанию в водных массах. Биомониторинг качества водной среды является неотъемлемой и необходимой частью контроля качества вод в большинстве стран мира.

Для полной оценки уровня токсического загрязнения водной среды используют в комплексе биомониторинг+биотестирование. Метод биотестирования основывается на экспериментальной оценке ответа отдельных тест-объектов или тест-культур гидробионтов на воздействие токсикантов. Биотестирование представляет собой процедуру установления токсичности отдельных химических веществ, поверхностных пресных, солоноватых и морских вод, а также подземных и сточных вод для гидробионтов с использованием количественных оценок изменения их жизненно важных функций или с выявлением летального действия.



**Тема: Нормування якості води**

*Лекція 13*

1. Нормативи в галузі використання і охорони вод: гранично допустимі концентрації токсикантів, екологічні нормативи якості води
2. Нормування скидання зворотних вод у водні об'єкти
3. Вимоги до очищення стічних вод

Кінцевою метою токсикологічних досліджень на водоймах є визначення і прогнозування еколого-токсикологічної ситуації та розробка і обґрунтування шляхів зменшення токсикологічної загрози для людини як споживача води та гідробіоресурсів. Охорона водних ресурсів відноситься до системи заходів з охорони навколишнього середовища. Вона регламентується природоохоронним та водним законодавствами і включає комплекс практичних заходів з охорони вод, систематичний контроль за джерелами забруднення і станом водного середовища (моніторинг), економічне забезпечення природо- і водоохоронної діяльності. Завданням водного законодавства є регулювання правових відносин з метою забезпечення збереження, науково обґрунтованого раціонального використання вод для потреб населення і галузей економіки, відтворення водних ресурсів, охорони вод від забруднення, засмічення та вичерпання, запобігання шкідливим діям на водні запаси та ліквідація їх наслідків, поліпшення стану водних об'єктів, а також охорона прав підприємств, установ, організацій і громадян на водокористування.

Водні відносини в Україні регулюються Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища», Водним Кодексом та іншими законодавчими актами.

Основні напрямки практичної діяльності в галузі охорони вод від токсичного забруднення наступні: розробка стандартів і нормативів допустимого забруднення і допустимих скидів, очистка стічних вод, розробка нормативних вимог до очищення стічних вод і режимів їх скидання у водойми комплексного і рибогосподарського призначення.

Водна токсикологія забезпечує наукове обґрунтування гранично допустимих концентрацій скидання токсичних речовин у водойми і розробку уніфікованих методів визначення токсичності водного середовища.

Захистити водні екосистеми від забруднення токсичними речовинами покликані і екологічні нормативи якості води, які встановлюються на вимогу Водного ко-

дексу України. Екологічні нормативи якості води представляють собою науково обґрунтовані кількісні значення показників якості води, в тому числі специфічних речовин токсичної дії, що відображають природний (фоновий) стан водного об'єкта та цілі водоохоронної діяльності щодо покращення або збереження його екологічного благополуччя. Для кожного токсиканта і для конкретного водного об'єкта (чи групи однотипних водних об'єктів) екологічні нормативи встановлюються окремо. Встановлення екологічних нормативів для якості водного середовища відповідає системі екологічного законодавства ЄС, де важливе значення має поняття «підхід до регулювання з позицій якості довкілля». Для різних видів водокористування в ЄС встановлено більше 300 стандартів якості води у водному об'єкті, які включають близько 60 фізичних, хімічних та мікробіологічних параметрів.

**Тема: Нормирование качества воды**

*Лекция 13*

1. Нормативы в области использования и охраны вод: предельно допустимые концентрации токсикантов, экологические нормативы качества воды
2. Нормирование сброса сточных вод в водные объекты
3. Требования к очистке сточных вод

Конечной целью токсикологических исследований на водоемах является определение и прогнозирование эколого-токсикологической ситуации, а также разработка и обоснование путей уменьшения токсической угрозы для человека как потребителя воды и гидробиоресурсов.

Охрана водных ресурсов относится к системе мероприятий по охране окружающей среды. Она регламентируется природоохранным и водным законодательством, включает комплекс практических мероприятий по охране вод, систематический контроль за источниками загрязнения и состоянием водной среды (мониторинг), экономическое обеспечение природо- и водоохранной деятельности.

Задачей водного законодательства является регулирование правовых отношений в целях обеспечения сохранности, научно обоснованного рационального использования вод для нужд населения и отраслей экономики, восстановление водных ресурсов, охрана вод от загрязнения, засорения и истощения, предупреждение вредного воздействия на водные запасы и ликвидация их последствий, улучшение состояния водных объектов, а также охрана прав предприятий, учреждений, организаций и граждан на водопользование.

Водные отношения в Украине регулируются Законом Украины «Об охране окружающей природной среды», Водным Кодексом и другими законодательными актами.

Основные направления практической деятельности в области охраны вод от токсического загрязнения следующие: разработка стандартов и нормативов допустимого загрязнения и допустимых сбросов, очистка сточных вод, разработка нормативных требований к очистке сточных вод и режимов их сброса в водоемы комплексного и рыбохозяйственного назначения. Водная токсикология обеспечивает научное обоснование предельно допустимых концентраций сброса токсичных веществ в водоемы и разработку унифицированных методов определения токсичности водной среды.

Защитить водные экосистемы от загрязнения токсичными веществами призваны и экологические нормативы качества воды, которые устанавливаются по требованию Водного кодекса Украины. Экологические нормативы качества воды представляют собой научно обоснованные количественные значения показателей качества воды, в том числе специфических веществ токсического действия, отражающие природное (фоновое) состояние водного объекта и цели водоохранной деятельности по улучшению сохранения его экологического благополучия. Для каждого токсиканта и для конкретного водного объекта (или группы однотипных водных объектов) экологические нормативы устанавливаются отдельно. Установка экологических нормативов для качества водной среды соответствует системе экологического законодательства ЕС, где важное значение имеет понятие «подход к регулированию с позиций качества окружающей среды». Для различных видов водопользования в ЕС установлено более 300 стандартов качества воды в водном объекте, которые включают около 60 физических, химических и микробиологических параметров.

