

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Саратовский государственный аграрный университет  
имени Н. И. Вавилова»**

## **Гидробиология**

**краткий курс лекций**

**для студентов 2 курса**

Направление подготовки

**35.03. 08 Водные биоресурсы и аквакультура**

Профиль подготовки

**Аквакультура**

**Саратов 2016**

УДК 639.3.03: 562

ББК 47.2

Г-15

Г15

**Гидробиология:** краткий курс лекций для бакалавров 2 курса направления подготовки 35.03.08 «Водные биоресурсы и аквакультура», профиль подготовки «Аквакультура» / Сост.: И.А. Галатдинова // ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2016. – 108с.

Краткий курс лекций по дисциплине «Гидробиология» составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины и предназначен для бакалавров направления подготовки 35.03.08 «Водные биоресурсы и аквакультура».

Краткий курс лекций содержит материал о гидрологических особенностях природных водных объектов континентальных вод и Мирового океана, направлен на формирование готовности осуществить разработку планов, программ, методик проведения исследования водных объектов, при решении вопросов, связанных с их рыбохозяйственным использованием; грамотного контроля над состоянием среды при эксплуатации рыбохозяйственных предприятий.

© Галатдинова И.А., 2016

© ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2016

## Введение

**Гидробиология** (от греч. «hydor» - вода, «bios» - жизнь, «logos» - наука) - наука о организмах (гидробионтов) водной среды, их популяций и сообществ (биоценозов), их взаимоотношении друг с другом и с условиями обитания, значении для процессов трансформации энергии и вещества и о биологической продуктивности океана, морей и внутренних вод. Гидробиология — преимущественно экологическая наука, т.к. условия жизни в водной среде определяются физико-географическими особенностями водоёма, многие из вторых, например химический состав воды, в особенности состав биогенных элементов и растворённых газов и их количество, характер донных отложений, прозрачность воды и др., находятся под сильным влиянием водных организмов и часто определяются их жизнедеятельностью. Поэтому в той мере, в какой гидробиология изучает значение жизненных явлений в общей совокупности взаимообусловленных процессов в водной среде, она имеет общие задачи с комплексными географическими дисциплинами, изучающими морские и континентальные водоёмы — *лимнологией* и *океанологией*. На этом уровне исследований решаются такие проблемы, как биологическая структура океана, биоолиминологическая и биоокеанологическая типология водоёмов и водных масс, закономерности круговорота веществ и потока энергии.

Из биологических дисциплин наиболее тесно связаны с гидробиологией зоология, ботаника, микробиология, физиология и биогеография. Опираясь на них, гидробиолог получает представление о составе населения водоёмов и ряд других сведений, используемых при экологическом анализе.

К основным методам гидробиологии относятся: 1) учет количества и биомассы различных групп гидробионтов, 2) оценка функциональной роли этих групп в экосистемах и моделирование экосистем с целью прогноза их состояния и управления ими. Количественные методы исследования природных сообществ водных организмов получили в гидробиологии самое широкое распространение. Для этой цели применяют многие специальные гидробиологические приборы (планктонные сети, драги, тралы, батометры, планктоноуловители, планктоночерпатели, дночерпатели, различных конструкций и др.). С их помощью облавливаются определенные участки воды, грунта или других субстратов, устанавливается видовой состав, численность и биомасса организмов, найденных в пробах, с последующим пересчетом на единицу площади или объем. В ряде случаев для оценки количества организмов в водоёмах используют биофизические и биохимические методы, подводное и надводное телевидение, фотографирование, эхолокация, а также актуальные наблюдения, выполненные с самолетов, подводных лодок, батискафом и особую перспективность приобретают наблюдения из космоса.

Основные задачи гидробиологии: 1) изучение экологических процессов в гидросфере в интересах ее освоения, нахождения тех форм отношения людей к водным экосистемам, при которых польза от экосистем была бы наибольшей, а вред - наименьшим; 2) повышение биологической продуктивности водоёмов; 3) разработка биологических основ обеспечения людей чистой водой.

## Лекция 1

### Предмет, методы и задачи гидробиологии. Основные направления гидробиологии и история возникновения.

#### 1.1. Предмет, методы и задачи гидробиологии.

*Биосфера* нашей планеты существует в виде живых организмов и продуктов их жизнедеятельности в газообразной оболочке Земли – *атмосфере*, твердой – *литосфере* и жидкой – *гидросфере*. Наиболее обширной является гидросфера. Из общей площади поверхности нашей планеты, равной приблизительно 510 млн. км<sup>2</sup>, около 362 млн. км<sup>2</sup>, т. е. более 70,5%, приходится на долю водного зеркала, а если принять во внимание и подземные воды, распространенные почти повсеместно, то окажется, что водная оболочка практически покрывает всю Землю.

Гидросфера вместе с ее населением играет в жизни человека огромную роль, которая с прогрессом цивилизации непрерывно возрастает. Водоемы все интенсивнее используют для питьевого и технического водоснабжения, как рыбохозяйственные угодья, для целей энергетики, навигации и во многих других отношениях. Поэтому по мере освоения гидросферы все большее значение приобретает ее биологическое изучение в интересах оптимизации природопользования и охраны среды. Такое изучение составляет предмет *гидробиологии* (от греч. «hydor» — вода, «bios» — жизнь, «logos» — слово, наука).

*Гидробиология* – наука о надорганизменных формах организации жизни, изучающая структуру и функционирование водных экосистем.

Как наука гидробиология изучает взаимодействие обитателей вод — *гидробионтов*, их популяций и сообществ — *биоценозов* друг с другом и с неживой природой. Гидробиология тесно связана, прежде всего, с водной экологией, с науками о гидросфере – гидрохимией, гидрофизикой, гидрологией.

Близка гидробиология и к таким географическим дисциплинам, как *океанология*, *лимнология* и *лимноэкология*.

*Океанология* – наука о Мировом океане (т. е. совокупности океанов и морей земного шара) и процессах, протекающих в нем.

*Лимнология* (или озероведение, от геч.- лимнос - озеро) изучает воды замедленного стока поверхности суши. Кроме того, в гидрологии суши можно выделить еще науку о водотоках (*потамология* от греч.-потамос-река), ледниках (*гляциология*).

*Лимноэкология* – часть гидроэкологии, изучающая структуру и функционирование экологических систем поверхностных пресных вод суши (озер, водохранилищ, рек).

Гидробиология связана и с рядом биологических дисциплин (зоологией, ботаникой, микробиологией).

*Предметом исследований* гидробиологии являются экологические процессы в водной среде, т. е. процессы взаимодействия гидробионтов, их популяций и сообществ между собой и с абиотическими компонентами водных экосистем. Водная экология исследует, кроме того, и воздействие человека на эти процессы.

*Цель гидробиологии* может быть определена как понимание экологических процессов, происходящих в водной среде.

*Основной задачей гидробиологии* является изучение экологических процессов в гидросфере.

*Главным методом* гидробиологии является системный подход, т. е. рассмотрение экосистемы как целого, и количественный учет протекающих в ней потоков энергии, вещества и информации. Следовательно, гидробиология всегда оперирует величинами численности организмов, их биомассы и продукции.

Для количественного учета используют различные орудия и приборы – планктонные сети, дночерпатели, драги, планктоночерпатели, батометры различных конструкций. В последнее время часто используются погружные и дистанционные биофизические приборы.

## 1.2. Основные направления гидробиологии

**Общая гидробиология** изучает экологические процессы в водоемах и водотоках.

В ней выделяются:

- системная гидробиология;
- трофологическая гидробиология;
- энергетическая гидробиология;
- этологическая гидробиология;
- палеогидробиология;
- бентология;
- планктология.

*Системная* гидробиология – приложение общей теории систем и ее методов в водной экологии. Она занимается общими проблемами организации биосистем в гидросфере, их поведением, самоорганизацией и самоуправлением, моделированием водных биосистем, прогнозом их состояния при различных внешних воздействиях.

По изучаемым процессам различаются *трофологическая* гидробиология – пищевые связи, биологическая трансформация веществ, *энергетическая* гидробиология – поток энергии, ее биологическая трансформация, *этологическая* гидробиология – поведение гидробионтов, *палеогидробиология* – исторические изменения водных экосистем.

По локализации изучаемых процессов в общей гидробиологии можно выделить *бентологию* и *планктологию*. Первая занимается экологическими процессами, проходящими на дне водоемов и водотоков, вторая – в толще вод.

**Частная гидробиология** изучает специфику экологии водных объектов разного типа. Выделяют гидробиологию морей, озер, прудов, болот, луж, временных и пересыхающих водоемов и др.

То же происходит и для водотоков: гидробиология рек различных типов, ручьев. Кроме того, существует гидробиология подземных и пещерных вод, гидробиологии полярных и тропических водоемов, водоемов умеренного пояса и субтропических.

**Прикладная гидробиология** включает:

- Продукционная* гидробиология, изучающая биологические основы продуктивности водоемов (например, повышения вылова рыбы, урожая морепродуктов и т. п.).
- Санитарная* гидробиология, занимающаяся решением проблем чистой воды, самоочищения водоемов.
- Медицинская* гидробиология, исследующая происхождение и распространение болезней, связанных с водой (в первую очередь – инфекционных). Ее подразделом является *гидропаразитология*, разрабатывающая методы борьбы с паразитическими животными, обитающими в водоемах, в том числе личиночными стадиями паразитов.

-*Токсикологическая* гидробиология или *водная токсикология*, изучающая возможность вреда продуктов техногенеза для водных объектов, в частности влияние токсикантов на гидробионтов и экосистемные процессы.

-*Радиологическая* гидробиология, решающая вопросы, связанные с поступлением в водоемы радионуклидов, влиянием их на гидробионтов, накоплением их в трофических цепях.

-*Техническая* гидробиология, изучающая биологические явления, представляющие опасность для техники, контактирующей с водой (биокоррозия, обрастания и т. п.).  
*Навигационная* гидробиология исследует водные биологические процессы, препятствующие судоходству.

### **1.3. История возникновения гидробиологии**

Становление гидробиологии как самостоятельной науки относится к середине прошлого века. До этого времени биологические ресурсы водоемов, особенно морей, многим казались неисчерпаемыми, забота о воспроизводстве промысловых организмов — излишней, а их экологическое изучение — ненужным для практики. В середине прошлого века жизнь заставила отказаться от такой успокоительной точки зрения даже применительно к морским водоемам: китобойный промысел в северном полушарии начал резко сокращаться, траулеры стали покидать места, ранее изобиловавшие рыбой, подорванным оказался промысел устриц. Возникла необходимость в реальной оценке запасов промысловых организмов, в выяснении особенностей их естественного воспроизводства, образа жизни, т. е. в экологическом изучении гидробионтов.

Интересы промысла водных организмов были важным, но не единственным стимулом к возникновению гидробиологии. Развитие промышленности и транспорта повлекло за собой загрязнение водоемов, особенно пресных, ставшее весьма заметным во второй половине прошлого века и выдвинувшего на первый план проблему чистой воды. Вместе с тем в 1869—1870 гг. А. Мюллер и Ф. Кон обратили внимание на огромную роль гидробионтов в процессах самоочищения водоемов. Стало ясно, что изучение вопросов загрязнения и самоочищения водоемов нельзя вести без учета роли гидробионтов, без знания их экологии. Это послужило другим важным стимулом к возникновению и развитию гидробиологии.

Большую роль в становлении гидробиологии сыграло создание во второй половине XIX в. большого числа морских и пресноводных биологических станций. Одна из первых морских биологических станций была основана в Севастополе в 1872 г. по инициативе А. О. Ковалевского и существует до настоящего времени, (Институт биологии южных морей АН УССР). В 1872 г. открывается морская станция в Неаполе, основанная А. Дорном, в 1876 г. — Ньюпортская станция на атлантическом побережье США, основанная А. Агассизом. Несколько позже стали создаваться пресноводные биологические станции: в 1890 г. — на оз. Плен (Германия), в 1891 г. — на оз. Глубокое (Московская обл.), в 1894 г. — на р. Иллинойс (США). В 1900 г. на Волге в Саратове открылась первая в Европе речная биологическая станция.

Важной вехой в становлении гидробиологии как экологической дисциплины стало создание и применение орудий, необходимых для учета концентрации гидробионтов. Работая в Северном море, Гензен в 1887 г. впервые использовал для учета количества организмов в единице объема воды специальную коническую сеть из мелкоячеистого шелкового сита («газа»). Несколько позже, в 1909 г., Петерсен сконструировал и

применил для учета концентрации донных организмов прибор *дночерпатель*. К этому времени по существу завершается становление гидробиологии как самостоятельной науки.

Большое значение для развития гидробиологии имело образование Международного совета по изучению морей (1899) и Международной ассоциации теоретической и прикладной лимнологии (1922), существующих до настоящего времени.

В России первое крупное изучение биологии морей было осуществлено научно-промысловой экспедицией по изучению рыболовства и рыбных запасов в Каспийском море, проведенной в 1853—1856 гг. под руководством К. Бэра и Н. Данилевского. В 1899—1906 гг. большие исследовательские работы на Баренцевом море выполнила экспедиция под руководством Н. М. Книповича.

Резко усиливается размах гидробиологических исследований на морях в советское время. В начале 20-х годов по распоряжению В. И. Ленина начала работать Азово-Черноморская научно-промысловая экспедиция под руководством Н. М. Книповича. Большую роль в расширении морских биологических исследований сыграла организация в 1921 г. по декрету, подписанному В. И. Лениным, Плавучего морского научного института (Плавморин). Экспедиционный корабль этого института «Персей» начиная с 1923 г. совершил более 100 экспедиций в Баренцевом, Белом, Карском, Гренландском и Норвежском морях, во время которых участники исследований собрали богатейший материал. В 1922 г. организуется Государственный гидрогеологический институт с большим гидробиологическим отделом под руководством К. М. Дерюгина. В начале 30-х годов создается ВНИИ морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), который в настоящее время располагает обширной сетью филиалов и отделений на всех морях страны.

Параллельно морским биологическим исследованиям в нашей стране развивалось и гидробиологическое изучение пресных вод. В 1867 г. Московское общество любителей естествознания организовало обследование озер Московской губернии, примерно в это же время В. И. Дыбовским изучается фауна оз. Байкал, Кесслером — ихтиофауна Волги, Невы, Ладожского и Онежского озер. Большой вклад в развитие лимнологии внесли исследования, развернувшиеся в конце прошлого века на Глубокоозерной станции. С начала 30-х годов во все возрастающем масштабе проводит гидробиологические исследования ВНИИ озерного и речного рыбного хозяйства (ВНИОРХ, позже ГосНИОРХ) с сетью своих отделений.

### **Вопросы для самоконтроля**

- 1) Предмет, методы и задачи гидробиологии.
- 2) История возникновения гидробиологии как науки.

### **Список литературы**

#### *Основная*

1. **Буруковский, Р.Н.** Зоология беспозвоночных: уч. пос./Р. Н. Буруковский – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 214 с.
2. **Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134с.

3. **Калайда, М.Л.** Гидробиология/ М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб. : Проспект Науки, 2013. – 192 с.
4. **Ким, Н.Г.** Барьерная технология гидробионтов/ Н.Г. Ким. - СПб.: Проспект Науки, 2011. – 336 с.
5. **Шапиро, Я.С.** Агробиология: *уч. пос.*/Я. С. Шапиро. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 288 с.

*Дополнительная*

1. **Папина, Т. С.** Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. / Т.С. Папина. - Аналитический обзор. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2010. - 58 с.
2. **Попов, П. А.** Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. / П.А. Попов. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2007. - 270 с.
3. **Полищук, О.Н.** Основы экологии и природопользования: *уч. пос.*/О. Н. Полищук. – СПб.: Проспект Науки, 2011. – 144 с.



## Лекция 2

### Общие принципы и понятия гидробиологии

#### 2.1. Основные понятия в гидробиологии

Как наука экологическая гидробиология исходит из представления о том, что живое, возникшее из неживого, остается с ним в тесной взаимосвязи и находится с ним в структурно-функциональном единстве.

Все биологические системы существуют не изолированно, а в тесном взаимодействии с различными элементами внешнего по отношению к ним мира — средой. Среда — это не все элементы внешнего мира, а лишь те, с которыми данная биологическая система взаимодействует непосредственно и к воздействию которых адаптирована исторически. Например, грунт — элемент среды для донных организмов, но не для обитателей толщи воды, хотя косвенно может влиять на них; так же популяции китов и водорослей не элементы среды друг для друга, так как они не взаимосвязаны непосредственно между собой. Существует и другое понимание среды, определяемой как совокупность всех элементов внешнего мира, окружающего живое.

Для организмов каждого вида характерно определенное *местообитание* — место, где они живут, встречаются. Более широкое понятие — *экологическая ниша*. Сначала она понималась как единица распределения, в пределах которой вид удерживают его структурные и инстинктивные ограничения. Позже Ч. Элтон (1928), развил представление о нише вида, обосновав его функциональную роль в сообществе. В 1957 г. Г. Хатчинсон показал, что экологическую нишу можно рассматривать как некоторое экологическое пространство (по Хатчинсону *гиперпространство*), в котором условия среды определяют неограниченно долгое существование особей вида. При этом автор различает *фундаментальную нишу* — наибольшее гиперпространство, способное заселяться видом в отсутствие конкуренции, и *реализованную нишу* — меньшее гиперпространство, занимаемое им в условиях биотических ограничений. Вместе с тем ниша — это совокупность всех условий, необходимых для существования вида, его неограниченного сохранения во Времени и пространстве. Совокупность всех ресурсов, необходимых для обеспечения какой-либо отдельной функции организмов данного вида, называют *частной нишей*.

Гидросфера как среда жизни подразделяется на более или менее отграниченные друг от друга участки — *биотопы*, или *экотопы*. Каждый из них осваивается популяциями разных видов, обуславливая формирование того или иного биоценоза. Биоценоз и биотоп, составляя единое целое, не могут рассматриваться самостоятельно, будучи разными компонентами *экосистемы*. Обитатели того или иного биотопа вне зависимости от их систематического положения приобретают сходные адаптации к существованию в пределах своего местообитания, образуя характерные *жизненные формы*.

К наиболее крупным биотопам водоемов относятся их толща, или *пелагиаль* (pelagos — открытое море), дно с прилегающим к нему слоем воды, или *бенталь* (bentos — глубина), и поверхностный слой воды, граничащий с атмосферой, или *нейсталь* (nein — плавать). Жизненные формы, соответствующие этим биотопам, называются *пелагосом*, *бентосом* и *нейстоном*. К *пелагобентосу* относятся гидробионты,

способные попеременно вести то пелагический, то бентосный образ жизни. Совокупность организмов, поселяющихся на различных предметах и живых телах, находящихся в толще воды, получила название *перифитона* (*peri* — вокруг, *phyton* — растение). Среди населения пелагиали различают представителей *планктона* и *нектона* (*planktos* — парящий, *nektos* — плавающий). К первому относятся формы, либо не способные к активным движениям, либо обладающие ими, но не могущие противостоять токам воды, которыми переносятся с места на место (водоросли, простейшие, коловратки, рачки и другие мелкие животные). К нектонным формам принадлежат крупные животные, двигательная активность которых достаточна для преодоления водных течений (например, рыбы, кальмары, млекопитающие). Пелагические организмы, часть тела которых находится в воде, а часть — над ее поверхностью, получили название *плейстона* (*pleusis* — плавать). К типичным плейстонтам относятся сифонофоры, ряска и другие плавающие растения.