**Тема: Іхтіотоксикологія як розділ водної токсикології, основні напрями досліджень та значення для рибного господарства**

*Лекція 14*

1. Основні напрями досліджень та розвиток методологічної бази іхтіотоксикології
2. Риби як універсальний тест-об'єкт для нормування якості води і діагностики стану водного середовища
3. Поняття «норми» і «патології» в іхтіотоксикології

Оскільки серед гідробіонтів у більшості випадків риби займають вершини трофічних пірамід і характеризуються високим рівнем та складністю біологічної організації, вони мають і складну багатокomпонентну реакцію на дію токсичних речовин, яка проявляється задовго до їхньої загибелі, що дозволяє проводити ранню діагностику наявності і дії отрут у водному середовищі. Такий стан речей і значний обсяг наукових досліджень з використанням у якості тест-об'єктів різних видів риб зумовив виділення цілого розділу у Водній токсикології, присвяченого впливу токсичних речовин на риб, – іхтіотоксикології. В завдання іхтіотоксикології входить висвітлення теоретичних аспектів виникнення різних патологічних відхилень в організмах риб під впливом отруйних речовин і розробка методологічних підходів до вирішення завдань з упередження забруднення рибогосподарських водойм. Основними напрями іхтіотоксикології є нормування якості води з використанням у якості тест-об'єктів риб та діагностика отруєння риб.

Риби розглядаються як ідеальні тест-об'єкти для токсикологічних досліджень, оскільки їхні функціональні системи дуже чутливо реагують на наявність отрут у водному середовищі і ці реакції піддаються реєстрації. Крім того, складність їхньої біологічної організації дозволяє досліджувати механізми дії різних типів отрут на живі організми, розробляти критерії токсичності водного середовища та заходи зі знешкодження токсичної дії хімічних речовин.

Для оцінки токсичного впливу тієї чи іншої речовини на риб необхідно встановити, який стан є нормальним для даного організму, а який – патологічним. Це питання досить складне і не вирішене до кінця навіть на сьогоднішній день, оскільки містить багато умовностей. Проблема «норми» і «патології» у водній токсикології і у її розділі, який стосується іхтіотоксикології, виступає як частина загальної проблеми взаємодії у системі людина-суспільство-природа. Основним у цій взаємо-

дії є питання про життєзабезпечення людини та розвиток суспільства. Тому як «норма» трактується не тільки певний стан організму, а і позитивний результат для діяльності людини. Термін «норма» походить від латинського слова *norma* і означає зразок, еталон, правило. Термін «патологія» походить від грецького слова *pathos* і означає хвороба. При проведенні експериментальних досліджень для встановлення норми завжди використовують контроль (в іхтіотоксикології це варіант досліду зі стандартним розчином без додавання токсиканту). Контроль для прийняття його за норму повинен бути близьким до типового середнього стану особин в даних умовах.

**Тема: Ихтиотоксикология как раздел водной токсикологии, основные направления исследований и значение для рыбного хозяйства**

*Лекция 14*

1. Основные направления исследований и развитие методологической базы ихтиотоксикологии
2. Рыбы как универсальный тест-объект для нормирования качества воды и диагностики состояния водной среды
3. Понятие « нормы » и « патологии » в ихтиотоксикологии

Поскольку среди гидробионтов в большинстве случаев рыбы занимают вершины трофических пирамид и характеризуются высоким уровнем и сложностью биологической организации, они имеют и сложную многокомпонентную реакцию на действие токсических веществ, которая проявляется задолго до их гибели, что позволяет проводить раннюю диагностику наличия и действия ядов в водной среде. Такое положение вещей и значительный объем научных исследований с использованием в качестве тест-объектов различных видов рыб определил выделение целого раздела в Водной токсикологии, посвященного влиянию токсических веществ на рыб, – ихтиотоксикологии. В задачи ихтиотоксикологии входит освещение теоретических аспектов возникновения различных патологических отклонений в организмах рыб под влиянием токсичных веществ и разработка методологических подходов к решению задач по предупреждению загрязнения рыбохозяйственных водоемов. Основными разделами ихтиотоксикологии являются нормирование качества воды с использованием в качестве тест-объектов рыб и диагностика отравления рыб.

Рыбы рассматриваются как идеальные тест-объекты для токсикологических исследований, поскольку их функциональные системы очень чутко реагируют на наличие ядов в водной среде и эти реакции поддаются регистрации. Кроме того, сложность их биологической организации позволяет исследовать механизмы действия различных типов ядов на живые организмы, разрабатывать критерии токсичности водной среды и мероприятия по обезвреживанию токсического действия химических веществ.

Для оценки токсического воздействия того или иного вещества на рыб необходимо выяснить, какое состояние является нормальным для данного организма, а какое – патологическим. Этот вопрос достаточно сложный и не решен до конца даже на сегодняшний день, так как содержит много условностей. Проблема «нормы» и

«патологии» в водной токсикологии и в ее разделе, который касается ихтиотоксикологии, выступает частью общей проблемы взаимодействия в системе человек-общество-природа. Основным в этом взаимодействии является вопрос о жизнеобеспечении человека и развитии общества. Поэтому как «норма» трактуется не только определенное состояние организма, а и положительный результат для деятельности человека. Термин «норма» происходит от латинского слова norma и означает образец, эталон, правило. Термин «патология» происходит от греческого слова pathos и означает болезнь. При проведении экспериментальных исследований для установления нормы всегда используют контроль (в ихтиотоксикологии это вариант опыта со стандартным раствором без добавления токсиканта). Контроль для принятия его как нормы должен быть близким к типичному среднему состоянию особей в данных условиях.



Тема: Основи токсикодинаміки і токсикокінетики в іхтіотоксикології

Лекція 15

1. Виявлення рибами токсичного забруднення водного середовища
2. Стратегії виживання риб у забрудненому середовищі
3. Закономірності формування реакції-відповіді риб на дію отрут
4. Загальний адаптаційний синдром у риб. Теорія стресу Г.Сельє.
5. Закономірності інтоксикації та оберненість отруєння у риб

Оскільки риби мають досить високо організовану нервову систему, яка включає сенсорний відділ, нервові волокна та аналізаторний відділ, вони здатні виявляти токсичні речовини у зовнішньому середовищі. Виявлення токсикантів у водоймі рибами здійснюється за рахунок хімічної рецепції. Хімічні подразнення сприймаються за допомогою нюху (відчуття запаху) або за допомогою органів ненюхової рецепції: смак, загальне хімічне відчуття.

Реакцією риб на наявність отрут у водному середовищі після їх виявлення є відхід у чисту зону, тобто уникнення дії стрес-фактору. Вираженість реакції уникнення залежить від сили дії реагенту ( $U = \ln C$ ), а також від видових особливостей чутливості риб до отрут. У першу чергу у чисті зони відходять високочутливі види (форель, плітка, йорж).

Стратегія виживання риб у забрудненому токсичному середовищі має й інший альтернативний шлях – адаптацію до змінених умов існування. Проте більшістю дослідниками такий шлях розглядається лише як фаза загального адаптаційного синдрому у риб у токсичному середовищі. Багатокомпонентна реакція риб на дію токсичних речовин включає чотири фази: безкомпенсаційну (норма), фазу повної компенсації, фазу неповної компенсації і критичну (летальну). У межах безкомпенсаційної фази і за повної компенсації ушкодження організму за рахунок включення компенсаторних біохімічних та фізіологічних механізмів можлива адаптація риб до дії отрут.

Розуміння процесу формування реакції-відповіді риб на дію отрут можливе на основі теорії стресу Г.Сельє, який розглядає стрес, або будь-яку патологію (у тому числі і викликану токсикантами) як порушення гомеостазу організму. Гомеостаз слід розуміти як урівноваження функцій організму з коливаннями параметрів зовнішнього середовища, тобто як постійний безперервний обмін, спрямований на підтримання структури і функцій організму у межах норми; стрес – як стан, що вира-

жається специфічним синдромом, складовими якого є всі неспецифічні зміни у біологічній системі організму. Г.Сельє виділяє три фази розвитку стресового стану: реакція тривоги; фаза резистентності; фаза виснаження. Теорія Г.Сельє розкриває динаміку резистентності живих організмів під впливом стресуючих факторів. Фазовий перебіг токсичного процесу ґрунтується на порушенні нормального ходу фізіологічних реакцій і біохімічних процесів. Результатом цих змін є смерть піддослідних риб.

У випадку припинення контакту риби з отрутою токсична дія отрут може бути оберненою. Під оберненістю отруєння розуміють повернення організму чи його функціональних систем у нормальний фізіологічний стан після патологічних розладів, викликаних дією токсичних речовин. Оберненість отруєння характеризується зворотною фазовістю.

- 1.Обнаружение рыбами токсического загрязнения водной среды
- 2.Стратегии выживания рыб в загрязненной среде
- 3.Закономерности формирования ответной реакции рыб на действие ядов
- 4.Общий адаптационный синдром у рыб. Теория стресса Г.Селье.
- 5.Закономерности интоксикации и обратимость отравления у рыб

Поскольку рыбы имеют достаточно высоко организованную нервную систему, которая включает сенсорный отдел, нервные волокна и анализаторный отдел, они способны обнаружить токсичные вещества во внешней среде. Обнаружение токсиантов в водоемах осуществляется рыбами за счет химической рецепции. Химические раздражения воспринимаются ними с помощью обоняния, вкусовой рецепции и общего химического восприятия.

Реакцией рыб на наличие ядов в водной среде после их обнаружения является уход в чистую зону, т.е. избегание воздействия стресс-фактора. Выраженность реакции избегания зависит от силы действия реагента ( $U = \ln C$ ), а также от видовых особенностей чувствительности рыб к ядам. В первую очередь в чистые зоны уходят высокочувствительные виды (форель, плотва, ерш). Стратегия выживания рыб в загрязненной токсичной среде имеет и другой, альтернативный, путь – адаптацию к изменившимся условиям существования. Однако большинством исследователей такой путь рассматривается лишь как фаза общего адаптационного синдрома у рыб в токсической среде.

Многокомпонентная реакция рыб на действие токсических веществ включает четыре фазы: бескомпенсационную (норма), фазу полной компенсации, фазу неполной компенсации и критическую (летальную). В рамках бескомпенсационной фазы и при полной компенсации повреждения организма за счет включения компенсаторных биохимических и физиологических механизмов возможна адаптация рыб к действию ядов.

Понимание процесса формирования ответной реакции рыб на действие ядов возможно на базе теории стресса Г.Селье, который рассматривает стресс, или любую патологию (в том числе и вызванную токсиантами) как нарушение гомеостаза организма. Гомеостаз следует понимать как уравнивание функций организма с колебаниями значений факторов внешней среды, т.е. как постоянный непрерывный

обмен, направленный на поддержание структуры и функций организма в пределах нормы; стресс – как состояние, выражающееся специфическим синдромом, состоящим из всех неспецифических изменений в биологической системе организма. Г.Селье выделяет три фазы развития стрессового состояния: реакция тревоги; фаза резистентности; фаза истощения. Теория Г.Селье раскрывает динамику резистентности живых организмов под влиянием стресс-факторов. Фазовое течение токсического процесса основывается на нарушении нормального хода физиологических реакций и биохимических процессов. Результатом этих изменений является смерть подопытных рыб.