Терминология в отношении гидробионтов разных жизненных форм еще не упорядочена. Акад. С. А. Зернов (1949) представителей планктона называет *планктонтами*. По аналогии организмы бентоса, нейстона, нектона, плейстона и перифитона целесообразно называть соответственно *бентонтами*, *нейстонтами*, *нектонтами*, *плейстонтами* и *перифитонтами* (Константинов, 1972). Совокупность взвешенных в воде органоминеральных частиц (*детрит*) и планктонных организмов называют *сестоном* (*sestos* — просеянный).

Наряду с *гологидробионтами* — видами, адаптированными к жизни только в водной среде, гидробиология изучает также формы, которые могут существовать как в воде, так и на суше. Некоторые из них (водный лютик, земноводная гречиха, стрелолист и др.) одинаково хорошо живут в обеих средах, другие (лягушки, тритоны, некоторые раки и рыбы) преимущественно адаптированы к жизни в воде, но могут значительное время пребывать вне ее. Все перечисленные формы, приспособленные к жизни как в водной, так и в воздушной среде, называют *амфибионтными* или *мерогидробионтами*. Среди них в особую группу выделяют *полуводные организмы*, часть тела которых находится в воде, а часть — на воздухе (камыш, тростник, осока и др.). К мерогидробионтам относятся и водные стадии *гетеротопных*, или *воздушно-водных организмов*, часть жизненного цикла которых осуществляется в воздушной, а часть — в водной среде (например, многие насекомые, ведущие в имагинальной стадии воздушный образ жизни, а в личиночной — водный).

Элементы среды, непосредственно влияющие на существование населения, называются *факторами воздействия* или просто *факторами*. По своей природе их разделяют на *абиотические* — физико-химические воздействия неживой среды, *биотические* — воздействия одних элементов населения на другие и *антропогенные* (точнее, *антропические*) — влияния человека на живую природу как сознательные, так и невольные.

Особи каждого вида могут существовать только в определенном пределе изменчивости отдельных элементов среды. Диапазон колебаний фактора, который может выдерживать вид, называется его *экологической валентностью*. Формы с широкой экологической валентностью обозначают как *эврибионтные*, с узкой — как *стенобионтные* (*euryus* — широкий, *stenos* — узкий). Примером стенобионтных форм могут служить мадрепоровые кораллы, обитающие только в морях на твердых грунтах при температуре не ниже 2°C и не выносящие даже легкого опреснения воды. В качестве эврибионтного вида можно назвать корненожку *Cyphoderia ampulla*, которая встречается в морях, засоленных болотах и пресных водоемах, в теплых и холодных

озерах. Виды с очень высокой степенью эврибионтности, вроде указанной корненожки, называются *убиквистами* (ubique — везде).

Степень экологической валентности вида можно оценивать не только в отношении широкого комплекса факторов (эври- или стенобионтность), но и применительно к каждому из них в отдельности, добавляя к названию соответствующего фактора греческое «эври» или «стено». Например, голотурия *Elpidia gtacialis*, не встречающаяся в воде с температурой выше 1°C, представляет собой *стенотермную* форму, а упоминавшаяся корненожка *C. ampulla* — *эвритермную* (thermos — тепло).

Виды, стенобионтные в отношении какого-то фактора, существуют при его высоких или низких абсолютных значениях. Если они нуждаются в высоких значениях какого-то фактора, то к русскому названию последнего добавляется «любивый», а к греческому — «фильный» (fileo — люблю). Например, стенотермные формы, обитающие в теплых водах, будут называться теплолюбивыми или *термофильными*, в холодных — холодолюбивыми или *криофильными* (krios — холод). Если особи вида избегают высоких значений фактора, это обозначают термином, образованным из названия данного фактора с добавлением греческого «фобный» (fobos — боязнь). Например, формы, не терпящие заметного осолонения воды, будут обозначаться *галофобными* (gals — соль). Иногда используют другую терминологию: виды, обитающие в условиях высокой выраженности данного фактора, называют его *бионтом*. Так, формы, населяющие соленые воды, именуют *галобионтами*, обитающие на течении, — *реобионтами*.

Организмы, популяции, виды и биоценозы способны адаптироваться к среде, т. е. сохранять свою структурную целостность и функциональную устойчивость в изменчивых (до определенного предела) условиях внешних воздействий.

По способу осуществления различают **адаптации** биохимические, физиологические, поведенческие, морфологические и некоторые другие. Обычно они, сосуществуя, подкрепляют друг друга, усиливая адаптационный эффект.

В зависимости от дозировки того или иного фактора условия существования биологических систем могут быть *оптимальными* (optimus — наилучший), *пессимальными* (pessimus — наихудший) или иметь какое-то промежуточное значение. Оптимальны те условия, при которых нормальное функционирование системы в целом обеспечивается минимумом энергетических затрат. Условия, оптимальные для существования отдельных компонентов в биологической системе могут заметно отличаться друг от друга. Поэтому понятие оптимума отражает интегральную оценку благоприятности условий, в которых находится и функционирует рассматриваемая система в целом.

Большое экологическое значение имеет не только абсолютная величина того или иного фактора, но и скорость его изменения. Если она невелика, приспособление к новым условиям (*акклимация*) происходит легче. Резкие воздействия на биологические системы, вызывающие их перенапряжение, получили название *стрессовых*. Применительно к отдельным воздействиям можно говорить, например, о температурном стрессе при быстром нагревании или охлаждении водоема, солевом стрессе, вызываемом резким изменением солености воды, и т. п.

Население отдельных участков гидросферы неодинаково, поскольку они различаются по физико-химическим и другим характеристикам. Каждый вид нуждается для своего существования в определенных условиях и не может процветать там, где их нет. Факторы среды, исключаящие или ограничивающие процветание вида, называют *лимитирующими*.

В природных условиях отдельные факторы действуют не изолированно, а совокупно, и при этом их роль может сильно трансформироваться. Например, оптимум освещенности для организмов сильно меняется в разных температурных условиях в зависимости от концентрации кислорода, активной реакции среды и ее окислительно-восстановительного потенциала. Повышение температуры благоприятно для гидробионтов, когда вода хорошо аэрирована, и губительно, если респираторные условия хуже. Чем сильнее меняется данный элемент среды в пространстве и во времени, тем обычно больше его экологическое значение. Существенную роль играет и степень регулярности воздействия данного фактора на население, регулярность его изменения во времени. В соответствии с этим следует различать факторы, изменяющиеся с закономерной периодичностью и без закономерной периодичности. Факторы, изменяющиеся с закономерной периодичностью, обуславливают формирование у видов характерных для них биологических циклов (суточные, сезонные, годовые и др.), специфические типы динамики численности и некоторые другие видовые признаки. Факторы, изменяющиеся без закономерной периодичности, главным образом влияют на распространение вида и на его численность.

#### **Вопросы для самоконтроля:**

- 1) Понятия «местообитание», «экологическая ниша» (по Хатчинсону).
- 2) Классификация гидробионтов по биотопам.
- 3) Понятие «экологическая валентность» и её формы.
- 4) Адаптация организмов. Виды адаптации. Акклимация.

#### **Список литературы**

##### *Основная*

1. **Буруковский, Р.Н.** Зоология беспозвоночных: *уч. пос.*/Р. Н. Буруковский – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 214 с.
2. **Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134с.
3. **Калайда, М.Л.** Гидробиология/ М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб. : Проспект Науки, 2013. – 192 с.
4. **Ким, Н.Г.** Барьерная технология гидробионтов/ Н.Г. Ким. - СПб.: Проспект Науки, 2011. – 336 с.
5. **Шапиро, Я.С.** Агробиология: *уч. пос.*/Я. С. Шапиро. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 288 с.

##### *Дополнительная*

1. **Папина, Т. С.** Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. / Т.С. Папина. - Аналитический обзор. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2010. - 58 с.
2. **Попов, П. А.** Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. / П.А. Попов. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2007. - 270 с.
3. **Полищук, О.Н.** Основы экологии и природопользования: *уч. пос.*/О. Н. Полищук. – СПб.: Проспект Науки, 2011. – 144 с.

## Лекция №3

### Физико-химические условия существования гидробионтов

#### 3.1. Физико-химические свойства воды

Вода как физико-химическое тело оказывает непрерывное воздействие на жизнь гидробионтов. Она не только удовлетворяет физиологические потребности организмов, но и служит им опорой, доставляет кислород и пищу, уносит метаболиты, переносит половые продукты и самих гидробионтов. Поэтому свойства воды — важнейший фактор абиотической среды водного населения. Для бентосных организмов первостепенное значение приобретают физико-химические особенности населяемого ими грунта.

**Химический состав и строение воды.** Молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода.

Молекулы воды имеют два отрицательных и два положительных заряда. Вода хорошо растворяет не только электролиты, но и большинство органических неэлектролитов, а также кислород,  $\text{CO}_2$  и другие газы.

Молекулы воды образуют водородные связи с многочисленными отрицательно заряженными молекулами, в результате чего возникают комплексы различного состава. При высоких температурах вода преимущественно представлена одиночными молекулами— моногидролями, при низких — в основном ди- и тригидролями.

При таянии льда часть водородных связей разрушается и плотность пресной воды возрастает. При дальнейшем нагревании до  $4^\circ\text{C}$  разрыв водородных связей продолжается, уплотнение воды превышает эффект теплового расширения. Разрыв почти всех связей происходит только при переходе воды в пар; при  $20^\circ\text{C}$  сохраняется половина из них. В морской воде картина иная: с понижением температуры плотность непрерывно повышается вплоть до замерзания.

**Плотность, вязкость и поверхностное натяжение воды.** При  $4^\circ\text{C}$  (точнее, при  $3,98^\circ\text{C}$ ) плотность чистой воды равна  $1 \text{ г/см}^3$ . При повышении температуры она уменьшается.

На первый взгляд, изменения плотности с повышением температуры не так существенны. Однако следует учесть, что плотность гидробионтов обычно отличается от единицы лишь во втором или даже в третьем знаке. Поэтому температурные колебания плотности воды в пределах третьего и четвертого знака означают очень многое в жизни пелагических организмов в смысле изменения условий плавания (различная опорность среды).

Огромное экологическое значение имеет аномальное свойство пресной воды расширяться при охлаждении ниже  $4^\circ\text{C}$ . Когда под влиянием нагревания или охлаждения температура поверхностного слоя воды становится ближе к  $4^\circ\text{C}$ , чем в близлежащем глубинном горизонте, тогда более плотные поверхностные воды погружаются вглубь, глубинные поднимаются кверху, и происходит их перемешивание, которое сопровождается существенным изменением условий существования гидробионтов. Крайне важно для них и свойство воды расширяться при замерзании. Благодаря этому в зимнее время лед, плавая на поверхности воды, изолирует ее от холодного воздуха и предупреждает промерзание до дна даже не очень глубоких водоемов.

По сравнению с другими жидкостями вода имеет сравнительно небольшую **вязкость**, что обуславливает ее подвижность и облегчает плавание гидробионтов. С повышением температуры вязкость воды заметно снижается:  $10^{-3}$

С увеличением солености вязкость воды несколько возрастает. Изменение вязкости особенно сильно влияет на условия передвижения мелких организмов. С одной стороны, они обладают сравнительно маломощной локомоторной системой, в то время как относительная поверхность, пропорционально которой действуют силы трения, очень велика. С другой стороны, вязкость тормозит движение тем больше, чем ближе находятся смещаемые относительно друг друга слои воды. Для мелких организмов они располагаются на очень небольших расстояниях и потому преодоление сил трения сопряжено со значительными энергетическими затратами.

Огромное влияние оказывает вязкость воды на скорость погружения организмов. При отсутствии трения гидробионты, не обладающие локомоторной системой, лишились бы способности удерживаться в толще воды, а подвижным формам пришлось бы тратить много дополнительной энергии, чтобы избегать погружения на дно. Вязкость воды облегчает организмам парение в ее толще, поэтому у многих гидробионтов выработались специальные адаптации, направленные на увеличение сил трения с водой, особенно летом, когда ее вязкость в связи с повышением температуры снижается.

Вода обладает сравнительно высоким **коэффициентом поверхностного натяжения**, который в зависимости от температуры и солености лежит в пределах  $0,771—0,765 \text{ Н/м}^2$  (ньютон на  $\text{м}^2$ ). Межмолекулярные силы, действующие перпендикулярно к поверхности и обуславливающие образование пленки поверхностного натяжения, играют существенную роль в жизни нейстонтов. Поверхностная пленка предоставляет организмам своеобразную опору, для использования которой вырабатываются специфические адаптации, в частности смачиваемость или несмачиваемость покровов тела. Организмы с несмачивающимися («не прилипающими» к пленке) покровами, находясь на пленке, поддерживаются ею и, будучи тяжелее воды, не тонут. Гидробионты более легкие, чем вода, могут удерживаться в ней, упираясь в находящуюся над ними пленку. Нейстонты со смачивающимися покровами могут подвешиваться к пленке снизу и не тонуть, если даже их плотность заметно выше 1.

В природных водах, как морских, так и пресных, поверхностное натяжение может снижаться из-за присутствия в них растворенных органических веществ. Особенно сильно такое снижение выражено иногда в цветущих водоемах или на участках, заросших макрофитами, а также при попадании в воду различных детергентов.

Термические и оптические свойства воды

По сравнению с почвой и воздухом вода отличается гораздо большей термостабильностью, что благоприятно для существования жизни. Сохранению температурного постоянства воды способствует ее необычайно высокая теплоемкость, это объясняется тем, что часть получаемой тепловой энергии расходуется на разрыв водородных связей между молекулами. В результате вода медленно охлаждается и нагревается при смене сезонов года, а также времени суток, играя роль важного регулятора температуры.

Поддержанию термостабильности воды способствуют теплота парообразования и плавления льда.

Когда поступление тепла в водоемы усиливается и вода начинает нагреваться, возрастает испарение, вследствие чего повышение температуры замедляется. При

охлаждении воды ниже 0°C и образовании льда выделяющееся тепло тормозит дальнейшее понижение температуры.

По сравнению с воздухом вода гораздо менее прозрачна, и попадающий в нее свет довольно быстро поглощается и рассеивается. Поглощение света выражается законом Бугера — Ламберта:  $I_z = I_0 \cdot e^{-mz}$ , где  $I_z$  — интенсивность (энергия) световой волны после прохождения ею слоя воды толщиной  $z$ ,  $I_0$  — исходная интенсивность,  $m$  — коэффициент поглощения света, зависящий от длины волны ( $\lambda$ ).

В природных водах, содержащих большое количество различных взвешенных частиц, коэффициенты поглощения всех лучей заметно выше. Вследствие разницы в поглощении лучей разной длины волны спектральный состав света по мере прохождения его сквозь толщу воды резко меняется. Очень быстро в нем исчезают инфракрасные лучи (длиннее 820 нм), затем красные (680 нм) и оранжевые (620 нм). Наиболее далеко проходят зеленые (520 нм) и особенно синие (460 нм). Изменение спектрального состава света существенно влияет на условия фотосинтеза и отражается на поведении гидробионтов.

Параллельно поглощению света в толще воды происходит его рассеивание, т. е. отклонение лучей во все стороны от первоначального направления молекулами воды и другими частицами. Ослабление светового потока за счет рассеяния выражается уравнением, аналогичным предыдущему:  $I_r = I_0 \cdot e^{-kz}$ , где  $k$  — коэффициент молекулярного рассеяния, зависящий от длины волны лучей. Следовательно, коротковолновые лучи рассеиваются молекулами воды сильнее длинных (например, синие в 3 раза сильнее красных). Взвешенные в воде частицы преимущественно рассеивают длинноволновые лучи.

Суммарное ослабление света за счет его поглощения и рассеяния выражают уравнением  $I_g = I_0 \cdot e^{-(k+m)z}$ , где  $(k+m)$  — суммарный коэффициент затухания света.

Под *прозрачностью* воды ( $F$ ) понимается отношение величины потока излучения, прошедшего через слой воды определенной толщины, к величине входящего потока. Хорошей характеристикой прозрачности ( $\Pi$ ) служит глубина, на которой становится невидимым белый диск диаметром 30 см (диск Секки). Она тесно коррелирует с коэффициентом поглощения света ( $k$ ) и, согласно Пулю и Аткинсу, может быть найдена по формуле  $\Pi = 1,7 : k$ . Константа 1,7 в этой формуле несколько завышена и в действительности близка к 1,5 (Walker, 1982).

*Цвет воды* зависит от избирательности поглощения и рассеивания различных лучей и определяется как отношение светового потока, выходящего из воды, к падающему на ее поверхность. От цвета воды следует отличать цвет поверхности водоемов, который в отличие от первого зависит от погодных условий (облачность, ветер, волнение) и угла зрения. Например, близкие участки кажутся более темными, чем удаленные, которые в крупных водоемах сливаются на горизонте по своей окраске с фоном неба. Если смотреть на поверхность водоема вертикально, глаз наблюдателя в основном улавливает световой поток, выходящий из воды (ее собственный цвет). С уклонением от вертикали в глаз попадает все больше отраженного света и соответственно меняется спектральный состав суммарно воспринимаемого светового потока (цвет поверхности воды).

Чистая вода рассеивает преимущественно коротковолновые лучи и потому в соответствии со спектральным составом выходящего из нее светового потока кажется синей. С увеличением в воде количества взвешенных частиц, включая мелкие организмы, возрастает рассеивание длинноволновых лучей, и ее цвет приобретает желтоватый или коричневый оттенок. Таким образом, по цвету воды можно с

известной степенью точности судить о ее чистоте и количестве находящихся в ней мелких твердых частиц и микроорганизмов.

### 3.2. Физико-химические свойства грунтов

Из отдельных физико-химических свойств грунтов наибольшее экологическое значение для донного населения имеют размеры частиц, плотность их прилегания друг к другу и стабильность взаиморасположения, степень смыва течениями и темп аккумуляции за счет оседания взвешенного материала. Физические свойства грунтов прежде всего характеризуются их *механическим*, или *гранулометрическим*, составом, под которым понимают размер зерен, образующих донные осадки.

Мелкозернистые грунты называют *мягкими*. К ним относятся глины (*пелиты*), илы (*селиты*, *алевриты*) и песок, имеющие размер зерен соответственно менее 0,01, 0,01—0,1 и 0,1—1,0 мм. *Жесткие* грунты представлены гравием (0,1—1 см), галькой (1—10 см), валунами (10—100 см) и глыбами (более 1 м).