В случае прекращения контакта рыбы с ядом токсическое действие ядов может быть обратимым. Под обратимостью отравления понимают возвращение организма или его функциональных систем в нормальное физиологическое состояние после патологических расстройств, вызванных действием токсических веществ. Обратимость отравления характеризуется обратной фазовостью.

## Тема: Біологічні аспекти іхтіотоксикології

## Лекція 16

1. Чутливість риб до дії отрут, поняття токсикорезистентності риб
2. Видові особливості чутливості і стійкості риб до отрут
3. Токсикорезистентність екологічно різних груп риб
4. Сезонна динаміка токсикорезистентності риб

Розвиток інтоксикації у риб залежить від їхньої стійкості до дії отрут (токсикорезистентності), вихідного функціонального стану та рівня реактивності. Стійкість – це здатність організму якомога довше виживати за тривалої дії на нього низьких концентрацій токсичної речовини або за короткотривалої дії високих концентрацій досліджуваної речовини за рахунок включення регуляторних механізмів. Оцінка стійкості проводиться за концентрацією речовини, яка викликає загибель певного проценту піддослідних риб ( $CL_{100}$ ,  $CL_{50}$ ) до встановленого терміну, або до часу їх виживання у токсичному розчині заданої концентрації. При цьому, чим раніше будуть ввімкнені регуляторні механізми організму – зміна проникливості мембран клітин, метаболічні перетворення, детоксикація і виведення чужорідної речовини, – які забезпечують короткочасну або тривалу адаптацію організму до даного токсичного ефекту, тим більше часу буде для виживання (тим вище стійкість) і тим більш вірогідно, що у випадку припинення токсичної дії організм виживе.

У визначенні самого факту і ступеню токсичності досліджуваної речовини, кількісної і якісної характеристик токсичного ефекту важливе значення мають видові, вікові й індивідуальні особливості риб. За чутливістю до дії отрут риб поділяють на дві групи: високочутливі – райдужна і струмкова форель, плітка, йорж; низькочутливі – білизна, лящ, миньок, синець, карась; щука і окунь займають проміжне положення. За стійкістю до отрут також виділяють дві групи риб: високостійкі – карась, сом, плітка, лящ, осетер; малостійкі – йорж, миньок, чехоня, судак, райдужна і струмкова форель. Таке своєрідне співвідношення між стійкістю і чутливістю риб до отрут, свідчить про те, що поряд з чутливістю нервових центрів у встановленні токсикорезистентності риб велику роль відіграють компенсаторні реакції і детоксикаційні механізми організму. В загально фізіологічному плані ці висновки цікаві тим, що вони є побічним свідченням існування у нижчих хребетних регуляторних механізмів, які забезпечують підтримання постійності внутрішнього середовища (гомеостазу) за умов стресових впливів різних факторів. Чутливість риб до дії токсичних

речовин тісно пов'язана зі способом їх життя, перш за все з характером і вираженістю моторики. Високу чутливість до токсикантів мають риби з високим ступенем розвитку локомоторного апарату, тобто активно рухомі види. Стійкість різних видів риб до дії отрут залежить від характеру живлення. Хижаки і напівхижі риби менш стійкі до впливу токсикантів аніж мирні риби.

Стійкість риб до дії отрут різна у різні сезони року: більш висока у зимовий період, низька – влітку. Сезонний фактор має суттєве значення при визначенні токсикорезистентності риб, оскільки впливає на їхній вихідний функціональний стан.

**Тема: Биологические аспекты ихтиотоксикологии**

Лекция 16

1. Чувствительность рыб к действию ядов, понятие токсикорезистентности рыб
2. Видовые особенности чувствительности и устойчивости рыб к ядам
3. Токсикорезистентность экологически разных групп рыб
4. Сезонная динамика токсикорезистентности рыб

Развитие интоксикации у рыб зависит от их устойчивости к действию ядов (токсикорезистентности), исходного функционального состояния и уровня реактивности. Устойчивость – это способность организма как можно дольше выживать при длительном воздействии на него низких концентраций токсического вещества или кратковременном воздействии высоких концентраций исследуемого вещества за счет включения регуляторных механизмов. Оценка устойчивости проводится по концентрации вещества, которая вызывает гибель определенного процента испытуемых рыб ( $CL_{100}$ ,  $CL_{50}$ ) до установленного срока, или до времени их выживания в токсическом растворе заданной концентрации. При этом чем раньше будут включены регуляторные механизмы организма – изменение проницаемости мембран клеток, метаболические превращения, детоксикация и выведение чужеродного вещества, – которые обеспечивают кратковременную или длительную адаптацию организма к данному токсическому веществу, тем больше времени будет для выживания рыб (тем выше их устойчивость) и тем более вероятно, что в случае прекращения токсического действия организм выживет.

В определении самого факта и степени токсичности исследуемого вещества, количественной и качественной характеристик токсического эффекта важное значение имеют видовые, возрастные и индивидуальные особенности рыб. По чувствительности к действию ядов рыб делят на две группы: высокочувствительные – радужная и ручьевая форель, плотва, ерш; малочувствительные – лещ, налим, карась; щука и окунь занимают промежуточное положение. По устойчивости к ядам также выделяют две группы рыб: высокостойкие – карась, сом, плотва, лещ, осетр; малостойкие – ерш, налим, чехонь, судак, радужная и ручьевая форель. Такое своеобразное соотношение между устойчивостью и чувствительностью рыб к ядам, свидетельствует о том, что наряду с чувствительностью нервных центров в определении токсикорезистентности рыб большую роль играют компенсаторные реакции и де-

токсикационные механизмы организма. В общефизиологическом плане эти выводы интересны тем, что они являются побочным свидетельством существования у низших позвоночных регуляторных механизмов, обеспечивающих поддержание постоянства внутренней среды (гомеостаза) в условиях стрессовых воздействий различных факторов.