Мелкозернистые грунты в зависимости от содержания тонких фракций (частиц мельче 0,01 мм) подразделяют на песок, илистый песок, песчанистый ил, ил и глинистый ил (тонких фракций соответственно до 5, 10, 30, 50 и более 50%). Если в грунте присутствуют несколько разноразмерных фракций, его называют смешанным. По отношению к грунтам различают *стен-* и *эвриэдафические* формы (edaphon — почва, грунт), из которых первые приурочены к какому-либо одному субстрату, а вторые обитают на разных грунтах. Среди стенэдафических форм различают *литофилов*, обитающих на камнях, *псаммофилов*, живущих на песке, *аргиллофилов*, селящихся на глине, и *пелофилов*, жизнь которых связана с илистыми грунтами (lithos — камень, psammos — песок, pelos — ил, argillos — глина).

С переходом от каменистых грунтов к песчанистым и илистым численность донных животных обычно увеличивается, а их средняя масса снижается. Находясь на не свойственном им субстрате, бентонты испытывают угнетение или вовсе погибают. Гидробионты активно выбирают грунты, наиболее соответствующие их потребностям. Обычно это осуществляется путем избирательного оседания планктонных личинок донных беспозвоночных на те или иные субстраты, передвижением взрослых форм по грунту или их всплыванием в толщу воды с последующим выбором нового участка дна. Аттрактивность («привлекательность») грунтов определяется не только их гранулометрическим составом, но и многими другими качествами. Мелкозернистые грунты, особенно илистые, имеют различную степень уплотнения и в верхних слоях лежат более рыхло, чем в нижних. По мере уплотнения грунтов внедрение в них становится более затруднительным, и организмы закапываются на меньшую глубину. С другой стороны, слишком мягкие, полужидкие грунты становятся недостаточно опорными и поэтому неблагоприятны для донных организмов.

Условиями движения внутри грунта с различным гранулометрическим составом объясняется разница в размерах организмов, обитающих в песке морских пляжей. Так, в песках со средним размером песчинок более 0,4 мм обычно преобладают мелкие и средние инфузории, не имеющие, как правило, явных морфологических приспособлений к жизни в песке; для песков с размерами песчинок 0,12—0,4 мм характерны крупные ползающие инфузории, обычно с вытянутой лентовидной или нитевидной формой тела; в очень плотных песках с размером частиц менее 0,1 мм инфузории, как правило, отсутствуют.



Крайне неблагоприятна для существования донного населения недостаточная стабильность грунтов: оседание частиц, снос поверхностных слоев токами воды и перемещение частиц относительно друг друга. В первом случае обитатели грунта засыпаются слоем наносов, во втором — вымываются и уносятся течением, в третьем — перетираются, не могут укорениться. Перемешивание грунтов может вызываться не только движением воды, но и деятельностью самих организмов. Например, полихеты *Arenicota* в популяциях с плотностью 40 экз/м<sup>2</sup> ежедневно пропускают через свои кишечники 1,5 кг грунта, а за год — около 0,25 м<sup>3</sup>, т. е. перемещают весь грунт в слое глубиной 20—30 см. Энергично перекапывают грунт многие другие полихеты и олигохеты, личинки хирономид, зарывающиеся в дно моллюски, иглокожие, ракообразные и другие животные. Креветка *Axius serratus* роет норы на глубину до 3 м. Проникая в грунт, она делает его более пористым и обводненным, перемешивает донные осадки. В результате воздействия организмов на грунт, можно говорить о трех процессах, происходящих в нем: биоседиментации (фекалии, псевдофекалии, трупы и др.), биодислокации (перекапывание грунта, рытье нор, сооружение трубок и т. п.) и биостабилизации (микробное склеивание частиц грунта, укрепление их корнями, ризоидами и др.).

Многие донные животные питаются, пропуская через свои кишечники грунт, и тогда важное экологическое значение приобретает содержание в нем органического вещества, которое образуется в результате попадания в грунт остатков организмов на тех или иных стадиях разложения. Наибольшую пищевую ценность органическое вещество имеет на начальных стадиях разложения, затем его питательная ценность постепенно снижается. Поэтому для экологической оценки грунта важно знать не только содержание в нем общего количества органического вещества, но и состав последнего. Так, органическое вещество Океанских осадков иногда на 30—35% представлено гуминовыми кислотами и битумами, которые животные как пищевой материал практически не используют. Точно так же недоступны для них хитин, клетчатка и некоторые другие компоненты органического вещества осадков.

Донные отложения тесно взаимодействуют с водой. Из грунта в воду непрерывно поступают различные соли, газы, твердые компоненты, навстречу этому потоку идет другой, несущий в донные отложения различные минеральные и органические вещества из толщи воды. Процессы взаимодействия между ложем водоема и его водной массой имеют большое значение для жизни гидробиоса.

#### Вопросы для самоконтроля:

- 1) Химический состав и строение воды.
- 2) Плотность. Вязкость и поверхностное натяжение воды.
- 3) Термические и оптические свойства воды. Закон Бугера-Ламберта.
- 4) Физико-химические свойства грунтов. Классификация грунтов.

#### Список литературы

##### Основная

1. Буруковский, Р.Н. Зоология беспозвоночных: уч. пос./Р. Н. Буруковский – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 214 с.
2. Березина, Н.А. Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134с.

3. **Калайда, М.Л.** Гидробиология/ М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб. : Проспект Науки, 2013. – 192 с.
4. **Ким, Н.Г.** Барьерная технология гидробионтов/ Н.Г. Ким. - СПб.: Проспект Науки, 2011. – 336 с.
5. **Шапиро, Я.С.** Агробиология: *уч. пос.*/Я. С. Шапиро. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 288 с.

*Дополнительная*

1. **Папина, Т. С.** Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. / Т.С. Папина. - Аналитический обзор. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2010. - 58 с.
2. **Попов, П. А.** Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. / П.А. Попов. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2007. - 270 с.
3. **Полищук, О.Н.** Основы экологии и природопользования: *уч. пос.*/О. Н. Полищук. – СПб.: Проспект Науки, 2011. – 144 с.

## Лекция 4

### Физико-химические явления в водоемах

#### 4.1. Давление воды и гидродинамика

Существование гидробионтов в огромной степени определяется особенностями физико-химических явлений, которые возникают в результате взаимодействия гидросферы с другими оболочками Земли. К экологически наиболее важным относятся создаваемое водой давление, гидродинамика, динамика температуры и освещенности, акустические эффекты, колебания уровня ионизирующей радиации, изменчивость электрических и магнитных полей. Экологическое значение этих факторов многогранно. Они непосредственно влияют на метаболизм гидробионтов, играют огромную роль в ориентации организмов, дают им информацию о времени и пространстве.

Для гидробионтов давление имеет значительно большее экологическое значение, чем для аэробиев, поскольку изменения давления в гидросфере выражены гораздо сильнее, чем на суше.

**Давление воды.** С продвижением вглубь давление воды быстро возрастает и в придонных слоях Мирового океана может превышать  $10^8$  Н/м<sup>2</sup>. Гидробионты, способные существовать в широком диапазоне давлений, называются *эврибатными* (*bathus*—глубина), а не выдерживающие больших колебаний этого фактора — *стенобатными*. Помимо давления на вертикальное распределение гидробионтов могут влиять и другие факторы.

Какой-либо связи между сложностью организации гидробионтов и их отношением к изменениям давления нет. Реакция на его повышение сверх приспособительных возможностей у всех водных животных сходна: сначала возбуждение и усиление двигательной активности, затем тетанус, инактивация и гибель. У многих гидробионтов повышение давления вызывает положительный фототаксис, снижение — отрицательный. Величина давления сигнализирует животным глубину их нахождения, и они выбирают ее, подчиняясь барическому градиенту. Особенно важно это для гидробионтов, регулярно совершающих значительные вертикальные миграции.

Личинки многих донных беспозвоночных реагируют на повышение давления всплыванием, а на более поздних стадиях развития — оседанием, что способствует расселению малоподвижных или неподвижных бентосных животных. Установлено, что сжимаемость многих гидробионтов на 15—40% выше, чем воды, и они всегда могут найти такую глубину, где окажутся в условиях устойчивой нейтральной плавучести (невесомости), позволяющей не затрачивать энергию на преодоление сил гравитации.

Гидростатическое давление влияет не только на распределение гидробионтов, но и на их метаболизм и состояние различных биологических структур. Действие давления усиливается с понижением температуры и максимально—в морских глубинах, где вода холоднее.

У глубоководных организмов вырабатываются различные биохимические адаптации, в какой-то мере нейтрализующие неблагоприятные последствия высоких давлений. В некоторых случаях синтезируются ферменты с меньшим объемом, чем у предшественников, и давление не только не тормозит, но даже ускоряет их образова-

ние. В других случаях требуемая скорость реакций обеспечивается за счет дополнительных энерготрат.

Органами восприятия гидростатического давления у гидробионтов обычно служат различные газовые камеры (плавательные пузыри рыб, газовые включения в цитоплазме простейших, воздухоносные полости в подошве некоторых медуз, в раковинах головоногих и брюхоногих моллюсков и др.). Изменение давления газа в камерах, воспринимаемое различными рецепторами, служит организмам датчиком глубины их нахождения и позволяет активно контролировать ее.

**Гидродинамика.** К ее основным элементам относятся течения, волнения и перемешивание вод. В реках течения связаны с наклоном русла, в озерах (особенно больших) и морях они вызываются другими причинами. По происхождению различают течения *градиентно-гравитационные*, *фрикционные*, *приливные* и *инерционные*. Среди первых в свою очередь выделяют *плотностные*, возникающие вследствие перераспределения полей плотности, *бароградиентные*, обуславливаемые перераспределением полей атмосферного давления, и *стоковые*, вызываемые притоком береговых вод, выпадением осадков, испарением и некоторыми другими причинами. Фрикционные течения определяются трением воздушных масс о водную поверхность, приливные — действием сил притяжения Луны и Солнца. К инерционным относятся течения, наблюдаемые после прекращения действия всех возбуждающих факторов. По траектории движения различают течения прямолинейные, криволинейные, циклонические и антициклонические. Круговые циклонические течения в северном полушарии направлены против движения часовой стрелки, антициклонические — по ее ходу (в южном полушарии — наоборот).

Траектория течений зависит не только от направления действия вызывающих их сил, но и от многих других причин — очертаний берегов, рельефа дна, глубины. Очень большое влияние на траекторию течений оказывают силы Кориолиса. Если поток движется с востока на запад, т. е. против направления вращения Земли, его линейная скорость снижается, центробежная сила уменьшается и поток смещается в сторону полюса. В обратном случае он смещается к экватору. Поэтому в северном полушарии все потоки долготного направления уклоняются по ходу движения вправо, в южном полушарии — влево.

По расположению различают течения поверхностные, глубинные, придонные, прибрежные и др., в зависимости от физико-химических особенностей — теплые, холодные, пресные, соленые, по степени устойчивости — постоянные, периодические и временные.

Среди различных форм перемешивания воды различают *турбулентное*, или *фрикционное*, вызываемое ветром, *конвективное*, связанное с погружением вглубь более плотных холодных и соленых вод (соответственно температурная и соленостная конвекция), и молекулярное. Роль последнего сравнительно невелика.

Для непроточных водоемов характерна *стратификация* воды — то или иное распределение слоев с разными гидрологическими характеристиками. Она может быть *устойчивой*, или *положительной*, когда плотность воды возрастает с глубиной, и *неустойчивой* — при обратном расположении. Чем сильнее выражен положительный градиент плотности, тем выше устойчивость слоев и слабее их перемешиваемость.

При отсутствии перемешивания водная толща становится неоднородной по вертикали. В ней под влиянием различных факторов возникает в той или иной форме выраженная *клинальность* (градиентность) гидрологических характеристик: плотности (*пикноклин*), температуры (*термоклин*), концентрации кислорода (*оксиклин*),

азота (*нитроклин*) и др. Известное значение для перемешивания воды имеет передвижение гидробионтов в ее толще. Еще большую роль играет фильтрационная деятельность водных животных — моллюсков, ракообразных, иглокожих и др., которые за несколько дней способны пропускать через свои отсеживающие аппараты весь объем воды, в котором обитают.

Волнения воды в основном связаны с взаимодействием водных и воздушных масс, а в морских водоемах — и с приливно-отливными явлениями. Реже возникают сейсмические волны (*цунами*), достигающие огромной высоты и большой разрушительной силы.

Движение воды имеет для гидробионтов прямое и косвенное значение. В первом случае речь идет о переносе пелагических организмов в горизонтальном направлении, перемещении их по вертикали и вымывании бентосных форм из грунта. Косвенное влияние движения воды на гидробионтов сказывается через принос пищи и кислорода, унос метаболитов, выравнивание температурных и других гидрологических градиентов, а также через воздействие на формирование грунтов. В областях сильных придонных течений грунты более подвижны, содержат меньше тонких фракций, подвержены взмучиваниям; донные осадки здесь не накапливаются. Обратная картина наблюдается там, где течения слабы или их нет.

Движение воды гидробионты воспринимают с помощью различных рецепторов. Рыбы оценивают скорость и направление течения органами боковой линии, ракообразные — антеннами, моллюски — рецепторами в выростах мантии. У очень многих беспозвоночных есть виброрецепторы, воспринимающие колебания воды.

В пределах каждого водоема вода не однородна по своим физико-химическим характеристикам. Даже в сравнительно небольших водоемах водная толща состоит из отдельных *водных масс*. Водная масса — это некоторый сравнительно большой объем воды, формирующийся в определенных географических условиях бассейна или в самом водоеме, обладающий в течение каждой фазы гидрологического режима почти постоянными величинами и относительно равномерным распределением физических, химических и биологических характеристик, составляющих единый комплекс и распространяющихся как единое целое (Буторин, 1969). Даже перемещаясь в географических координатах (при наличии течений), водные массы устойчиво сохраняют свои гидрологические особенности и потому являются характерными биотопами пелагических организмов.

#### **4.2. Температура и освещенность**

Экологическое значение температуры исключительно велико, так как, с одной стороны, гидробионты весьма чувствительны к ее изменениям, а с другой — крайне разнообразны термические условия, в которых существуют водные организмы. Неодинаков температурный режим в водоемах разного типа и географического положения, в различные сезоны года и время суток.

Как экологический фактор температура влияет на географическое распространение и зональное распределение гидробионтов, на скорость и характер протекания различных жизненных процессов, а также может иметь сигнальное значение. Виды, адаптированные к существованию в широком температурном диапазоне (более 10 — 15°C), называются *эвритермными*, в узком — *стенотермными*. Последние могут быть теплолюбивыми, или *термофильными* и холодолюбивыми, или *криофильными*.

Адаптация пойкилотермных гидробионтов к изменчивости температурных условий в гидросфере идет по двум линиям: одна из них — выработка эвритермности, другая — выбор мест обитания с устойчивым температурным режимом или такая их смена, при которой организмы избегают воздействия крайних температур. Так, многие беспозвоночные и рыбы уходят осенью из охлаждающихся вод побережья в открытые зоны водоемов, а весной мигрируют в обратном направлении. С той же целью могут совершаться и вертикальные перемещения для нахождения оптимальных температурных условий на той или иной глубине.

Обычно морские организмы менее эвритермны, чем обитатели континентальных водоемов, где температурные колебания выражены резко.

Чем чаще и сильнее периодические изменения температуры в естественных местообитаниях гидробионтов, тем выше их устойчивость к холодным и тепловым повреждениям.

Большое экологическое значение температура имеет как фактор, влияющий на скорость протекания различных процессов, в частности дыхания, роста и развития. Повышение температуры до каких-то пределов обычно сопровождается ускорением всех процессов.

В ряде случаев с понижением температуры уровень обмена и скорость роста падают, но это часто объясняется не физико-химическими, а биологическими закономерностями. Например, зимой понижение обмена, когда пищи мало, предохраняет гидробионтов от истощения. Точно так же энергетически выгоднее снизить метаболизм после откорма у поверхности и последующего погружения в более холодные глубинные слои, где мигранты не питаются.

С изменением температуры наблюдаются существенные сдвиги в биохимическом составе гидробионтов, характере их метаболизма. Например, с похолоданием среди жирных кислот увеличивается доля моно- и полиненасыщенных, возрастает значение белка в процессах диссимиляции, меняется соотношение различных биохимических компонентов в теле.

### **4.3. Свет**

Большинству животных свет нужен для распознавания среды и ориентации движений; часто он имеет сигнальное значение, определяющее многие стороны поведения гидробионтов. Под контролем светового фактора происходят грандиозные миграции зоопланктона и многих рыб, когда каждые сутки миллиарды тонн живых организмов перемещаются на сотни метров с поверхности в глубину и обратно. В ряде случаев обнаружено непосредственное действие света на животных как фактора, влияющего на жизненно важные биохимические процессы, в частности на выработку некоторых витаминов.

У моллюсков-прудовиков недостаток освещенности вызывает снижение плодовитости. В очень большой степени зависит от света окраска гидробионтов, которая у ряда животных может даже меняться, обеспечивая маскировку на том или ином фоне.

На гидробионтов влияет не только сила света, но и его спектральный состав. Сильное воздействие на гидробионтов оказывает УФ-облучение.

Огромное значение имеет свет как источник Информации о среде, а также для ориентации движений. В связи с этим у гидробионтов хорошо развиты различные фоторецепторы. Многие морские формы способны к свечению, или *биолюминесценции*. На глубине более 700 м она свойственна подавляющему

большинству гидробионтов от простейших до рыб включительно. Биологическое значение биолюминесценции разнообразно: привлечение особей другого пола (многие полихеты), защита (светящаяся завеса многих каракатиц), подманивание добычи (некоторые рыбы). Способность многих организмов к биолюминесценции вызывает своеобразное явление *свечения моря*.

Восприятие света гидробионтами. У водных организмов фоторецепция развита несколько слабее, чем у наземных, в связи со сравнительно быстрым угасанием света в воде. По этой же причине гидробионты отличаются близорукостью. У большинства рыб ближняя граница резкого видения лежит в пределах от 0,1 м до 5 см, хотя их глаза могут фокусироваться на бесконечность. Еще более близоруки беспозвоночные. Очевидно, дальность видения в воде в связи с быстрым поглощением в ней света не имеет такого значения, как на суше. С другой стороны, близорукость полезна для распознавания мелких объектов, которыми очень часто питаются гидробионты. У глубоководных рыб с огромными, так называемыми *телескопическими* глазами способность к восприятию слабых световых раздражений еще выше. На глубинах более 6 км зрячие животные, по-видимому, отсутствуют. Зрительный индекс (отношение зрячих форм к общему числу видов) для населения океанов уменьшается с глубиной.

Свет, падающий на поверхность воды, частично отражаясь от нее, проникает в глубину, где поглощается и рассеивается молекулами воды, а также находящимися в ней частицами.

В соответствии с постепенным угасанием солнечного света по мере продвижения в глубь водоемов в них различают три зоны. Верхняя зона, где освещенность достаточна для обеспечения фотосинтеза растений, носит название *эвфотической*, далее простирается сумеречная, или *дисфотическая*, зона и еще глубже — *афотическая*, куда дневной свет не проникает.

#### **4.4. Звук, электричество и магнетизм**

В отличие от других рассмотренных выше факторов звук, электричество и магнетизм играют в жизни гидробионтов в основном сигнальную роль (средства общения, ориентации и оценки среды). Восприятие звука у водных животных развито относительно лучше, чем у наземных. Если свет в воде угасает во много раз быстрее, чем в воздухе, то звук, наоборот, быстрее и дальше распространяется в воде. Некоторые гидробионты могут улавливать инфразвуковые колебания, благодаря чему «слышат» звуки, возникающие от трения волн о воздух (8—13 Гц). Вследствие этого они (например, медузы) заранее узнают о приближении шторма и отплывают от берегов, где могли бы пострадать от ударов волн.

Известное значение в жизни гидробионтов имеют шумовые нагрузки, связанные с деятельностью человека — работой лодочных и корабельных моторов, турбин, подводным бурением, сейсморазведкой и др. Например, интенсивность дыхания креветки *Crangon crangon* при 32 дБ в условиях круглосуточного воздействия была приблизительно в 1,4 раза выше, чем у животных в звуконепроницаемых бассейнах. Одновременно снижались скорость дыхания, темп роста и доля яйценосных самок; привыкания не наблюдалось даже после месячного содержания животных в таких условиях (Lagardere, 1982).

Очевидно, весьма значительную, но пока еще малоизученную роль играют в жизни гидробионтов электрические и магнитные поля. В 1951 г. Г. Лиссман предсказал, а в

1958 г. открыл у водных животных электрорецепторы (ампулы Лоренцини, расположенные в боковой линии). Предсказание было основано на том, что практически любые процессы, происходящие в воде, генерируют электрические поля, распространяющиеся в проводящей среде на значительные расстояния. Электрические поля возникают в результате перемещения водных масс в геомагнитном поле Земли, при контакте этих же масс, различающихся по температуре, солености, содержанию кислорода и др. Электрические поля генерируются и гидробионтами. Как показали исследования на круглоротых и рыбах, их электрорецепторы обладают почти фантастической чувствительностью, воспринимая изменения в напряжении электрического поля. Благодаря такой высокой чувствительности электрорецепторов многие гидробионты способны воспринимать богатейшую информацию: в частности, различают особей своего вида и врагов, скорость и направление течений, температурные, солевые, газовые и другие градиенты, изменения солнечной активности, течение времени, а также улавливают сигналы, предшествующие аномальным природным явлениям. За 6—8, а иногда за 20—24 ч до наступления землетрясения рыбы (особенно японский и туркестанский сомики) становятся беспокойными, усиленно плавают, иногда выпрыгивают из воды, реагируя на его приближение в радиусе до 2 тыс. км, когда даже самые чувствительные сейсмографы не регистрируют каких-либо сигналов. Характерно, что в аквариумах, лишенных электрической связи с водоемом, поведение рыб утрачивает свое индикаторное значение, т. е. сигналы, свидетельствующие о приближении землетрясения, не воспринимаются электрорецепторами. В настоящее время эти рецепторы обнаружены примерно у 300 видов рыб.

Электрорецепция известна и для многих беспозвоночных, в том числе простейших.

Какие-либо рецепторы магнитного поля у водных животных неизвестны. Как известно, движение проводников в магнитном поле и его изменение вокруг проводников индуцирует в них возникновение электротока. Таким образом, гидробионты, имеющие электрорецепторы, могут опосредованно ориентироваться в магнитных полях. Особенно важное значение в этом отношении имеет геомагнитное поле. Периодические колебания магнитного поля Земли (повышение напряжения в периоды равноденствий и в полдни, изменение угла склонения на протяжении суток) служат гидробионтам хорошим датчиком времени.

Существует много данных о том, что рецепция напряженности и направления магнитного поля Земли имеет место при выборе рыбами миграционных путей. Способны ориентироваться в магнитном поле водоросль *Volvox*, моллюск *Nassarius* и некоторые другие организмы.

### **Вопросы для самоконтроля:**

- 1). Физико-химические явления в водоемах: давление воды и гидродинамика.
- 2). Физико-химические явления в водоемах: температура и освещенность воды.
- 3). Физико-химические явления в водоемах: звук, электричество и магнетизм.

### **Список литературы**

*Основная*



- 1. Буруковский, Р.Н.** Зоология беспозвоночных: *уч. пос.*/Р. Н. Буруковский – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 214 с.
- 2. Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134с.
- 3. Калайда, М.Л.** Гидробиология/ М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб. : Проспект Науки, 2013. – 192 с.
- 4. Ким, Н.Г.** Барьерная технология гидробионтов/ Н.Г. Ким. - СПб.: Проспект Науки, 2011. – 336 с.
- 5. Шапиро, Я.С.** Агробиология: *уч. пос.*/Я. С. Шапиро. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 288 с.

*Дополнительная*

- 1. Папина, Т. С.** Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. / Т.С. Папина. - Аналитический обзор. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2010. - 58 с.
- 2. Попов, П. А.** Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. / П.А. Попов. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2007. - 270 с.
- 3. Полищук, О.Н.** Основы экологии и природопользования: *уч. пос.*/О. Н. Полищук. – СПб.: Проспект Науки, 2011. – 144 с.

## Лекция 5 Водоёмы и их население

Водная оболочка Земли представлена *Мировым океаном, подземными водами и континентальными водоёмами*, в которых соответственно сконцентрировано около 1370, 60 и 0,23 млн. км<sup>3</sup> воды.

Население гидросферы по числу видов (около 250 тыс.) заметно уступает наземному. Одна из характерных особенностей— резкое преобладание зоомассы над фитомассой. Для растений, обитающих в толще воды, и для большинства планктонных животных свойственны малые размеры.

### 5. 1. Мировой океан и его население

Мировой океан принято подразделять на Тихий, Индийский, Атлантический и Северный Ледовитый *океаны* с их обособленными участками — *морями*. Среди морей различают *окраинные*, широко сообщающиеся с океаном (Баренцево, Карское и др.), и *внутренние*, почти со всех сторон окруженные сушей (Черное, Красное и др.). Средняя глубина Мирового океана 3710 м, максимальная — 11 022 м (Марианский желоб).

В своей периферической части воды Мирового океана покоятся на *шельфе*, или *материковой отмели*, с очень плавным понижением суши до глубины 200 м.

Далее до 3000 м довольно круто (4—14°) простирается спускающийся *материковый склон*, который завершается *материковым подножием*, граничащим с *ложем* океана (глубина от 4000 до 6000 м). Океанскими хребтами, отдельными возвышениями дна и цепочками гор ложе разделяется на отдельные *котловины*. Наиболее глубокие части океана заняты *глубоководными желобами*.

Площадь части океана, лежащей над шельфом, составляет примерно 7,6% от всей его акватории, находящейся над материковым склоном — 15,3 и над ложем — 77,1%. В области шельфа **бенталь** разделяется на три зоны. Выше уровня приливов расположена *супралитораль* — часть берега, увлажняемая заплесками и брызгами воды (*supra* — выше, *litus* — берег). Ниже лежит *литораль* — побережье, периодически заливаемое водой во время приливов и освобождающееся от нее во время отливов. Еще глубже находится *сублитораль* - проходит до нижней границы распространения донных фотосинтезирующих растений. Материковый склон занимает *батиаль*, а океаническое ложе — *абиссаль*, которая на глубинах свыше 6—7 км переходит в *ультраабиссаль*, или *гадаль* (*bathus* — глубокий, *abyssos* — бездна).

Водную **толщу** океана по вертикали и по горизонтали принято разделять на отдельные зоны. Верхний слой воды до глубины 200 м (нижняя граница сублиторали) получил название *эпипелагиали*, глубже лежащий слой (до нижней границы батииали) — *батипелагиали*. Далее следует *абиссопелагиаль*, простирающаяся от Нижней границы батииали до глубин 6—7 км, и *ультра- абиссопелагиаль*. В горизонтальном направлении Мировой океан делится на прибрежную, или *неритическую*, зону (*nerites* — прибрежный), лежащую над областью материковой отмели, и *океанскую*, которая находится над зонами батииали и абиссали.

**Условия жизни.** Для населения Мирового океана наиболее важны характер грунта и особенности водных масс — их движение, температура, освещенность и соленость.

**Грунты.** Дно океана сильно изрезано и имеет сложный рельеф и покрыто толстым слоем осадков. Грунты океанов подразделяют на *терригенные* и *пелагические*. Первые — различные материалы, приносимые с суши и являющиеся продуктами ее разрушения. Пелагические осадки образуются главным образом из трупов обитателей пелагиали и отчасти за счет тонких неорганических частиц. Терригенные, или

материковые, отложения занимают площадь 90 млн. км<sup>2</sup>, т. е. около 1/4 всей поверхности дна океана. Пелагические, или *океанические*, осадки покрывают более 3/4 всей поверхности океанического дна. Как правило, глубоководные грунты бедны органическим веществом, больше его в осадках неглубоких морей. Пелагические грунты на глубинах до 4—5 км содержат CaCO<sub>3</sub>, который глубже из-за высокой растворимости извести отсутствует, и глубоководные осадки состоят из кремнезема.

Водные массы и гидродинамика. По вертикали океанские воды по температурным, соленостным и некоторым другим характеристикам разделяются на *поверхностные, промежуточные, глубинные и придонные*. Глубина залегания этих слоев зависит от особенностей циркуляции воды. *Поверхностные воды* из-за высокой перемешиваемости однородны, толщина их слоя заметно меняется по сезонам и в зависимости от географической широты района. Обычно за нижнюю границу поверхностных вод принимают глубину, на которой амплитуда годового хода температуры практически неразличима. В среднем она располагается на глубине 200—300 м. В широтном направлении поверхностные воды подразделяют на экваториальные, тропические, субполярные и полярные. Первые отличаются наиболее высокой температурой, пониженной соленостью и плотностью, сложной циркуляцией. Для тропических вод характерны высокая соленость и плотность. Субполярные воды в различных океанах довольно изменчивы по своим характеристикам. Полярные отличаются отрицательными температурами (—1,2—1,5°C), низкой соленостью (32,5—34,6‰), формируются выше арктического и антарктического фронтов.

*Промежуточные воды* залегают под поверхностными до глубины 1000—1200 м. Максимальной толщины их слой достигает в полярных областях и центральных областях антициклонических круговоротов, где преобладает опускание вод. В экваториальной зоне в центрах циклонических круговоротов, где происходит подъем вод, толщина слоя промежуточных вод уменьшается до 600—900 м.

*Глубинные воды* формируются в высоких широтах в результате смешения поверхностных и промежуточных вод. Они довольно однородны, простираются до глубин 3—4 тыс. м.

*Придонные воды* образуются вследствие опускания вышележащих вод главным образом в высоких широтах. Наиболее распространены в Мировом океане придонные антарктические воды.

Вся толща океанской воды находится в непрерывном движении, которое возбуждается термогалинными (нагревание, охлаждение, осадки, испарение) и механическими факторами (касательное напряжение ветра, атмосферное давление).

Помимо поверхностных течений, в Мировом океане существует сложнейшая система глубинных. Придонные воды, заполняющие глубины Мирового океана, в основном формируются на шельфе Антарктиды. Здесь в результате образования льда соленость воды повышается, и она (как более плотная) погружается на дно и движется к северу. Скорость глубинных течений может достигать 10—20 см/с. Вертикальные перемещения воды могут вызываться в результате изменения плотности расположенных друг над другом слоев воды. Каждому погружению водных масс соответствует компенсационное поднятие воды в другом месте. Различают районы *конвергенций* (схождений) водных масс, где поверхностные воды погружаются в глубину, и районы *дивергенций* (расхождений), где глубинные воды выходят на поверхность. Огромное значение в гидродинамике океана имеют волны, в основном вызываемые ветром и действием приливных сил.

**Температура.** На глубинах температура океанской воды постоянна в течение всего года и лежит в пределах от  $-1,7$  до  $-2^{\circ}\text{C}$ . Температура поверхностных океанских вод зависит от их географического положения, сезона, характера течений и многих других факторов. В связи с разной прогреваемостью поверхностных вод Мирового океана в нем различают (до глубины 400—500 м) пять температурных зон: *тропическую, бореальную, мотальную* и две *приполярные* — *арктическую* и *антарктическую*.

**Свет.** Освещенность океанской воды быстро снижается по мере удаления от поверхности и обычно уже на глубине 100—200 м недостаточна для существования растений. Глубина проникновения света в воду зависит от ее прозрачности, а она определяется количеством взвешенных организмов и продуктов их распада. Поэтому наиболее прозрачны океанские воды там, где они бедны планктоном. Последние признаки света исчезают в открытом океане на глубине 1—1,6 тыс. м.

**Соленость.** В океанской воде соленость очень устойчива и обычно колеблется в пределах 34—35‰ (промилль). Соотношение солей в океанской воде отличается большим постоянством. В наибольшем количестве представлены хлориды (88,8%), сульфаты (10,8%) и карбонаты (0,4%). Во внутренних морях солевой состав может заметно изменяться за счет поступления пресных вод.

## 5.2. Общая характеристика населения

Мировой океан населён древней флорой и фауной, в состав которых входят свыше 200 тыс. видов. Из 63 классов животных в Мировом океане представлены 52, только морскими формами — 31. Несколько иная картина наблюдается у растений: из 33 классов в морях встречаются 10 и только в морях — 5. Это связано с тем, что в водной среде растения могут успешно существовать во взвешенном состоянии без развития опорных и проводящих элементов. В результате эволюционное развитие растений в море практически остановилось на уровне водорослей. К основным представителям морской флоры относятся одноклеточные водоросли (диатомовые, перидиниевые, кокколитофорида), в значительно меньшей степени — многоклеточные, обитающие в прибрежной зоне (зеленые, бурые и красные), и грибы. Во всей толще воды и донных отложениях в огромном количестве встречаются бактерии и актиномицеты. Из животных наибольшее значение имеют фораминиферы и радиолярии, губки, кишечнополостные; полихеты, моллюски, мшанки, ракообразные, иглокожие, рыбы и млекопитающие.

**Население пелагиали.** Флора морской пелагиали представлена преимущественно бактериями, грибами и водорослями, фауна в основном складывается из простейших, кишечнополостных, ракообразных, головоногих моллюсков, рыб и млекопитающих. Помимо этого, здесь находится огромное количество личинок донных беспозвоночных. Бактерии встречаются на всех глубинах от поверхности до дна, но основная масса их сосредоточена в эвфотическом слое (16—91%); глубже количество бактерий уменьшается.

Грибы в основном представлены фикомицетами, значительно реже встречаются архимицеты, аскомицеты и базидиомицеты. Водоросли в видовом отношении наиболее богато представлены перидиниевыми и диатомовыми, меньшее значение имеют золотистые, зеленые и синезеленые.

Основная масса фитопланктона морей сосредоточена в слое 100—150 м. В умеренных и высоких широтах наибольшая концентрация водорослей наблюдается в

самом поверхностном слое, а в тропических, где солнечная радиация выше, — на глубине 10—15 м.

Зоопланктон по своему видовому составу в наибольшей степени представлен ракообразными, в первую очередь веслоногими, мизидами, амфиподами, ветвистоусыми, ракушковыми и личинками усонюгих. Из 1200 видов морских планктонных ракообразных к веслоногим относятся 750. Большим числом видов представлены в морском планктоне простейшие, среди которых лидируют жгутиковые и некоторые инфузории. Примерно 4000 видов включают кишечнополостные, к наиболее массовым формам которых относятся ряд медуз, сифонофор и особенно гребневиков. Планктонных моллюсков насчитывается около 180 видов, преимущественно представленных крылоногими.

Средняя биомасса зоопланктона в разных районах Мирового океана колеблется в очень широких пределах. Так, в верхнем 100-метровом слое воды она достигает 500 мг/м<sup>3</sup> и более. Суммарное количество зоопланктона в Мировом океане оценивается в 21,5 млрд. т, из которых около 9 млрд. т приходится на долю макропланктона, 12 млрд. т представлено мезопланктоном и 1 млрд. т — микропланктоном.

К нектону в основном относятся рыбы, млекопитающие, головоногие моллюски и высшие раки. Обитающие в море рыбы относятся к *морским* — живущим только в море, *проходным* — как правило, откармливающимся в море и нерестящимся в реках, и к *полупроходным* — обитающим в прибрежье морей и размножающимся в низовьях рек. Из морских рыб в северном полушарии наиболее многочисленны сельдевые (сельдь, сардина, мойва, кильки, хамса), на втором месте стоят тресковые (треска, пикша, сайда, навага, хек, минтай), на третьем—окунеобразные (скумбрия, тунцы, морской окунь, ставриды). Проходные рыбы наиболее богато представлены лососевыми и осетровыми.

Из водных млекопитающих наибольшее значение в нектоне морей имеют китообразные (усатые киты, дельфины и косатки). Очень многочисленны в морях ластоногие, из которых в Тихом океане обитают ушастые тюлени, а в арктических морях северного и южного полушарий — настоящие тюлени.

Головоногие моллюски представлены в нектоне преимущественно кальмарами

Среди ракообразных наиболее многочисленны креветки.

Нейстон представлен сравнительно небольшим числом форм, обитающих на поверхностной пленке (*эпинейстон*) и значительно богаче в приповерхностном слое воды (*гипонейстон*). Для эпинейстона наиболее характерны полужесткокрылые полностью утратившие способность к полету. Эти насекомые легко и быстро передвигаются на сильно удлинённых, широко расставленных ногах по поверхностной пленке, образуя большие стайные скопления не только в прибрежьях, но и в открытом океане. К гипонейстону относятся ряд колониальных радиолярий, рачки понтеллиды, сальпы, сагитты. В большом количестве в приповерхностном слое воды концентрируются яйца полихет, икра рыб, науплиальные и копеподитные стадии ряда веслоногих рачков, личинки многих рыб.

Плейстон в основном представлен сифонофорами хондрофорами, которые образуют огромные «стайные» скопления.

**Население бентали.** Донная флора в основном состоит из бактерий, грибов, водорослей и некоторых цветковых растений. В фауне преобладают простейшие, черви, высшие ракообразные, брюхоногие и двустворчатые моллюски, иглокожие.

Бактериобентос встречается на всех глубинах, хотя на мелководье он значительно богаче. С продвижением в глубь донных отложений численность бактерий быстро снижается.

Грибы преимущественно представлены фикомицетами, Их количество обычно достигает нескольких десятков тысяч в 1 г грунта.

Фитобентос в основном состоит из бурых, красных и зеленых водорослей, а также некоторых цветковых растений. По частоте встречаемости и массовости в фитобентосе первое место занимают бурые водоросли, на втором — красные, на третьем — зеленые.