Чувствительность рыб к действию токсичных веществ тесно связана с образом их жизни, прежде всего, с характером и выраженностью моторики. Высокую чувствительность к токсикантам имеют рыбы с высокой степенью развития локомоторного аппарата, то есть активно подвижные виды.

Устойчивость различных видов рыб к действию ядов зависит от характера питания. Хищники и полухищники менее устойчивы к воздействию токсикантов, чем мирные рыбы.

Устойчивость рыб к действию ядов различна в разные сезоны года: более высока она в зимний период, низкая – летом. Сезонный фактор имеет существенное значение при определении токсикорезистентности рыб, поскольку влияет на их исходное функциональное состояние.



**Тема: Фізіологічні аспекти іхтіотоксикології**

*Лекція 17*

1. Вплив токсичних речовин на фізіологічний статус риб
2. Основні патології та дисфункції клітин, тканин і органів риб за дії на них токсичних речовин

Багато токсикантів, які надходять у рибогосподарські водойми, уже у підпорогових концентраціях можуть змінювати функціональний стан ЦНС в цілому або окремих аналізаторних систем, блокувати чи виводити з ладу периферичні відділи аналізаторних систем, які впливають на поведінкові реакції риб, обумовлені абіотичними і біотичними факторами водного середовища. Порушення аналізаторної діяльності ЦНС риб, їх здатності сприймати і адекватно реагувати на зміни оточуючого середовища під впливом підпорогових концентрацій хімічних забруднень може мати суттєвий вплив на складні форми поведінки риб у природних водоймах – нагульні, зимувальні і нерестові міграції, орієнтацію у просторі, взаємовідношення з хижаками, виявлення і уникнення токсичних речовин.

При отруєнні риб токсичними речовинами важливе значення для діагностики має і стан вегетативних функцій їх організму, таких як дихання, кровообіг, які характеризуються високою чутливістю до низьких концентрацій отрут.

Ідентифікація патологій і дисфункцій будь-яких систем організму риб, які виникають під впливом забруднюючих речовин, що надходять у водойми з різних джерел, важлива для встановлення причин зниження чисельності чи зникнення взагалі популяцій риб, прогнозування популяційної динаміки іхтіофауни в умовах токсичного навантаження, а також для розробки стратегії і методів збереження і відновлення рибних ресурсів за сучасних екологічних умов в наших водоймах.

Патологічні зміни тканин, органів і їх систем у риб дають можливість оцінити ступінь інтоксикації організму, яка негативно відбивається на їх розмноженні, рівні виживання і смертності. Окремі органи виконують специфічні функції, які забезпечують цілісність функціонування організму, тому їх патофізіологічні зміни показують як загальне токсичне навантаження на організм, так і специфічний вплив тих чи інших речовин, тобто певні органи можуть виступати функціями-мішенями для дії токсикантів. Різностороння і комплексна оцінка патологічних змін у тканинах і органах риб має важливе значення і з точки зору їх неоднакової чутливості до токсикантів у водному середовищі. Патологічні зміни в організмі риб дозволяють визна-

чити ступінь токсичності водного середовища і формувати уяву щодо потенційної небезпеки різних груп токсичних речовин, які потрапляють у водойми, та їх кумулятивної дії на організм впродовж всього його життєвого циклу.

Багато функціональних систем організму риб подібні таким же системам теплокровних тварин, що дозволяє прогнозувати наслідки забруднення водойм і для людини, як споживача водних ресурсів та гідробіоресурсів.

Патофізіологічні і гістопатологічні зміни виступають інтегральними показниками стану організму риб у забрудненому водному середовищі і можуть бути використані як біомаркери токсичного забруднення.

**Тема: Физиологические аспекты ихтиотоксикологии**

*Лекция 17*

1. Влияние токсических веществ на физиологический статус рыб
2. Основные патологии и дисфункции клеток, тканей и органов рыб при воздействии токсичных веществ

Многие токсиканты, поступающие в рыбохозяйственные водоемы, уже в подпороговых концентрациях могут изменять функциональное состояние ЦНС в целом или отдельных анализаторных систем, блокировать или выводить из строя периферические отделы анализаторных систем, которые влияют на поведенческие реакции рыб, обусловленные абиотическими и биотическими факторами водной среды. Нарушение анализаторной деятельности ЦНС рыб, их способности воспринимать и адекватно реагировать на изменения окружающей среды под влиянием подпороговых концентраций химических загрязнений может иметь существенное влияние на сложные формы поведения рыб в естественных водоемах – нагульные, зимовальные и нерестовые миграции, ориентацию в пространстве, взаимоотношения с хищниками, выявление токсичных веществ и уход в чистые зоны. При отравлении рыб токсичными веществами важное значение для диагностики имеет и состояние вегетативных функций их организма, таких как дыхание, кровообращение, которые характеризуются высокой чувствительностью к низким концентрациям ядов. Идентификация патологий и дисфункций любых систем организма рыб, которые возникают под влиянием загрязняющих веществ, поступающих в водоемы из разных источников, имеет важное значение для установления причин снижения численности или исчезновения вообще популяций рыб, прогнозирования популяционной динамики ихтиофауны в условиях токсической нагрузки, а также для разработки стратегии и методов сохранения и восстановления рыбных ресурсов в современных экологических условиях в наших водоемах. Патологические изменения тканей, органов и их систем у рыб дают возможность оценить степень интоксикации организма, которая негативно отражается на их размножении, уровне выживания и смертности. Отдельные органы выполняют специфические функции, которые обеспечивают целостность функционирования организма, поэтому их патофизиологические изменения показывают как общетоксическую нагрузку на организм, так и специфическое влияние тех или иных веществ, то есть определенные органы могут выступать функциями-мишенями для действия токсикантов. Разносторонняя и комплексная оценка па-

тологических изменений в тканях и органах рыб имеет важное значение и с точки зрения их неодинаковой чувствительности к токсикантам в водной среде. Патологические изменения в организме рыб позволяют определить степень токсичности водной среды и сформировать представление о потенциальной опасности различных групп токсичных веществ, которые попадают в водоемы, и их кумулятивного действия на организм в течение всего его жизненного цикла. Многие функциональные системы организма рыб подобны таким же системам теплокровных животных, что позволяет прогнозировать последствия загрязнения водоемов и для человека, как потребителя водных ресурсов и водных биоресурсов. Патофизиологические и гистопатологические изменения выступают интегральными показателями состояния организма рыб в загрязненной водной среде и могут быть использованы как биомаркеры токсического загрязнения.