Зообентос в наибольшей степени представлен кораллами, полихетами, брюхоногими и двустворчатыми моллюсками, высшими ракообразными и иглокожими. Меньшую роль в нем играют губки, гидроидные полипы, различные червеобразные.

**Население опресненных морей.** Во многих окраинных и внутренних морях соленость заметно понижена, в связи с чем изменяется характер населения. В этих морях наблюдается уменьшение видового богатства фауны и флоры, выраженное тем сильнее, чем значительнее степень опреснения воды. Например, в Северном море (35‰) насчитывается 1500 видов кишечнорастных, червей, моллюсков, членистоногих, иглокожих и позвоночных, в Бельте (20‰) — 436, в Финском заливе (соленость до 6‰) — всего 52 вида. Флора по сравнению с фауной по мере опреснения вод обедняется не так сильно. Максимальное обеднение фауны наблюдается при снижении солености до 7—5‰ — критической для морских и пресноводных форм.

В крайних условиях солености часто снижается не только конечный размер гидробионтов, но и темп их роста. С ухудшением условий существования при переходе в пресную воду связано, очевидно, и снижение плодовитости гидробионтов.

Континентальные водоемы, расположенные в углублениях суши, могут быть естественными и искусственными. Первые в основном представлены реками, озерами и болотами, вторые — каналами, водохранилищами и прудами. В большинстве континентальные водоемы пресные, реже бывают солоноватыми или солеными.

**Реки.** Реки представляют собой водоемы, водная масса которых перемещается от истока к устью вследствие разницы их положения над уровнем моря, т. е. под влиянием силы тяжести.

Реки, выносящие свои воды в океаны, моря или озера, называют *главными*, а впадающие в них — *притоками*. Реки обычно текут в узких понижениях — *долинах*.

В направлении от истока к устью различают *верхнее, среднее и нижнее течение* реки. Устья рек, впадающих в море, образуют или обширные мелководья, называемые *дельтами*, или узкие морские заливы — *эстуарии*.

Условия жизни. Наибольшее значение для обитателей рек среди абиотических факторов имеют уровенный и паводковый режим, скорость течения, прозрачность, температура и солевой состав воды, а для обитателей дна — и характер грунтов.

Уровенный режим определяется соотношением поступления и расхода воды. Питание рек может быть дождевым, снеговым, ледниковым и подземным. В большинстве случаев питание смешанное. Уровень воды во время паводков может подниматься на 10—15 м.

Скорость течения реки зависит от уклона ложа - с продвижением от истока к устью скорость течения постепенно затухает.

Температура зависит от характера питания реки, климата района, где она протекает, и различных гидрологических особенностей. Сезонные колебания температуры в реках лежат в диапазоне 0—30° С, суточные достигают 8—10° в истоках горных рек и всего 1—1,2° в равнинных типа Волги и Оки.

Прозрачность. Свет быстро угасает в речной воде, если в ней много взвешенного материала, и доходит до дна, когда прозрачность достаточно высока. Прозрачность до дна наблюдается в горных реках, протекающих по неразмываемым породам и бедных планктоном.

Солевой состав воды. Речные воды делят на *гидрокарбонатные, сульфатные и хлоридные*, обозначаемые как классы символами С, S и С1. В пределах каждого класса выделяют три группы по эквивалентному преобладанию ионов кальция, магния или суммы натрия и калия, а в каждой группе — три типа по соотношению жесткости и щелочности. Большинство рек РФ относится к гидрокарбонатному классу, реже — к сульфатному и совсем редко — к хлоридному. Вода рек гидрокарбонатного класса обычно слабо минерализована (как правило, до 0,2‰). В реках хлоридного типа соленость повышается до 19‰. Минерализация воды сильно меняется по сезонам года, заметно снижаясь во время паводков. За счет разбавления вод слабо минерализованными паводковыми может даже меняться принадлежность реки к тому или иному классу.

Газовый режим рек, лишенных ледяного покрова, обычно благоприятен для жизни. С момента ледостава концентрация кислорода в воде постепенно падает и ее минимум наблюдается перед ледоходом. В зимнее время в реках с высокой окисляемостью воды, когда поступление кислорода из атмосферы практически исключается, газовый режим резко ухудшается и нередко наблюдаются заморы. Углекислоты в речной воде летом очень немного, зимой ее концентрация заметно возрастает, особенно в реках с высокой окисляемостью воды. Сероводород в речных водах практически отсутствует, если они несильно загрязнены бытовыми и промышленными стоками.

Население рек. Характеризуется значительным видовым разнообразием. Планктон рек, или реопланктон. Видовое разнообразие реопланктона обычно возрастает с продвижением от истоков к устью реки. Важнейшее значение в реопланктоне имеют бактерии, численность которых в равнинных участках рек обычно колеблется от нескольких сотен тысяч до нескольких миллионов экземпляров в 1 мл.

Среди планктонных водорослей наиболее богаты видами диатомовые и зеленые, далее следуют синезеленые и эвгленовые, золотистые, пирофитовые и желтозеленые.

Среди планктонных животных наиболее многочисленны инфузории, количество которых достигает, например, в Волге 0,5—1 тыс. экз./л. Крайне разнообразны и обильны по численности бесцветные жгутиконосцы. Вследствие поступательного и турбулентного характера движения воды планктон в реках распределяется обычно довольно равномерно как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Количество планктона в реках на протяжении года сильно меняется, падая до минимума зимой.

Бентос преимущественно представлен животными; донные растения обильны только в реках с прозрачной водой. Образование прибрежных зарослей тормозится размыванием берегов, а также колебаниями уровня, вследствие которых растения часто оказываются вне воды и погибают. Наибольшее значение в бентосе рек имеют лито-, псаммо- и пелореофильные формы.

К литореофилам в наших реках относятся многие водоросли, мох *Fontinalis*, губки и мшанки, ресничные черви, олигохеты и пиявки, личинки ручейников, поденок,

веснянок, хирономид и других насекомых, моллюски *Dreissena polymorpha*. Псаммореофилы представлены обычно мелкими, реже среднего размера организмами — бактериями, водорослями, простейшими, коловратками, нематодами, олигохетами, высшими ракообразными, некоторыми моллюсками. Из пелореофилов наиболее обычны бактерии, диатомовые и зеленые водоросли, простейшие, олигохеты, многие двустворчатые и брюхоногие моллюски.

Нектон в основном представлен рыбами. Из жилых рыб в реках РФ наиболее характерны стерлядь, форель, лещ, густера, щука, судак, налим, окунь, из проходных — белуга, осетр, севрюга, семга, дальневосточные лососи, из полупроходных — вобла, тарань, усач и др.

**Озера.** Озера представляют собой различной величины и формы котловины, заполненные водой. По происхождению различают озера *тектонические*, образовавшиеся в результате сдвигов и разломов в земной коре (Байкал, Телецкое, и др.), *реликтовые*, отделившиеся от моря после поднятия суши, *ледниковые*, возникшие при отступлении ледников (многочисленные озера Скандинавии, Карелии и др.), *провальные*, *вулканические* или др., смотря по тому, действием каких агентов образована их котловина. Для зоны вечной мерзлоты характерны *термокарстовые озера*, образующиеся в результате протаивания льда. В долинах рек многочисленны *пойменные* озера — отшнуровавшиеся участки бывшего русла. У морских побережий встречаются озеровидные водоемы — *лагуны* и *лиманы*. Первые из них — отшнуровавшиеся морские заливы, вторые возникают в результате запруживания рек песчаными косами. По характеру водного питания различают озера *бессточные*, получающие воду ключей и атмосферных осадков, *сточные* — с тем же характером питания, что и предыдущие, но имеющие сток, *проточные*, или *речные*, с притоком и стоком, и *устьевые*, имеющие приток, но лишенные стока.

Котловина озера обычно образована *подводной террасой*, которая характеризуется постепенным слабым понижением суши, далее следует *свал* с более крутым углом понижения и переходящий в *котел*, который занимает большую часть озерного дна. Соответственно перечисленным участкам в озерной бентали принято выделять *литораль* — прибрежное мелководье, *сублитораль*, которая простирается до нижней границы распространения донной растительности, и *профундаль*, охватывающую остальную площадь озерного дна (имеется только в глубоких озерах). По вертикали водная масса озер разделяется на верхний слой — *эпилимнион*, в котором температура испытывает резкие сезонные и суточные колебания, нижний, или *гиполимнион*, где температура на протяжении года меняется слабо, и промежуточный, или *металимнион*. По биологической классификации пресноводные озера подразделяют на *эвтрофные*, *мезо-*, *олиго-* и *бистрофные* (trophos — пища). К эвтрофным (высококормным) относятся неглубокие (до 10—15 м) равнинные озера с обильным поступлением биогенов. Летом в них в массовом количестве развивается фитопланктон (в частности, синезеленые) и, соответственно, обильны бактерио- и зоопланктон, зообентос и рыбы. Грунты илистые, прозрачность воды низкая, ее цвет — от зеленого до буро-зеленого.

Олиготрофные озера характеризуются слабым поступлением биогенов, поэтому фитопланктона в них мало и соответственно количественно бедны бактерио- и зоопланктон, зообентос и рыбы. Обычно они расположены на кристаллических породах, глубокие (свыше 30 м). Прозрачность воды высокая, донные отложения бедны органикой.

К мезотрофным относятся озера, занимающие промежуточное положение между олиго- и эвтрофными озерами.



Дистрофные (недостаточно кормные) озера представляют собой неглубокие водоемы, часто заболоченные, с торфянистыми отложениями на дне. Планктон и бентос очень бедны, часто они безрыбны.

**Условия жизни.** К ведущим факторам абиотической среды в озерах относятся движение воды, температура, свет, растворенные в воде вещества и характер грунтов.

Движение воды может проявляться в форме течений, волнений, турбулентного перемешивания.

Температурный режим озер зависит от их географического положения и особенностей вертикальной циркуляции вод.

Свет проникает на значительную глубину только в олиготрофных озерах, прозрачность воды которых может достигать 40 м. Обычно прозрачность воды в озерах редко превышает 2—3 м и свет поглощается в самом поверхностном слое. Подавляющее большинство озер относится к *пресным*. В зависимости от состава солей различают *хлоридные*, *содовые* и *серные* озера. Осолонение озер может ослабевать или усиливаться в связи с колебаниями климата и условий водообмена.

Озерные грунты делятся на *автохтонные* и *аллохтонные*. Первые образуются в самом озере в результате отложения на дне продуктов разрушения берегов и остатков отмирающих организмов.

**Население.** Организмы, обитающие в озерах, называются *лимнобионтами*. По видовому составу и обилию население озер сильно варьирует в зависимости от их географического положения, происхождения; особенностей строения котловины и гидрологического режима.

Планктон представлен бактериями, из грибов наиболее многочисленны дрожжевые, по видовому разнообразию преобладают фикомицеты.

Зоопланктон озер в основном состоит из бесцветных жгутиковых, инфузорий, коловраток, ветвистоусых и веслоногих рачков.

Бентос. В озерах средней полосы фитобентос обычно развивается в литорали и исчезает на глубине 4—5 м. У самого берега до 1—2 м глубины произрастают надводные растения — тростник, камыш, ежеголовник, рогоз и некоторые другие. Далее следует пояс растений с плавающими листьями, представленный кувшинками, кубышками, гречихой земноводной и другими; растут они на глубинах до 2—2,5 м. Еще глубже продвигаются растения погруженные, среди которых наиболее характерны для наших озер перистолистник и водяной лютик. Бактериобентос наиболее обилен на заиленных грунтах, в 1 г которых может быть несколько миллиардов бактерий, меньше их на песчаных и каменистых грунтах

Зообентос озер представлен личинками насекомых, в частности хирономид, ручейников, а также моллюсками, веслоногими рачками, водяными клещами, губками, пиявками.

Нектон представлен почти исключительно рыбами; в больших озерах, таких, как Байкал или Ладожское, обитает несколько видов тюленей. Ихтиофауна озер в основном представлена жилыми, озерно-речными и проходными рыбами. Северные и высокогорные озера нашей страны богаты лососевыми рыбами, в южных районах наиболее обычны карповые.

**Болота.** Представляют собой неглубокие скопления воды, частично или полностью закрытые сверху растительностью. Болото — нечто переходное между водой и сушей, причем границу между заболоченными водами и заболоченной сушей провести невозможно. Характерный и обязательный признак болот — образование торфа из отмирающего мха и других гидрофильных растений. По характеру водного питания,

условиям залегания и составу растительности болота подразделяют на *низинные*, или *эвтрофные*, *верховые*, или *олиготрофные*, и *переходные*, или *мезотрофные*. Низинные болота располагаются в понижениях рельефа, поверхность их вогнутая или плоская, в питании основную роль играют грунтовые воды, речные разливы, поверхностный сток и атмосферные осадки. Верховые болота находятся на повышенных формах рельефа, имеют выпуклую поверхность, питаются атмосферными осадками. Переходные болота по рассматриваемым признакам занимают промежуточное положение.

Население болот отличается бедностью как по видовому составу, так и в количественном отношении. Отрицательное значение имеют обилие в воде гуминовых веществ, низкая концентрация кислорода, повышенная кислотность.

**Искусственные водоемы.** Среди водоемов, сооружаемых человеком, наибольшее значение имеют водохранилища, пруды, судоходные и оросительные каналы.

**Водохранилища.** К ним относят крупные водоемы с замедленным водообменом, уровенный режим которых искусственно изменен и постоянно регулируется в целях накопления и последующего использования запасов воды. По происхождению наиболее обычны водохранилища *речные* (Волгоградское, Киевское и др.), *озерные* (Байкальское, Онежское и др.) и *наливные*. По конфигурации различают водохранилища вытянутые — *долинные* и более широкие — *озерообразные*; по высоте расположения — *равнинные*, *предгорные* и *горные*.

Планктон сформировавшихся водохранилищ состоит в основном из бактерий, синезеленых, диатомовых и зеленых водорослей, инфузорий, коловраток и ракообразных. Богатство фитопланктона в водохранилищах в сильной мере зависит от степени мутности поступающей воды и быстроты ее осветления. В верховьях водохранилищ, где мутность воды значительна, фитопланктона меньше.

Зоопланктон водохранилищ преимущественно представлен бесцветными жгутиковыми, инфузориями, коловратками, ветвистоусыми и веслоногими рачками.

Бентос и перифитон обильны в водохранилищах, образованных на реках с прозрачной водой, и значительно беднее, когда вода мутная и дно засыпается осадками в результате выпадения минеральной взвеси.

Нектон практически представлен только рыбами.

**Пруды.** Сооружаются для рыборазведения, водоснабжения населенных пунктов, полива полей, водопоя скота и ряда других целей.

Пруды могут быть *плотинными*, образующимися в результате запруживания рек и оврагов; *копаными*, питающимися атмосферными осадками, а также грунтовыми водами, и *наливными*, наполняемыми водой через специальные каналы из рек и ручьев. Во всех случаях пруды — это мелкие водоемы с небольшой площадью водного зеркала, часто спускаемые на зиму. Вследствие мелководности вода в прудах сильно перемешивается ветром, взмучивание грунта резко снижает ее прозрачность, ограничивая проникновение солнечной радиации вглубь. Поэтому несмотря на мелководность в летнее время температура у поверхности часто на несколько градусов выше, чем у дна. Население прудов отличается видовым однообразием, хотя по своей численности и биомассе оно часто богаче озерного.

**Каналы и водоемы оросительной системы.** Их сооружают в связи с перераспределением стока рек, для орошения, судоходства, транспорта питьевой воды и других целей. Население каналов оказывает огромное влияние на качество воды и, кроме того, может существенно менять водопропускную способность каналов и их судоходные качества (зарастание тростником, камышом, рогозом и др.).

Из разнообразных водоемов оросительной системы наибольшее значение имеют чеки рисовых полей, в которых вода удерживается земляными валиками высотой 30—40 см. Глубина воды в чеках обычно не превышает 12—15 см и задерживается в них на период вегетации риса. Характерная черта чек — незначительность и равенство глубины, высокая прогреваемость воды в жаркое время суток и быстрое охлаждение ночью, так что перепады температуры достигают иногда 20—25°C и более. Крайне неустойчив и кислородный режим. Фототрофный планктон рисовых чек в основном представлен диатомовыми и синезелеными водорослями. На стеблях риса в большом количестве развиваются нитчатые водоросли, они же покрывают и дно чек. Зоопланктон в основном состоит из веслоногих, ветвистоусых и ракушковых рачков, коловраток, инфузорий. Бентофауна значительно беднее (инфузории, олигохеты, моллюски, личинки насекомых), богаче представлен зооперифитон. Многие личинки хирономид, типулид и ручейников, а также листоногий рачок щитень вредят посевам риса, поедая его всходы и подкапывая корешки. Иногда чеки могут становиться местами выплода кровососущих насекомых, в частности малярийных комаров. Во многих странах рисовые чеки дополнительно используются для выращивания рыбы и промысловых ракообразных, поскольку обладают высокой биологической продуктивностью.

### 5.3. Подземные воды и их население

В жидкой фазе вода представлена в грунтах гигроскопической, пленочной, капиллярной и гравитационной (свободной). Свободная вода заполняет крупные капилляры и другие пустоты в породах и таким образом на различных глубинах формируются *водоносные горизонты*. Каждый такой горизонт подстилается водоупорным слоем. Гравитационные воды горизонта залегающего на первом водоупорном слое, называются *грунтовыми*, а находящегося между двумя водоупорными слоями — *межпластовыми*. Грунтовые воды — безнапорные, межпластовые — могут быть безнапорными или напорными; в последнем случае они называются *артезианскими*. Из подземных вод наибольшее значение в качестве биотопа гидробионтов имеют грунтовые воды. К ним относятся *пещерные*, *фреатические* и *интерстициальные*. Пещерные заполняют крупные пустоты в земной коре. Фреатические воды заполняют трещины и капилляры глубоких слоев земли, а интерстициальные — капилляры между частицами поверхностных песчаных отложений. Распространены грунтовые воды на той или иной глубине почти повсеместно.

Обитателей подземных вод называют *троглобионтами*. Население артезианских вод к настоящему времени изучено очень слабо. Из грунтовых вод в гидробиологическом отношении более обследованы пещерные и интерстициальные.

**Пещерные воды.** В результате растворения известняков, гипса и некоторых других горных пород в их толще возникают пустоты — пещеры, которые часто заполняет вода. Иногда она образует на дне пещер лужи или целые озера, в других случаях возникают потоки — подземные ручьи и реки. Питаются они за счет других грунтовых вод или атмосферных осадков, проникающих сквозь почву.