**Тема: Біохімічні аспекти іхтіотоксикології**

*Лекція 18*

1. Коливання біохімічного складу тканин і органів риби під дією токсикантів
2. Порушення обміну речовин у риби за дії на них токсичних речовин

Різні групи токсикантів викликають глибокі зміни біохімічного складу і обміну речовин у риби задовго до їх загибелі, тому багато біохімічних показників можуть бути використані для діагностики отруєння риби токсикантами на ранніх етапах розвитку токсичного процесу.

У процесі інтоксикації у риби спостерігаються коливання амінокислотного складу органів і тканин, які можуть бути викликані різними причинами, у тому числі і пригніченням синтезу білка, порушенням трансамінування, дезамінування і декарбоксилювання та посиленням розпаду білків, що веде до збільшення сумарного вмісту вільних амінокислот, а також змінюється активність ферментів, які контролюють обмін амінокислот. Особливе значення має динаміка кількісних змін окремих груп амінокислот, зокрема, дикарбонових, а серед них глутамінової кислоти, яка є зв'язуючою ланкою білкового, ліпідного і вуглеводного обміну у риби.

У токсичному середовищі у риби знижується загальний вміст сироваткових білків крові, змінюється співвідношення між їхніми основними фракціями (альбумінами,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -глобулінами), знижується інтенсивність синтезу гідроксипроліну і колагену хребта, що виступає чутливим індикатором порушення процесів росту. Важливим показником токсичної дії різних груп отрут на білковий обмін є вміст аміаку в крові і тканинах риби, перш за все у мозковій тканині. Риби (разом з ракоподібними) відносяться до групи амоніотилічних тварин, у яких кінцевим продуктом катаболізму білків і амінокислот є аміак. Аміак і його водний розчин амоній високотоксичні. За нормальних умов утворений в органах і тканинах аміак детоксикується за допомогою глутамінової кислоти. Взаємодія аміаку і глутамінової кислоти веде до утворення глутаміну, який надходить до печінки, де від нього відщеплюється аміак. За інтоксикації процеси знешкодження аміаку порушуються і у тканинах головного мозку концентрація аміаку зростає, спричиняючи рухове збудження і судоми у риби.

Основними напрямками токсичної дії отрут на ліпідний обмін риби є жирове переродження їхніх тканин, зокрема тканин печінки, зміна фракційного складу ліпідів і т.і.

Показники вуглеводного обміну, його інтенсивність і спрямованість також мають діагностичне значення при оцінці реакцій-відповідей риб на дію токсичних речовин. Як біомаркери токсичних ефектів можуть використовуватися зміни вмісту цукру в крові і глікогену в печінці, перехід від аеробного розпаду вуглеводів на анаеробний гліколіз з утворенням молочної кислоти, неспівпадання напрямку вуглеводного обміну з потребами організму, наприклад, переважання глікогензапасуючого характеру обміну у випадку підвищеної потреби тканин у глюкозі.

**Тема: Биохимические аспекты ихтиотоксикологии**

*Лекция 18*

1. Колебания биохимического состава тканей и органов рыб под воздействием токсикантов
2. Нарушение обмена веществ у рыб под воздействием токсикантов

Различные группы токсикантов вызывают глубокие изменения биохимического состава и обмена веществ у рыб задолго до их гибели, поэтому многие биохимические показатели могут быть использованы для диагностики отравления рыб на ранних этапах развития токсического процесса. В процессе интоксикации у рыб наблюдаются колебания аминокислотного состава органов и тканей, которые могут быть вызваны различными причинами, в том числе и угнетением синтеза белка, нарушением трансаминирования, дезаминирования и декарбоксилирования и усилением распада белков, что ведет к увеличению суммарного содержания свободных аминокислот, а также изменяется активность ферментов, которые контролируют обмен аминокислот. Особое значение имеет динамика количественных изменений отдельных групп аминокислот, в частности, дикарбоновых, а среди них глутаминовой кислоты, которая является связующим звеном белкового, липидного и углеводного обмена у рыб. В токсической среде у рыб снижается общее содержание сывороточных белков крови, изменяется соотношение между их основными фракциями (альбуминами,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  - глобулинами), снижается интенсивность синтеза гидроксипролина и коллагена позвоночника, что выступает чувствительным индикатором нарушения процессов роста. Важным показателем токсического действия различных групп ядов на белковый обмен рыб является содержание аммиака в их крови и тканях, прежде всего в мозговой ткани. Рыбы (наряду с ракообразными) относятся к группе аммонитилических животных, в которых конечным продуктом катаболизма белков и аминокислот является аммиак. Аммиак и его водный раствор аммоний высокотоксичны. При нормальных условиях образованный в органах и тканях рыб аммиак детоксифицируется с помощью глутаминовой кислоты. Взаимодействие аммиака и глутаминовой кислоты ведет к образованию глутамина, который поступает в печень, где от него отщепляется аммиак. При интоксикации процессы обезвреживания аммиака нарушаются и в тканях головного мозга концентрация аммиака возрастает, вызывая двигательное возбуждение и судороги.

Основными направлениями токсического воздействия ядов на липидный обмен рыб является жировое перерождение их тканей, в частности тканей печени, изменение фракционного состава липидов и т.д.