Специфические условия, которые определяют своеобразие населения пещерных вод, — отсутствие света и сравнительно постоянная низкая температура. Свет в пещерах есть только вблизи входа и обычно совершенно исчезает через несколько десятков метров. Температура пещерных вод почти постоянна на протяжении года, если они находятся в пустотах, слабо сообщающихся с атмосферным воздухом. Если пещеры хорошо вентилируются, температура их воды колеблется по сезонам, но не

столь значительно, как на поверхности. Не прогреваемые солнцем пещерные воды, как правило, отличаются низкой температурой. Только в очень глубоких пещерах в связи с повышением температуры Земли (примерно 1°C на 30 м глубины) водоемы могут быть теплыми.

Солевой состав подземных вод обычно отличается высокой концентрацией ионов кальция и магния, т. е. повышенной жесткостью. В водоемах Кутаисских пещер содержание кальция достигает 211 мг/л, в колодцах Саратова — 616 мг/л. Если пещерные ходы находятся в песчаных или галечных отложениях, вода меньше минерализована. В засушливых районах Западной Сибири и Средней Азии нередко встречаются солевые пещерные воды. Газовый режим пещерных вод часто характеризуется пониженным содержанием кислорода, так как фотосинтетическая аэрация отсутствует, а проникновение газа из атмосферы нередко крайне ослаблено. Состав населения пещерных вод прежде всего зависит от степени их освещенности. В эвфотической зоне преобладают случайные вселенцы, *троглоксены*. Основной источник пищи здесь — растения и их остатки. В олигофотной зоне преобладают *троглофилы*, биомасса организмов здесь меньше, в значительном количестве развиваются синезеленые и бактерии. Обитатели афотической зоны — истинные троглобионты, для которых характерны стенотермность, представлены бактериями, простейшими, ракообразными, некоторыми моллюсками и амфибиями. Фауна состоит почти исключительно из первичноводных животных, среди которых очень много эндемичных видов. Наиболее разнообразны в видовом отношении веслоногие рачки *Harpacticoida* (более 120 видов), бокоплавы (более 100 видов) и креветки, сравнительно немногочисленны моллюски, единичными формами представлены коловратки, пиявки и полихеты.

Численность и биомасса пещерных животных незначительны, главным образом из-за отсутствия достаточного количества пищи, заносимой сюда с поверхности. Значительного обилия достигают здесь только бактерии, биомасса которых, например в некоторых пещерах Закавказья, составляет до 10—20% от общей массы грунта. Так как температура пещерных вод постоянна, периодичность в жизни их обитателей отсутствует. Размножаются они круглогодично, растут с постоянной интенсивностью и, в частности, на раковинах моллюсков нет годовых колец, столь характерных для наземных форм. Из-за отсутствия света пещерные жители лишены яркой окраски, которая у них, как правило, беловатая или желтоватая. Глаза у подавляющего большинства троглобионтов редуцированы, сильно развиты органы осязания и обоняния, конечности очень длинные. Движения троглобионтов медлительны, поскольку их рецепторы обладают малой дистантностью.

**Интерстициальные воды.** Встречаются не только в грунтах вблизи водоемов, но и на значительном удалении от них, например в пустынях Заволжья и Средней Азии. Ходы между отдельными песчинками могут быть заполнены соленой или пресной водой. Первый случай характерен для песков морских пляжей и донных осадков морей, второй — для прибрежий пресных водоемов и песков под их ложем. Существенно различаются между собой по физико-химическим условиям и своему населению поверхностные и глубинные интерстициальные воды. В поверхностных слоях песка температура грунтовой воды заметно меняется в течение дня и на протяжении года. Атмосферные осадки, просачиваясь сквозь песок, придают интерстициальным водам известную степень проточности, заметно влияют на их солевой состав и газовый режим. Чрезвычайно важен тот факт, что в поверхностный

слой песка на глубину нескольких сантиметров проникает солнечный свет, что дает возможность существовать здесь фотосинтезирующим растениям.

Глубинные интерстициальные воды, подобно пещерным, характеризуются высокой термостабильностью, низкими температурами, отсутствием света и часто высокой минерализацией. Среди них в качестве особого биотопа выделяют *гипореал* — слой песка под ложем рек и ручьев, заполненный просачивающейся сюда водой. Этот биотоп характеризуется отсутствием света, сравнительной устойчивостью термического режима. Вместе с тем здесь больше кислорода, выше проточность воды и благоприятнее условия питания. Население поверхностных интерстициальных вод, заполняющих пространства между песчинками, получило название *псаммона*. Типичный разрез песка, населенного *псаммонтами*, сверху представлен неокрашенным слоем, далее следуют зеленый, бурый, пепельный и неокрашенный слой. Толщина верхнего неокрашенного слоя колеблется от нескольких миллиметров до 15 см, зеленого — в пределах от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Основная масса псаммонтов сосредоточена в зеленом слое, где много фотосинтезирующих растений и благоприятны условия питания для животных. Из фотоавтотрофов в этом слое в значительных количествах присутствуют диатомовые, протококковые и синезеленые, что и обуславливает зеленую окраску песка. Из животных в зеленом слое наиболее распространены инфузории, коловратки, ресничные, круглые и малощетинковые черви, менее заселены другие горизонты песка.

В интерстициальной фауне песков речных пляжей чаще других встречаются нематоды, клещи, ракообразные и многоножки. В песках морских пляжей наиболее обычны турбеллярии, нематоды, гастротрихи, простейшие, архианнелиды и моллюски.

Состав населения глубинных интерстициальных вод зависит от их местонахождения. В гипореале оно представлено преимущественно ветвистоусыми, веслоногими и ракушковыми рачками, олигохетами, нематодами и инфузориями, в песках морского ложа многочисленны инфузории, нематоды и ракообразные, нередки асцидии и даже голотурии.

Один из важнейших факторов, определяющих условия существования населения интерстициальных вод, — гранулометрический состав песков. Там, где песчинки очень мелки и плотно прилегают друг к другу, условия для жизни сравнительно крупных организмов непригодны. С увеличением размера песчинок пространства между ними становятся больше, и животные получают возможность находиться и передвигаться в образующихся пустотах. Представители интерстициальной фауны отличаются малыми размерами (не более нескольких миллиметров), укороченными конечностями и червеобразным телом, что облегчает им передвижение в узких проходах между отдельными песчинками.

#### **Вопросы для самоконтроля:**

- 1) Мировой океан. Краткая характеристика.
- 2). Условия жизни в мировом океане.
- 3). Общая характеристика населения мирового океана.
- 4). Континентальные водоемы: реки, условия жизни гидробионтов. Население рек.
- 5). Озера. Краткая характеристика.

#### **Список литературы**

### *Основная*

- 1. Буруковский, Р.Н.** Зоология беспозвоночных: *уч. пос.*/Р. Н. Буруковский – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 214 с.
- 2. Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134с.
- 3. Калайда, М.Л.** Гидробиология/ М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб. : Проспект Науки, 2013. – 192 с.
- 4. Ким, Н.Г.** Барьерная технология гидробионтов/ Н.Г. Ким. - СПб.: Проспект Науки, 2011. – 336 с.
- 5. Шапиро, Я.С.** Агробиология: *уч. пос.*/Я. С. Шапиро. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 288 с.

### *Дополнительная*

- 1. Папина, Т. С.** Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. / Т.С. Папина. - Аналитический обзор. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2010. - 58 с.
- 2. Попов, П. А.** Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. / П.А. Попов. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2007. - 270 с.
- 3. Полищук, О.Н.** Основы экологии и природопользования: *уч. пос.*/О. Н. Полищук. – СПб.: Проспект Науки, 2011. – 144 с.

## Лекция 6

### Экологические основы жизнедеятельности гидробионтов

#### 6.1. Питание гидробионтов

В биосферном аспекте питание — один из основных процессов, благодаря которому осуществляется круговорот органических веществ на Земле.

Питание гидробионтов может быть автотрофным, гетеротрофным и миксотрофным. **Автотрофы** – организмы, способные синтезировать все необходимые для своей жизни вещества из неорганических соединений. Если синтез происходит посредством фотосинтеза – фототрофные организмы (бактерии), если хемосинтеза – хемотрофные.

**Гетеротрофы** – организмы, неспособные синтезировать все необходимые для своей жизнедеятельности соединения из неорганических веществ и использующие в качестве источника углерода и энергии готовые органические вещества.

**Миксотрофность** – способность автотрофных организмов в той или иной степени использовать для питания также готовые органические вещества.

Среди гетеротрофов различают *фаготрофов*, поедающих живые организмы или частицы органического вещества, и *сапрофитов (осмотрофов)*, которые в основном питаются осмотически, поглощая продукты разложения органических веществ и метаболиты других организмов.

Среди автотрофных бактерий различают *хемолито-*, *фотолито-* и *хемоорганавтотрофов*. Все они для построения тела в качестве источника углерода используют CO<sub>2</sub>, но различаются по способу добывания энергии. Хемолитоавтотрофы (нитрифицирующие, водородные, бесцветные серные, некоторые железоокисляющие бактерии) используют энергию окисления NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S или иных восстановленных веществ. Фотолитоавтотрофы (цианобактерии, зеленые, пурпурные и серные бактерии) утилизируют энергию солнечного света, хемоорганавтотрофы — энергию окисления метанола, оксалата и других органических веществ.

Гетеротрофные бактерии, среди которых различают *хемолито-*, *хемооргано-* и *фотоорганогетеротрофов*, для конструктивного обмена используют в основном углерод органических соединений. У хемолитогетеротрофов энергия черпается за счет окисления H<sub>2</sub>. Хемоорганогетеротрофы (большинство аэробных микроорганизмов, некоторые бесцветные серобактерии и др.) добывают энергию, окисляя различные органические вещества, фотоорганогетеротрофы (несерные пурпурные бактерии) используют энергию света.

Пищевые адаптации водных организмов, с одной стороны, направлены на добывание корма нужного качества, т. е. обуславливают выборочность, или элективность, питания; а с другой — обеспечивают определенный уровень интенсивности питания, т. е. добывания корма в нужных количествах и достаточно высокую степень его переваривания (усвоения).

Пищей гетеротрофным гидробионтам в основном служат живые или мертвые организмы, а также продукты их распада и жизнедеятельности. Пища прежде всего должна быть - полноценной по химическому составу, т. е. содержать все элементы и незаменимые соединения, в которых нуждается организм. Однако, содержание всех нужных химических компонентов в кормовом объекте еще не делает его полноценной

пищей: надо, чтобы организм мог усваивать находящиеся в нем химические вещества, т. е. достигалась перевариваемость, обеспечиваемая соответствующими ферментами.

В некоторых случаях пищевые объекты не используются вследствие энергетической невыгодности, т.е. если на добывание и переваривание пищи затрачивается больше энергии, чем ее содержится в усвоенном веществе, то потребление такого объекта биологически невыгодно.

Поэтому важно не только суммарное количество пищи, но и степень его агрегированности (скопления). Для оценки трофической обстановки в водоемах обычно используют понятия *кормовые ресурсы*, *кормовая база*, *кормность* и *обеспеченность кормом*. **Кормовые ресурсы водоема** — это вся совокупность организмов, продуктов их распада и других органических веществ, представляющих пищу для гидробионтов. **Кормовой базой** называют совокупность пищевых компонентов, используемых в той или иной степени той или иной группой организмов, т. е. некоторая часть кормовых ресурсов данного водоема. Оценка кормовой базы дают применительно к группам гидробионтов разного ранга, обитающих в каком-то конкретном водоеме или его части (например, кормовая база рыб Волги, кормовая база осетровых в Северном Каспии и т. п.). **Кормность** водоемов оценивается количеством пищевых компонентов, используемым потребителями, т. е. представляет собой утилизируемую часть кормовой базы. Кормность двух водоемов с одинаковой кормовой базой может быть неодинаковой по разным причинам, влияющим на ее использование (разная глубина закапывания организмов в грунт, их разная агрегированность и др.). Под **обеспеченностью кормом** понимают отношение количества пищи, потребляемой популяцией вида в данном водоеме, к количеству, нужному для полного удовлетворения пищевых потребностей.

**Кормовые ресурсы водоема.** Пищей гидробионтов могут служить живые организмы и органические вещества, растворенные в воде (РОВ), находящиеся во взвеси, на поверхности грунта и в его толще. РОВ примерно на 75% они представлены легкоусвояемыми компонентами и на 25% — трудноразлагаемыми соединениями (водный гумус). Фонд РОВ непрерывно пополняется прежде всего за счет их прижизненного выделения в воду различными гидробионтами, особенно водорослями.

Сравнительно невелико количество мертвого органического вещества, взвешенного в воде. Это вещество в значительной мере представлено хорошо усвояемым материалом и потому играет значительную роль в питании гидробионтов. Под взвешенным органическим веществом понимают детрит, в котором наряду с неживым компонентом в большом количестве содержатся бактерии — прекрасный корм для самых разных животных. Огромное количество органического вещества заключено в грунтах водоемов. В значительной части оно представлено трудноусвояемыми формами и, кроме того, в основном находится на глубинах, куда гидробионты не проникают, за исключением бактерий. Таким образом, органическое вещество грунта образует огромный, но слабо реализуемый трофический потенциал гидросферы. Живое органическое вещество (хотя его во много раз меньше, чем неживого), играет ведущую роль в питании гидробионтов. В основном оно представлено организмами планктона, бентоса и нектона. Особенно велика роль микроскопических водорослей и бактерий, обладающих исключительно высокими темпами размножения и воспроизводства биомассы.

**Кормовая база.** Состав пищи гидробионтов сильно различается в зависимости от того, какие питательные вещества данный организм может синтезировать и какие



должны поступать извне, какие вещества он переваривает и какие нет, какие объекты способен добывать и какие неспособен.

Растворенное органическое вещество (РОВ) в основном используется в пищу бактериями, грибами и при гетеротрофном питании водорослей. Среди животных та или иная способность к поглощению РОВ отмечена у представителей всех классов беспозвоночных, многих рыб и амфибий, особенно на ранних стадиях развития.

Твердое органическое вещество представлено главным образом в частицах детрита, взвешенных в воде и оседающих на грунт. Помимо органического вещества, в формировании детрита большая роль принадлежит минеральной взвеси. На частицах детрита концентрируется огромное количество бактерий, которые развиваются не только на поверхности, но и проникают вглубь. Пищевая ценность детрита в значительной мере связана с его происхождением, возрастом и содержанием в нем бактерий. Взвешенный детрит в той или иной степени используется гидробионтами-фильтраторами, отцеживающими пищу из воды, — многими коловратками, ракообразными, моллюсками, иглокожими, оболочниками, некоторыми рыбами и другими организмами. Детритом, осевшим на грунт, питаются многие представители пелагобентоса — личинки насекомых, моллюски и иглокожие, собирающие корм на поверхности грунта. Бактериями в той или иной степени питаются представители всех типов животных, но наибольшее значение они имеют в питании ракообразных и моллюсков, добывающих корм путем фильтрации воды.

Планктонными водорослями питаются многие корненожки, радиолярии, солнечники, многие моллюски (устрицы, мидии и другие фильтраторы), большинство низших ракообразных. Среди рыб к потребителям планктонных водорослей относятся тихоокеанская сардина, белый толстолобик и некоторые другие.

Фитобентос служит пищей для ряда ракообразных, иглокожих моллюсков, рыб, черепах, причем преимущественно потребляются водоросли, в то время как высшие растения обычно используются слабо. Из планктонных животных наибольшее значение в кормовой базе гидробионтов имеют простейшие, коловратки, веслоногие и ветвистоусые рачки, личинки многих донных животных, молодь рыб и другие нектонты. К основным компонентам кормовой бентофауны относятся олигохеты и полихеты, двустворчатые и брюхоногие моллюски, некоторые высшие ракообразные, червеобразные и личинки насекомых.

**Кормность и обеспеченность пищей.** При оценке кормности водоемов и условий питания гидробионтов нельзя использовать только данные о количестве имеющейся или образующейся пищи. Необходимо учитывать, что потребляющие животные и потребляемые организмы связаны взаимнопротиворечивыми отношениями добывания и избегания, которые проявляются в разнообразных формах адаптаций.

К ним относятся маскировка, укрытие, конституциональная защищенность.

*Маскировка* достигается приобретением сходства с окраской окружающей среды, дезинформацией о форме и положении тела, развитием прозрачности и некоторыми другими способами.

*Укрытие* обеспечивается заглублением в субстраты, использованием в качестве убежища пустых раковин, построением домиков, обитанием под защитой других организмов. Наиболее распространенный способ укрытия — закапывание в грунт, причем его глубина зависит от поисковой способности врагов.

*Конституциональная защита* обеспечивается большими размерами тела, крепостью и вооруженностью покровов, несъедобностью тканей, быстротой движения. Как правило, крупные диатомовые водоросли слабее выедаются рачками, чем мелкие,

высокотелость рыб часто спасает их от хищников, крупные моллюски используются рыбами реже мелких. Панцирные коловратки, снабженные острыми шипами, выедаются в значительно меньшей степени, чем беспанцирные.

Эффективно защищает от хищников большая скорость движения.

## 6.2. Способы добывания пищи

В подавляющем большинстве случаев питание водных животных происходит **экзогенно** и гораздо реже — **эндогенно**, когда пища не поступает из внешней среды. Для личинок многих беспозвоночных и рыб характерно смешанное питание, при котором в течение определенного времени молодь питается остатком желтка и путем захвата корма извне. **Эндогенное питание** происходит за счет использования веществ собственного тела. Оно регулярно осуществляется на протяжении жизненного цикла у многих гидробионтов, например во время зимовки, летней спячки, при некоторых типах миграций и в ряде других случаев физиологического выключения внешнего питания. Сходная картина наблюдается при отсутствии или недостатке корма. К моменту перерыва во внешнем питании гидробионты накапливают большое количество резервных веществ, в первую очередь жира, как наиболее энергоемкого, стабильного и нейтрального компонента тела. Как правило, животные, получающие пищу регулярно (например, фильтраторы), способны голодать меньший срок, чем питающиеся от случая к случаю.

Многие гидробионты нередко питаются эндогенно за счет **эндосимбионтов-автотрофов** (обычно зеленые и пиропитовые водоросли, цианобактерии, панцирные жгутиковые, хемосинтезирующие бактерии), поселяющихся в клетках или иных структурах своих хозяев. Такое своеобразное *симбиотрофное* питание встречается у ряда инфузорий и фораминифер, губок, гидроидов, сифонофор, сцифомедуз, кораллов, ресничных червей,

**Экзогенное питание гидробионтов** в основном носит голозойный характер, при котором корм добывается путем дифференцированного или недифференцированного захвата сравнительно крупных или относительно мелких объектов, которые подвергаются индивидуальной апробации.

Недифференцированный захват пищи на грунте и других твердых субстратах наблюдается у животных, заглатывающих грунт, собирающих детрит на дне или соскабливающих водорослевые и бактериальные обрастания на твердых субстратах. В толще воды этот вид захвата проявляется в форме *фильтрации* и *седиментации* пищевой взвеси. Фильтрация заключается в пропускании тока воды через отсеживающие устройства с последующим поеданием задержанного на них пищевого материала. Седиментация достигается созданием условий для оседания взвешенных частиц на те или иные поверхности. Очень часто фильтрация и седиментация комбинируются.

Дифференцированный захват пищевых объектов проявляется в форме *пастьбы* и *охоты*. Пастьба наблюдается при питании крупными растениями и малоподвижными животными, охота имеет место в отношении крупной подвижной добычи, по своим размерам иногда мало уступающей хищнику.

**Заглатывание грунта и собирание детрита.** Способность питаться грунтом с использованием находящихся в нем мертвого органического вещества, бактерий и других мелких организмов свойственна очень многим представителям бентоса. Собирают детрит на поверхности грунта многие животные, ведущие как подвижный, так и неподвижный образ жизни. С помощью щупалец или хоботков с реснитчатыми

бороздками организмы захватывают на поверхности грунта частицы детрита и транспортируют их к ротовому отверстию. Так питаются, например, полихеты, многие двустворчатые моллюски и др.

**Фильтрация.** Может быть пассивной и активной. В первом случае животные отфильтровывают пищу, приносимую естественным током воды. К ним относятся ручейник, морские лилии.

К активным фильтраторам относятся животные, которые сами прогоняют воду сквозь отцеживающий аппарат. Среди рыб к ним относятся атлантическая сельдь, каспийский пузанок, толстолобик, тюлька, ряпушка, снеток, укля и многие другие, отцеживающие пищу через жаберный аппарат. Очень многочисленны активные фильтраторы среди ракообразных, двустворчатых моллюсков. Многие черви, личинки комаров и т.д.

**Седиментация.** Осаждение пищевой взвеси свойственно многим простейшим, губкам, червям, моллюскам, личинкам, насекомым. Из простейших к седиментаторам относятся многие инфузории и жгутиковые.

**Пастьба.** Пастьба на скоплениях растительной пищи наблюдается главным образом у некоторых моллюсков, иглокожих, рыб и черепах. Прибрежные моллюски пасутся на крупных красных и бурых водорослях, питаются высшими растениями.

**Охота.** Осуществляется либо активным преследованием добычи, либо ее подкарауливанием, в соответствии с чем среди хищников различают *охотников* и *засадчиков*. Представители охотников — кашалоты, акулы, кальмары, хищные ракообразные, личинки многих насекомых. Подкарауливают добычу многие прикрепленные кишечнополостные, зарывающиеся в грунт рыбы, сидящие на скалах осьминоги. Некоторые засадчики подманивают к себе добычу.

В одних случаях хищники поедают предварительно обездвиженную жертву, убивая или оглушая ее, в других — добыча поедается без предварительного подавления ее активности. Например, тихоокеанский осьминог *Appolion* умерщвляет крабов, направляя на них из воронки ядовитую жидкость. Убив таким образом добычу, осьминог 20—30 мин не трогает ее, пока вода не смоет с нее яда. Многие рыбы убивают добычу разрядами электрического тока.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Питание гидробионтов. Пища гидробионтов. Понятия «кормовые ресурсы», «кормовая база», «кормность», «обеспеченность кормом».
- 2) Способы добывания пищи.

### Список литературы

#### Основная

1. Буруковский, Р.Н. Зоология беспозвоночных: уч. пос./Р. Н. Буруковский – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 214 с.
2. Березина, Н.А. Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134с.
3. Калайда, М.Л. Гидробиология/ М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб. : Проспект Науки, 2013. – 192 с.
4. Ким, Н.Г. Барьерная технология гидробионтов/ Н.Г. Ким. - СПб.: Проспект Науки, 2011. – 336 с.

**5. Шапиро, Я.С.** Агробиология: *уч. пос./Я. С. Шапиро.* – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 288 с.

*Дополнительная*

**1. Папина, Т. С.** Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. / Т.С. Папина. - Аналитический обзор. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2010. - 58 с.

**2. Попов, П. А.** Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. / П.А. Попов. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2007. - 270 с.

**3. Полищук, О.Н.** Основы экологии и природопользования: *уч. пос./О. Н. Полищук.* – СПб.: Проспект Науки, 2011. – 144 с.

## Лекция 7

### 7.1. Спектры питания

Под спектром питания понимается компонентный состав пищи, который, с одной стороны, характеризуется определенным ассортиментом потребляемых кормов, а с другой — той пропорцией, в какой они представлены количественно. Спектры питания животных весьма изменчивы, определяются сменой пищевых потребностей растущих организмов, а также изменчивостью кормовой базы во времени и пространстве. В соответствии с этим различают *возрастные, локальные, сезонные и другие изменения спектров питания*. Во всех случаях животные проявляют пищевую **элективность или выборочность** в отношении кормовых объектов. С одной стороны, элективность определяется пищевой ценностью кормовых объектов, с другой — степенью их доступности и пищевой активностью потребителя.

По степени разнообразия потребляемой пищи среди гидробионтов различают *эврифагов (полифагов)*, питающихся многими объектами, и *стенофагов*, живущих за счет небольшого ассортимента кормов. При стенофагии питание более специализировано и поэтому более экономично в смысле усвоения кормов и энерготрат на их добывание. С расширением спектра питания за счет потребления экологически разных пищевых объектов КПД их утилизации снижается. Вместе с тем стенофагия может вырабатываться только в условиях высокой стабильности кормовой базы и потому характернее для животных с коротким жизненным циклом, питание которых не зависит от сезонных изменений трофических ситуаций. Среди животных с длительным жизненным циклом стенофагия чаще встречается в водоемах низких широт, где кормовая база устойчивее.

В зависимости от значимости пищи для гидробионтов среди них различают *грунтоедов, детритофагов, зоофагов и фитозоофагов*. По значению в питании различают пищу *основную*, которой преимущественно наполнен кишечник, *второстепенную*, встречающуюся постоянно, но в небольшом количестве, *случайную*, поедаемую редко и в малых количествах. Для более точной характеристики спектра питания устанавливается состав корма и количественное значение отдельных объектов, выраженное частотой их встречаемости, численностью или массой.

Спектр питания в онтогенезе не остается постоянным. Например, пелагические личинки донных животных в основном питаются фитопланктоном, а взрослые организмы, как правило, — детритом и представителями бентоса. Личинки белого толстолобика первое время живут за счет зоопланктона, а потом переходят на фитопланктон, которым питаются и взрослые рыбы.

Как правило, ассортимент кормов, потребляемых взрослыми особями, шире, чем у молоди. Расширение спектра питания — одна из распространенных адаптаций к повышению обеспеченности пищей особей вида. В некоторых случаях спектр питания с возрастом сужается, когда организм переходит с потребления многих объектов на питание одним, но имеющимся в больших количествах, так что обеспеченность вида пищей с возрастом опять-таки повышается.

Весьма существенны локальные различия в спектрах питания. Рачки *Calanufi finmarchicus* в высоких широтах питаются почти исключительно диатомовыми, а с продвижением к экватору все большее значение в их пище приобретают перидиниевые водоросли.

С колебаниями состояния кормовой базы и условий добывания пищи связаны суточные и сезонные изменения спектров питания. В основном суточные изменения в

характере питания связаны с перемещением кормовых организмов, а также сменой условий их обнаружения и овладения.

Сезонные изменения спектров питания определяются главным образом переменами в кормовой базе: сменой видового состава водорослей, периодичностью в развитии различных групп зоопланктона, вылетами насекомых и др. Обычно они сложно сочетаются с онтогенетическими перестройками в питании и зависят от сезонных явлений в водоеме (наступление периодов штормов, дождей и др.).

## 7.2. Пищевая элективность

Выборочность питания хорошо прослеживается у гидробионтов, начиная с простейших и кончая млекопитающими, причем наблюдается у животных, захватывающих пищевые объекты как дифференцированно, так и недифференцированно.

Среди простейших в отношении элективности наиболее изучены инфузории. При седиментации они используют три формы селекции пищи: выбор мест с ее оптимальным составом, отбор пищевых частиц от непригодных при фагоцитозе и удаление последних из цитоплазмы до окончания пищеварительного акта.

У губок поры обычно окружены клетками, способными сокращаться и запирают отверстия, когда ток воды приносит нежелательные вещества. У кишечнополостных щупальцы после прикосновения к пище могут различать ее вкус.

У червей, питающихся грунтом, пищевая избирательность проявляется в его захвате из более поверхностного слоя, где концентрация органического вещества выше. Пищевая элективность моллюсков прежде всего проявляется в выборе способа питания, обеспечивающего наибольший трофический эффект. Моллюски-фильтраторы сортируют частицы, отбрасывая непригодные, а если их в сестоне слишком много, замыкают сифон и прекращают питание.

Выборочность питания у низших рачков проявляется не только в отношении пищевого качества объектов, но и применительно к их размеру. Например, веслоногие рачки преимущественно поедают пищевые объекты размером 4—40 мкм, ветвистоусые — размером 20—30 мкм.

Высокая пищевая элективность у высших раков. Креветки охотнее поедают рдест и водяной мох, менее охотно — гречиху, валлиснерию и частуху, вовсе не ели роголистник и ряску. При кормлении этих рачков мясной пищей, которую они предпочитают растительной, в большей степени поедались дафнии, в меньшей — рачки *Chydorus sphaericus*, циклопы же и личинки *Chaoborus* совсем не потреблялись. Голубой краб *Callinectes sapidus*, питаясь двустворчатыми моллюсками, предпочитает мелких особей, с которыми справляется быстрее, но охотнее нападает на ослабевших крупных животных, уязвимость которых способен обнаружить.

Среди личинок насекомых пищевая элективность наблюдается как у форм, добывающих пищу недифференцированно, так и у питающихся путем индивидуализированного захвата добычи.

Таким образом, элективность питания в одних случаях обеспечивается способностью животных к оценке и дифференцированному захвату различных объектов, в других — выбором места и времени, при которых возможность потребления нужного корма при недифференцированном захвате пищи оказывается наибольшей. Что касается причин избирания, то оно обуславливается пищевыми качествами объектов, их доступностью, обилием (концентрацией), величиной энерготрат на добывание и др.

Известное значение имеет степень привыкания к потреблению данного объекта, т. е. «отработанность технологии» питания им. Во всех случаях трофическая элективность представляет систему адаптаций, направленных на оптимизацию обеспечения организмов требуемым количеством пищи соответствующего качества.

### **Интенсивность питания и усвоение пищи**

Обычно под *интенсивностью питания* гидробионтов понимается количество (масса) пищи, потребляемой в единицу времени и отнесенное к массе потребителя. Мерой потребления пищи принято считать величину *суточного рациона*, т. е. количество корма, поедаемого животным в течение суток. Некоторое представление об интенсивности питания гидробионтов дает их *накормленность*, характеризующаяся *индексом наполнения* кишечника, под которым понимают отношение массы пищи, содержащейся в пищеварительном тракте, к массе всего организма.

Количество потребляемого корма не в полной мере характеризует интенсивность питания. Более точная характеристика интенсивности питания может быть получена, если учитывать массу не всей съеденной пищи, а содержащиеся в ней питательные вещества или ее энергоемкость.

Интенсивность питания гидробионтов неодинакова и подвержена заметным колебаниям во времени. Нередко прослеживается определенный ритм в изменении интенсивности питания с ясно выраженным чередованием минимумов и максимумов потребления пищи на протяжении суток или других отрезков времени. Усвояемость и эффективность ее использования на рост определяются, с одной стороны, физиологическими особенностями животных, а с другой — качеством корма и физико-химическими параметрами среды.

Величина суточного рациона может быть определена непосредственным учетом съеденного корма, по изменению концентрации пищи в присутствии животных, путем реконструкции массы потребленных организмов по их непереваренным остаткам, по относительному количеству нейтрального вещества, подмешиваемого в пищу и обнаруживаемого в фекалиях, и некоторыми другими способами.

Величина пищевого рациона понижается с возрастом (массой) животных. Такая закономерность хорошо прослеживается у самых разных гидробионтов — простейших, червей, ракообразных, моллюсков, рыб. Величина суточного рациона у разных видов зависит от физиологического состояния особей и внешних условий, в первую очередь трофических и температурных.

В условиях изобилия пищи суточные рационы превышают массу самих животных, и энергия, заключенная в потребленной пище, значительно больше той, которая тратится организмами в процессе жизнедеятельности. Это явление получило название *избыточного питания* и, по мнению ряда авторов, имеет важное трофологическое значение. Для его характеристики используется предложенный Н. С. Гаевской (1958) *индекс избыточности*, под которым понимается отношение энергии, заключенной в потребленном за сутки корме, к той, которая тратится за это время на обеспечение всех обменных процессов.

Большое влияние на интенсивность питания оказывает температура. С ее повышением до определенных величин потребление корма возрастает, а затем снова снижается. Температурный оптимум зависит от вида животных, их возраста (размера), сезона года и некоторых других факторов.

**Усвоение пищи.** Степень усвоения пищи зависит от ее свойств, величины суточного рациона, условий, в которых происходит питание (температура и др.), а также от видовых особенностей животных.

Сравнительно плохо переваривается и усваивается водными беспозвоночными растительная пища, особенно содержащиеся в ней полисахариды, в частности целлюлоза. Многие водоросли плохо или совсем не перевариваются из-за стойкости своих оболочек (створок), особенно содержащих кремний, защищенных слизью или другими средствами. Например, не переваривают диатомовых моллюски.

Как правило, очень слабо усваивается органическое вещество грунта. Так, полихетой *Carriformia tentacubata* оно переваривается всего на 8%; примерно в такой же степени усваивают его другие грунтоядные формы.

Сравнительно высока перевариваемость и усвояемость бактерий и мицелия грибов, разлагающих растения.

У многих гидробионтов перевариваемость пищи снижается с возрастанием концентрации корма и величины суточного рациона. Особенно это характерно для «автоматических фильтраторов», слабо регулирующих величину рационов. Например, у дафний и других ветвистоусых рачков работа конечностей, одновременно обеспечивающая питание и дыхание, происходит непрерывно, и суточные рационы в условиях высокой концентрации корма становятся крайне высокими (избыточное питание), что сопровождается резким понижением усвояемости корма (в несколько раз). Обычно с увеличением размера животных усвоение корма снижается. Например, у раков *Orchestia battae* с увеличением массы тела от 9 до 80 мг усвояемость пищи снижается с 50 до 32%. Сравнительно низка усвояемость пищи на ранних стадиях онтогенеза, когда ферментная система в организме еще не полностью сформирована. Например, молодь щуки и осетра усваивает пищу приблизительно в 1,5 раза хуже, чем подросшая молодь; такая особенность характерна и для многих других рыб.

#### Вопросы для самоконтроля:

- 1) Спектры питания.
- 2) Пищевая элективность.
- 3) Интенсивность питания и усвоение пищи.

#### Список литературы

##### Основная

1. Буруковский, Р.Н. Зоология беспозвоночных: уч. пос./Р. Н. Буруковский – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 214 с.
2. Березина, Н.А. Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134с.
3. Калайда, М.Л. Гидробиология/ М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб. : Проспект Науки, 2013. – 192 с.
4. Ким, Н.Г. Барьерная технология гидробионтов/ Н.Г. Ким. - СПб.: Проспект Науки, 2011. – 336 с.
5. Шапиро, Я.С. Агробиология: уч. пос./Я. С. Шапиро. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 288 с.

##### Дополнительная

1. Папина, Т. С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. / Т.С. Папина. - Аналитический обзор. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2010. - 58 с.
2. Попов, П. А. Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. / П.А. Попов. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2007. - 270 с.



**3. Полищук, О.Н.** Основы экологии и природопользования: *уч. пос./О. Н. Полищук.* – СПб.: Проспект Науки, 2011. – 144 с.

## Лекция 8

### Водно-солевой обмен гидробионтов

Покровы гидробионтов полупроницаемы, что создает сложную проблему сохранения водно-солевого гомеостаза. Для того чтобы поддерживать его на постоянном уровне водные организмы вырабатывают ряд адаптаций, например, приспособления к снижению влагоотдачи предохраняют гидробионтов от гибели вне воды, ряд адаптаций обеспечивает защиту водных организмов от осмотического обезвоживания, создающих угрозу механического повреждения клеток. Совершенством адаптаций, обеспечивающих стабилизацию водного и солевого обмена, определяется степень эвригалинности гидробионтов, их способность существовать в водах разной солености и выживать, в осмотически неустойчивой среде.

#### 8.1. Защита от обсыхания и выживаемость в высохшем состоянии

Многие гидробионты, особенно обитающие в прибрежье, при резких падениях уровня воды могут оказаться вне ее и подвергаться опасности дегидратации. Защита от нее, с одной стороны, достигается тем, что они избегают условий, грозящих обсыханием, а с другой — тем, что снижают влагоотдачу в случае пребывания вне воды. Если обсыхание становится обычным и к тому же длится долго, как это часто наблюдается у обитателей временных водоемов, то у ряда организмов вырабатываются приспособления к переживанию неблагоприятных условий в анабиотическом состоянии, сопровождающемся почти полной потерей воды.

**Избегание обсыхания.** Предупреждение обсыхания у многих гидробионтов достигается прежде всего заблаговременным уходом из мест, подвергающихся осушению. Животные, оказывающиеся на влажном берегу, используют для защиты от обсыхания разные средства.

Морские литоральные животные после отлива прячутся под камни, где остаются небольшие скопления воды, а затененность места снижает испаряемость. В других случаях они зарываются в песок, или, закрывая створки раковин (моллюски, усоногие раки), сохраняют запас воды до следующего прилива.

В наибольшей степени к защите от обсыхания приспособлены формы, часто и регулярно подвергающиеся действию этого фактора. Например, моллюски *Litnnaea stagnalis*, живущие в пересыхающих водоемах, прекрасно приспособлены к выживанию в обсыхающем грунте благодаря образованию молодыми особями защитных пленок, закрывающих устье. Способность противостоять обезвоживанию зависит от скорости высыхания грунта. С повышением температуры и уменьшением влажности воздуха эффективность защиты от обсыхания снижается.

**Адаптации к снижению влагоотдачи.** Длительность выживания гидробионтов без воды, зависит от их адаптации к удержанию влаги в теле и сведения к минимуму ее потерь в результате эвапорации (выпаривание, испарение). Это достигается морфологическими приспособлениями, например уплотнением наружных покровов. Практически исключают или резко замедляют эвапорацию раковина моллюсков, кутикула насекомых, панцири ракообразных, плотные покровы некоторых червей, иглокожих и других животных. Предупреждая высыхание, простейшие образуют плотные цисты и сохраняются в них живыми многие дни, месяцы и даже годы. Среди моллюсков высокой устойчивостью к обсыханию отличаются переднежаберные

брюхоногие, обладающие крышечкой, благодаря чему потеря воды у них снижается до минимума.