Показатели углеводного обмена, его интенсивность и направленность также имеют диагностическое значение при оценке ответных реакций рыб на действие токсических веществ. Как биомаркеры токсических эффектов могут использоваться изменения содержания сахара в крови и гликогена в печени, переход от аэробного распада углеводов на анаэробный гликолиз с образованием молочной кислоты, несовпадение направления углеводного обмена с потребностями организма, например, преобладание гликогензапасательного характера обмена в случае повышенной потребности тканей в глюкозе.



1. Вплив токсикантів на активність ферментативних систем риб
2. Біохімічні механізми детоксикації отрут в організмі риб

Впливу ксенобіотиків на ферменти у іхтіотоксикології надають особливе значення, оскільки роль останніх у забезпеченні процесів життєдіяльності риб величезна. Швидкість каталітичних перетворень речовин у риб визначається специфічною активністю ферментів, їхнім вмістом у клітинах і тканинах, наявністю субстратів і регуляторів активності у середовищі. За нормальних умов інтенсивність метаболічних процесів підтримується на сталому рівні за рахунок збалансованої дії усіх цих чинників. За отруєння у риб спостерігається посилення або пригнічення синтезу ферментів, блокування або прискорення їхнього руйнування, підвищення або пригнічення специфічної активності.

Посилення ферментативної активності обумовлюється токсикантами-індукторами, до яких відносяться циклічні і поліциклічні ароматичні вуглеводні, полігалогеновані циклічні і поліциклічні вуглеводні, діоксини, пестициди, барбітурати та ін. Серед токсикантів-індукторів багато канцерогенних речовин. Небезпечними є механізми активації лізосомальних ферментів, які за виходу у цитоплазму викликають аутоліз клітин. За таким механізмом діють, наприклад, іприти та  $CCl_4$ . Особливе значення має індукція ферментів, які беруть участь у метаболізмі ксенобіотиків, забезпечуючи їхню детоксикацію. У риб індуковані ферменти для детоксикації отрут виробляються, зокрема, у крові.

Ослаблення ферментативної активності обумовлюється токсикантами-інгібіторами, до яких належать сполуки важких металів, нафтопродукти, хлорорганічні та фосфорорганічні пестициди й ін.

Деякі речовини виступають конкурентами кофакторів ферментів.

Найбільш же часто в основі інтоксикацій лежить пригнічення токсикантами специфічної активності ферментів, яка проявляється наступним чином:

- 1) конкуренція із субстратом за активні центри ферментів;
- 2) утворення міцних ковалентних зв'язків з активними центрами ферментів;
- 3) взаємодія з додатковим алостеричним центром ферменту зі зміною конформації його активного центра;
- 4) комплексоутворення зі зв'язуванням іонів металів ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Co^{2+}$  та ін.), які необхідні для синтезу ферментів.

Будь-який живий організм має біохімічні механізми, які забезпечують йому захист від згубної дії токсичних речовин. З чужорідними сполуками (ксенобіотиками), які надходять до організму риб, відбуваються складні зміни, перебіг яких здійснюється у два етапи: 1) метаболічні перетворення (окиснення, відновлення, гідроліз і т.д.), які ведуть до появи у молекулі ксенобіотика нових функціональних груп; 2) кон'югація метаболітів з легкодоступними сполуками-субстратами (глюкуроною кислотою, гліцином, сульфат-іоном, ацетил-іоном, метил-іоном). Біотрансформація ксенобіотиків каталізується ферментами, локалізованими у мікросомальній фракції клітин печінки.

1. Влияние токсикантов на активность ферментативных систем рыб
2. Биохимические механизмы детоксикации ядов в организме рыб

Воздействию ксенобиотиков на ферменты в ихтиотоксикологии придают особое значение, поскольку роль последних в обеспечении процессов жизнедеятельности рыб огромное. Скорость каталитических превращений веществ у рыб определяется специфической активностью ферментов, их содержанием в клетках и тканях, наличием субстратов и регуляторов активности в среде. При нормальных условиях интенсивность метаболических процессов поддерживается на постоянном уровне за счет сбалансированного действия всех этих факторов. При отравлении у рыб наблюдается усиление или угнетение синтеза ферментов, блокировка или ускорение их разрушения, повышение или угнетение специфической активности. Усиление ферментативной активности обуславливается токсикантами-индукторами, к которым относятся циклические и полициклические ароматические углеводороды, полигалогенированные циклические и полициклические углеводороды, диоксины, пестициды, барбитураты и др.. Среди токсикантов-индукторов много канцерогенных веществ. Опасны механизмы активации лизосомальных ферментов у рыб, которые при поступлении у цитоплазму вызывают аутолиз клеток. По такому принципу действуют, например, иприты и  $\text{CCl}_4$ . Особое значение имеет индукция ферментов, участвующих в метаболизме ксенобиотиков, обеспечивающих их детоксикацию. У рыб индуцированные ферменты для детоксикации ядов образуются, в частности, в крови. Ослабление ферментативной активности вызывается токсикантами-ингибиторами, к которым относятся соединения тяжелых металлов, нефтепродукты, хлорорганические и фосфорорганические пестициды и др. .Некоторые вещества выступают конкурентами кофакторов ферментов. Наиболее же часто в основе интоксикаций лежит угнетение токсикантами специфической активности ферментов, которая проявляется следующим образом: 1) конкуренция с субстратом за активные центры ферментов; 2) образование прочных ковалентных связей с активными центрами ферментов; 3) взаимодействие с дополнительным аллостерическим центром фермента с изменением конформации его активного центра; 4) комплексообразование со связыванием ионов металлов ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$  и др.), которые необходимы для синтеза ферментов.

Любой живой организм имеет биохимические механизмы, обеспечивающие ему защиту от пагубного воздействия токсичных веществ. С чужеродными соединениями (ксенобиотиками), которые поступают в организм рыб, происходят сложные изменения, для которых характерны два этапа: 1) метаболические превращения (окисление, восстановление, гидролиз и т.д.), которые ведут к появлению в молекуле ксенобиотика новых функциональных групп; 2) конъюгация метаболитов с легкодоступными соединениями – субстратами (глюкуроновой кислотой, глицином, сульфат-ионом, ацетил-ионом, метил-ионом). Биотрансформация ксенобиотиков катализируется ферментами, локализованными в микросомальной фракции клеток печени.

**Тема: Діагностика отруєння риб**

*Лекція 20*

1. Клінічні дослідження отруєння риб
2. Симптоми і симптомокомплекси отруєння риб
3. Виявлення отрут в організмі риб

Одним із основних напрямів сучасних іхтіотоксикологічних досліджень є діагностика отруєння риб токсичними речовинами різного походження для встановлення причин масової їх загибелі у природних і штучних водоймах. Це часто пов'язано з необхідністю вирішення питань про правову та фінансову відповідальність організацій, підприємств чи окремих осіб, які винні у забрудненні водного середовища стічними водами.

Для діагностики отруєння риб токсикантами різного походження застосовують клінічні методи дослідження. Клінічні дослідження проводять за такою загальною схемою: 1) оцінка масштабів загибелі риб у водному об'єкті (кількість загиблої риби, її видовий склад, вік, стать); 2) оцінка екологічної ситуації на водоймі, виявлення можливих джерел забруднення (розташування та стан промислових об'єктів на території водозабору і вздовж берегової лінії водойми; гідрохімічні показники якості води – в першу чергу, рН водного середовища, вміст розчиненого кисню, пріоритетні токсиканти за експрес-тестами); 3) спостереження за станом агонізуючої риби, вивчення поведінкових реакцій; 4) патолого-морфологічне обстеження снулої і загиблої риби; 5) патолого-анатомічний розтин загиблої риби; 6) моделювання ситуації на водоймі в лабораторних умовах.

Клінічні дослідження покликані встановити симптоми і симптомокомплекси отруєння риб. Симптомами отруєння риб токсичними речовинами називають неспецифічні і специфічні зміни поведінкових реакцій, наявність зовнішніх ушкоджень чи ушкоджень внутрішніх органів, які можуть свідчити про наявність у водоймі і вплив на організм риб токсичних речовин. Симптомокомплексом отруєння риб токсикантами називають сукупність усіх патологічних зсувів в організмі за надходження до нього токсиканта.

Детальна характеристика симптомів отруєння і їхній повний перелік використовуються для індикації забруднення водойм токсичними речовинами та розвитку токсичного процесу в організмі риб. Знання симптомів отруєння необхідне для уні-

фікації показників токсичної дії тієї чи іншої речовини при проведенні досліджень різними дослідниками у різних умовах.

Отрути промислових стічних вод і пестициди мають певні місця локалізації в організмі риб: в шкіряному слизі, зябрах, печінці, нирках, шлунковому тракті, у вісцеральному жирі, пілоричних придатках, статевих продуктах, паренхіматозних тканинах. Такі токсичні речовини можна визначити аналітичним методом, взявши на аналіз той чи інший орган або тканину. У випадках, коли кількісне визначення концентрації отрут хіміко-аналітичним шляхом не дає очікуваного результату, проводять органолептичне дослідження, яке включає визначення токсиканта за запахом пробою варки.

**Тема: Диагностика отравления рыб**

*Лекция 20*

1. Клинические исследования отравления рыб
2. Симптомы и симптомокомплексы отравления рыб
3. Выявление ядов в организме рыб

Одним из основных направлений современных ихтиотоксикологических исследований является диагностика отравления рыб токсичными веществами различного происхождения для установления причин массовой их гибели в естественных и искусственных водоемах. Это часто связано с необходимостью решения вопросов о правовой и финансовой ответственности организаций, предприятий или отдельных лиц, виновных в загрязнении водной среды сточными водами.

Для диагностики отравления рыб токсикантами различного происхождения применяют клинические методы исследования. Клинические исследования проводят по следующей общей схеме: 1) оценка масштабов гибели рыб в водном объекте (количество погибшей рыбы, ее видовой состав, возраст, пол); 2) оценка экологической ситуации на водоеме, выявления возможных источников загрязнения (расположение и состояние промышленных объектов на территории водозабора и вдоль береговой линии водоема; гидрохимические показатели качества воды – в первую очередь, рН водной среды, содержание растворенного кислорода, приоритетные токсиканты по экспресс-тестам); 3) наблюдение за состоянием агонизирующей рыбы, изучение поведенческих реакций; 4) патолого-морфологическое обследование погибшей рыбы; 5) патолого-анатомическое вскрытие погибшей рыбы; 6) моделирование ситуации на водоеме в лабораторных условиях.

Клинические исследования необходимы для установления симптомов и симптомокомплексов отравления рыб. Симптомами отравления рыб токсичными веществами называют неспецифические и специфические изменения поведенческих реакций, наличие внешних повреждений или повреждений внутренних органов, которые могут свидетельствовать о наличии в водоеме и влиянии на организм рыб токсичных веществ. Симптомокомплексом отравления рыб токсикантами называют совокупность всех патологических сдвигов в организме при поступлении в него токсиканта. Детальная характеристика симптомов отравления и их полный перечень используются для индикации загрязнения водоемов токсичными веществами и развития токсического процесса в организме рыб. Знание симптомов отравления необ-

ходимо для унификации показателей токсического действия того или иного вещества при проведении исследований разными исследователями в различных условиях.

Яды промышленных сточных вод и пестициды имеют определенные места локализации в организме рыб: они могут накапливаться в слизи, жабрах, печени, почках, кишечном тракте, в висцеральной жире, пилорических придатках, половых продуктах, паренхиматозных тканях. Такие токсичные вещества можно определить аналитическим методом, взяв на анализ тот или иной орган или ткань. В случаях, когда количественное определение концентрации ядов химико-аналитическим путем не дает ожидаемого результата, проводят органолептические исследования, которые включают определение токсиканта по запаху пробой варки.