**Выживаемость при высыхании.** Степень дегидратации, выдерживаемая различными гидробионтами, варьирует в очень широких пределах и от времени нахождения организмов вне воды. В клетках организмов вода находится в свободном и связанном виде (вода гидратных оболочек). В условиях прогрессирующего обезвоживания связанная вода может заменяться некоторыми молекулами, которые предохраняют клеточные системы от повреждений, повышая выживаемость животных. У ряда гидробионтов выработались адаптации к переходу в анабиотическое состояние, когда в теле невозможно сохранить нужное количество воды. Пребывать в высохшем состоянии в течение нескольких недель, месяцев и даже лет способны многие простейшие, коловратки, тихоходки, круглые черви, личинки насекомых. Способность выживать в отсутствие воды особенно характерна для обитателей пересыхающих пресных водоемов. Это не только адаптация к выживанию в условиях обсыхания, но и очень важное приспособление к широкому расселению форм, обитающих в маленьких изолированных водоемах. Цисты или другие стойкие стадии гидробионтов (покоящиеся яйца ракообразных и коловраток, статобласты мшанок, геммулы губок и др.), способные существовать в высохшем состоянии месяцы и годы, могут переноситься на огромные расстояния ветром вместе с пылью высохшего грунта, на ногах водоплавающих птиц или иными способами и таким образом проникать в другие водоемы.

## 8.2. Защита от осмотического обезвоживания и обводнения

О́смос (от греч. «толчок, давление») — процесс диффузии растворителя из менее концентрированного раствора в более концентрированный раствор.

Градиент — характеристика, показывающая направление наискорейшего возрастания некоторой величины

**Выбор осмотической среды и осмоизоляция.** Выбор гидробионтами осмотически благоприятной среды прежде всего определяется их приуроченностью к местообитаниям с характерной соленостью. Пресноводные формы избегают солоноватых и морских вод, солоноватоводные не селятся в пресных и морских водоемах, морские — в солоноватых и пресных.

Существенное средство обеспечения осмоизоляции — слизь. Например, яйца многих червей, не способные к осморегуляции, выживают в гипо- и гипертонической среде только потому, что заключены в слизистую кладку. Осмотической защите помогает образование слизи на поверхности тела рыб и многих других организмов. У двусторчатых моллюсков осмоизоляция в неблагоприятной солевой среде обеспечивается смыканием раковины.

Многоклеточные организмы с внутренней средой по отношению к солености делятся на две группы — *осмоконформаторов* и *осморегуляторов*. У первых тоничность внутренней среды (лимфа, гемолимфа, целомическая жидкость, кровь и др.) примерно та же, что в окружающей воде, т. е. это пойкилоосмотические организмы.

В отличие от осмоконформаторов осморегуляторы в определенных пределах солености способны контролировать тоничность внутренней среды, т. е. относятся к гомойосмотическим организмам.

Среднее положение между осмоконформаторами и осморегуляторами занимают гидробионты, контролирующие тоничность внутренней среды в очень узком диапазоне солености воды.

подавляющее большинство обитателей моря — осмоконформаторы, все пресноводные организмы — осморегуляторы. Тоничность тканей и внутренней среды у пресноводных осморегуляторов всегда выше, чем в окружающей воде, и они осуществляют *гипертоническую регуляцию*. У морских гомойосмотических организмов тоничность ниже, чем в окружающей воде, и для них характерна *гипоосмотическая осморегуляция*.

### 8.3. Солевой обмен

Одно из важнейших условий клеточного гомеостаза — постоянство не только концентрации, но и определенного соотношения ионов. Поддержание нужной концентрации разных ионов гидробионтами в основном достигается путем *ионной регуляции* — контроля над солевым составом внутренней среды.

**Пассивный солевой обмен.** Физико-химические процессы выравнивания концентраций ионов, находящихся по обе стороны покрова организмов, тем интенсивнее, чем сильнее ионный состав организма отличается от того, который имеется в окружающей среде, и тем слабее, чем менее проницаемы для ионов покровы тела. Содержание различных ионов в организмах иное, чем в воде, как правило, морские организмы по сравнению с окружающей водой в 2—3 раза богаче калием, но беднее натрием, магнием и сульфатами.

Сохранение определенного солевого состава у гидробионтов возможно благодаря малой проницаемости покровов в отношении различных веществ, которая зависит от величины и степени поляризации растворенных частиц. Чем меньше частицы, тем они легче проходят через оболочки, а частицы с нулевой поляриностью легко проникают вне зависимости от их величины.

С повышением температуры скорость миграции ионов через клеточные мембраны возрастает и, следовательно, в этих условиях пассивный солевой обмен гидробионтов заметно увеличивается. Это имеет большое экологическое значение для многих водных организмов, так как влияет на их выживаемость в средах с высокой и низкой соленостью, в средах с иным солевым составом, чем тот, который свойствен данным гидробионтам.

**Активный солевой обмен.** У большинства гидробионтов существуют механизмы, которые поддерживают определенный уровень общего содержания солей в жидкостях тела, и обеспечивают стабильность концентрации в организме отдельных ионов и их соотношения. Особенно характерен для многих гидробионтов так называемый «натриевый насос», осуществляющий активный перенос  $\text{Na}^+$  через клеточные мембраны. Перенос  $\text{Na}^+$  сопровождается противоположно направленным перемещением какого-либо другого иона — обычно  $\text{K}^+$ . Работа натриевого насоса наибольшее значение имеет для обеспечения осморегуляции и стабилизации ионного состава жидкостей тела.

Активный транспорт ионов происходит в специализированных клетках, которые располагаются в покровах тела, жабрах, в стенках выделительных протоков, в кишечнике. Для таких транспортных клеток характерно обилие митохондрий, число которых возрастает при адаптации к соленой или пресной воде

Активный солевой обмен, связанный со способностью некоторых клеток захватывать ионы из воды или выделять их из тела, свойственен как растениям, так и животным.

**Устойчивость гидробионтов к колебаниям солености.** Способность гидробионтов выдерживать значительные колебания солености зависит от ряда факторов и видовой принадлежности. Установлено, что особи одного вида, обитающие в водоемах с переменной соленостью, более адаптированы к колебаниям этого фактора, чем организмы, живущие в условиях стабильной солености.

Устойчивость к изменению солености обычно повышается с возрастом. Например, взрослые рачки *Calanipeda aquae dulcis* в азовской воде выживают в интервале 0—12,5‰, а их молодь — только при 5—10‰. Устойчивость гидробионтов к изменению солености также возрастает с уменьшением скорости изменения этого фактора. Так, рак-отшельник *Clibanarius padavensis* в кратковременных опытах выдерживает колебания солености от 1,2 до 34‰, а в случае постепенного привыкания может адаптироваться к жизни в пресной воде.

Меньшая устойчивость гидробионтов к резким изменениям солености среды связана с различной проницаемостью покровов тела для ионов и воды. Известное значение имеет также постепенное привыкание (акклимация) организмов к существованию в новом солевом режиме. Процесс акклимации имеет колебательный характер, длится не менее 1—2 недель.

Устойчивость к колебаниям солености обычно снижается с повышением температуры. Подмечено, что эвригалинность подавляющего большинства гидробионтов ограничена барьером в 5—8‰, который получил название «критической солености». Своеобразной адаптацией гидробионтов к выживанию в гипертонической среде служит *солевой анабиоз*. Например, инфузории *Cladotricha*, живущие в солоноватых водах, при 22‰ в результате потери воды испытывают сильное уплотнение, перестают двигаться и падают на дно. Когда соленость снижается, животные снова возвращаются к активной жизни.

По сравнению с животными водные растения, особенно макрофиты, более устойчивы к колебаниям солености, поскольку имеют прочные клеточные оболочки. В гипотонической среде их механическое давление уравнивает осмотическое и препятствует поступлению избыточных количеств воды.

**Население вод разной солености.** Население морских, солоноватых и пресных вод имеет свои резко выраженные особенности. Генетически исходными являются морские и пресноводные формы, из которых позже возникло население солоноватых вод. Оно состоит из эвригалинных морских видов, обитающих при солености до 75—80‰.

Общих форм для морей и пресных вод практически нет, если не считать тех, которые попеременно ведут морской или пресноводный образ жизни (приходные формы). За миллионы лет не сформировалось ни одного вида, который стал бы широко эвригалинным, проник из моря в пресную воду. Это свидетельствует о большом значении соленостного барьера, оказавшегося практически непреодолимым при расселении гидробионтов несмотря на их огромные адаптивные возможности.

Для морских и пресноводных форм крайняя граница распространения лежит в пределах 7—8‰. Важно отметить, что эта граница прослеживается в самых разных морях: Азовском и Черном, Каспийском, Белом, Балтийском, Северном и др., а также для разных фаунистических групп, т. е. имеет универсальный характер. Это связано с влиянием критической солености на многие биологические процессы. Так как число

морских видов резко сокращается с падением солености ниже 5—7‰, а число пресноводных — с ее повышением сверх этого предела, в рассматриваемом интервале видовое разнообразие населения очень невелико и в основном представлено специфическими солоноватоводными формами. Это явление, получившее название «парадокса солоноватых вод», очень характерно. Например, в Северном море (35‰) кишечнорастворимых червей, моллюсков, членистоногих, иглокожих и позвоночных насчитывается 1500 видов, в Бельте (20‰) — 436, в Финском и Ботническом заливах (до 6‰) остается всего 52 вида.

Флора макрофитов по сравнению с фауной по мере опреснения вод обедняется не так сильно. Так, число видов животных в Белом море снижено на 50%, а макрофитов — на 24; в Черном — соответственно на 75 и 50; в Балтийском — на 95 и 80%. Большая устойчивость макрофитов к понижению солености обусловлена прочными клеточными оболочками, оказывающими механическое сопротивление осмотическому поступлению воды в организм.

### **Вопросы для самоконтроля:**

- 1) Водно-солевой обмен гидробионтов. Защита от обсыхания. Адаптации к снижению влагоотдачи. Выживаемость при высыхании.
- 2) Защита от осмотического обезвоживания и обводнения.
- 3) Солевой обмен. Виды солевого обмена. Устойчивость гидробионтов к колебаниям солености. Население вод разной солености.

### **Список литературы**

#### *Основная*

1. **Буруковский, Р.Н.** Зоология беспозвоночных: *уч. пос.*/Р. Н. Буруковский – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 214 с.
2. **Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134с.
3. **Калайда, М.Л.** Гидробиология/ М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб. : Проспект Науки, 2013. – 192 с.
4. **Ким, Н.Г.** Барьерная технология гидробионтов/ Н.Г. Ким. - СПб.: Проспект Науки, 2011. – 336 с.
5. **Шапиро, Я.С.** Агробиология: *уч. пос.*/Я. С. Шапиро. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 288 с.

#### *Дополнительная*

1. **Папина, Т. С.** Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. / Т.С. Папина. - Аналитический обзор. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2010. - 58 с.
3. **Попов, П. А.** Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. / П.А. Попов. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2007. - 270 с.
3. **Полищук, О.Н.** Основы экологии и природопользования: *уч. пос.*/О. Н. Полищук. – СПб.: Проспект Науки, 2011. – 144 с.

## Лекция 9

### Дыхание гидробионтов

В широком смысле дыхание понимается как высвобождающее энергию биологическое окисление, причем в качестве окислителя может использоваться молекулярный кислород (аэробное дыхание) или другие субстраты (анаэробное дыхание, брожение).

#### 9.1. Адаптации гидробионтов к газообмену

Эффективность газообмена у гидробионтов прежде всего достигается увеличением площади и газопроницаемости дыхательных поверхностей, аэрированием дыхательных поверхностей, а также транспортом кислорода и углекислоты. **Увеличение площади и газопроницаемости дыхательных поверхностей.** Газообмен гидробионтов осуществляется либо всей поверхностью тела, либо через специальные органы дыхания — жабры, трахеи, легкие и другие образования. Гидробионты, лишенные органов дыхания, обычно имеют тело с большой удельной поверхностью. Один из самых простых способов ее увеличения заключается в уменьшении размера организмов. Небольшой размер характерен для простейших, коловраток, копепод, клещей и других организмов, не имеющих специальных органов дыхания. Икринки у рыб в озерах с пониженным содержанием кислорода часто мельче, чем у рыб в озерах с более благоприятными условиями дыхания.

Увеличение поверхности тела часто достигается его уплощением, вытягиванием, образованием различных выростов, лопастей и т. п. Например, олигохеты в неблагоприятных условиях дыхания, сильно вытягиваясь в длину, утончаются, благодаря чему поверхность их тела увеличивается.

Степень развития дыхательных поверхностей выше у более активных форм. Скорость диффузии газов определяется не только величиной дыхательной поверхности, но и толщиной покровов, сквозь которые происходит газообмен. В силу этого истончение покровов дыхательных поверхностей представляет собой одну из основных адаптаций к газообмену. Некоторые гидробионты способны увеличивать проницаемость наружных покровов, когда возникает потребность усиления газообмена.

**Аэрирование дыхательных поверхностей.** Контакт дыхательных поверхностей с хорошо аэрированной водой достигается выбором местообитания, где вода достаточно насыщена кислородом. В случае резкого ухудшения респираторной среды многие организмы перемещаются даже в не свойственные им биотопы. Например, черви *Nereis*, личинки комара *Chironomus* и ряд других животных выползают на поверхность грунта, когда респираторные условия в его толще резко ухудшаются. Выбор мест с более благоприятными условиями дыхания наблюдается и у пелагических животных, когда они покидают участки водоема с недостаточной концентрацией кислорода.

Кроме этого, адаптация гидробионтов к аэрированию дыхательных поверхностей достигается путем обновления контактирующей с ними воды. Это обновление может обеспечиваться естественными токами воды, передвижением организмов в ее толще или благодаря специальным дыхательным движениям. Обитание в проточной воде — наиболее экономичный способ обновления воды вокруг организма. Таким способом пользуются многие обитатели рек — реофильные черви, личинки поденок, веснянок, симулиид и другие организмы. Обновление воды за счет поступательного движения самого организма осуществляется у ряда ракообразных, простейших, червей, личинок

насекомых и многих других животных. Смена воды возле поглощающих кислород поверхностей встречается у представителей всех типов животных. Дыхательные движения, осуществляемые всем телом, свойственны многим червям, личинкам насекомых и некоторым рыбам, причем во многих случаях эти движения служат одновременно для фильтрации пищи.

В ряде случаев наблюдается аэрация дыхательных поверхностей газообразным кислородом с его захватом из атмосферы, который достигается либо путем периодического всплывания животных к поверхности воды, либо выдвиганием в воздух специальных дыхательных трубок. Всплывание для захвата кислорода встречается у ряда насекомых и их личинок, у моллюсков, рыб и многих других животных. Ряд животных использует на дыхание воздух, находящийся в тканях растений. Многие насекомые откладывают яйца в ткани растений, и содержащийся в них воздух обеспечивает дыхание зародышей. Многие простейшие, кишечнополостные, черви, моллюски используют кислород, выделяемый симбиотическими водорослями.

Многие гидробионты комбинируют водное и воздушное дыхание, что позволяет им маневреннее использовать различные респираторные ситуации.

**Внутриорганизменный транспорт кислорода и углекислоты.** У многоклеточных гидробионтов не все клетки и ткани контактируют с внешней средой, и их потребность в кислороде должна удовлетворяться с помощью специальных систем его доставки. То же самое относится к выведению CO<sub>2</sub>. Наиболее эффективный способ — перенос током различных циркулирующих в организме жидкостей, особенно если в них содержатся специальные дыхательные пигменты.

Среди дыхательных пигментов у гидробионтов наиболее распространен гемоглобин (*эритрохроорин*). Он свойствен всем позвоночным, многим иглокожим, ракообразным, некоторым моллюскам, круглым и плоским червям. У всех пресноводных беспозвоночных гемоглобин встречается только в растворенном виде, у морских часто содержится в кровяных тельцах. Основная масса беспозвоночных, имеющих гемоглобин, обитает в пресных водах; в море они реже, причем, как правило, представлены донными животными. По оснащенности гемоглобином четко различаются рыбы с разной интенсивностью газообмена. Например, в Черном море у активных пелагических форм (скумбрия, ставрида, шпрот) кровь составляет 1,5—2,5% от массы тела, содержание гемоглобина в ней достигает 10—13 или 0,20—0,25% от массы тела, число эритроцитов — 3—4 млн./мл. У несколько менее подвижных придонных рыб, не столь нуждающихся в кислороде (морской окунь, ласкирь, дракон, зеленушка), перечисленные показатели значительно ниже: количество крови 1,4—1,8% от массы тела, содержание гемоглобина 7—9 или 0,11—0,13% от массы тела, число эритроцитов 1,5—2,5 млн./мл. У наименее нуждающихся в кислороде малоподвижных придонных рыб (налим, морской язык, скат-хвостокол, собачка) крови всего <0,9—1,3%, содержание гемоглобина 3—6 или 0,005—0,08% от массы тела, число эритроцитов 0,5—1,5 млн./мл.

Значительно реже, чем гемоглобин, встречается у гидробионтов голубой медьсодержащий пигмент *гемоцианин*. Он обнаружен у головоногих и некоторых брюхоногих моллюсков, у многих ракообразных, особенно высших, у мечехвостов, причем всегда растворен в крови. Для ряда олигохет характерен зеленый железосодержащий пигмент *хлорохроорин*, у некоторых гидробионтов найден фиолетовый железосодержащий пигмент *гемоэритрин*.



Дыхательные адаптации гидробионтов могут быть направлены не только на ускорение, но и на замедление транспорта газов.

Все адаптации к транспорту газов внутри организма можно разделить на физиологические и биохимические. К первым относятся те, что осуществляются на клеточном и более высоких уровнях организации, ко вторым — реализующиеся на уровне макромолекул.

Физиологические адаптации. В основном они сводятся к регулированию скорости тока циркулирующих жидкостей, изменению их объема и числа телец, содержащих дыхательные пигменты. Например, увеличение скорости тока крови с ухудшением условий дыхания хорошо прослежено у рыб.

## 9. 2. Интенсивность и эффективность дыхания

Под **интенсивностью дыхания** понимается количество кислорода, потребляемое организмом в единицу времени (*скорость дыхания*) на единицу массы. Последняя рассчитывается на сырое или сухое вещество всего организма или его мягких тканей без учета массы наружного скелета. Большую сравнительную ценность имеют данные об интенсивности дыхания, выраженные отношением потребления кислорода к энергоемкости тела. Такое отношение — хорошая мера метаболической активности живого вещества у разных организмов. По величине газообмена (потребление кислорода) можно достаточно точно судить об энерготратах аэробных организмов.

Различают обмен *основной, стандартный, рутинный, активный* и *общий (средний)*. Под основным обменом понимается уровень энерготрат во время полного покоя голодных организмов в условиях абиотической среды, близких к оптимальным. Стандартный обмен, близкий по величине к основному, характеризует энерготраты организмов с выключенной двигательной активностью в некоторых строго определенных условиях среды, в частности температурных. Под рутинным обменом понимают скорость его протекания у животных в состоянии нормальной самопроизвольной активности. За величину активного обмена приняты энерготраты, связанные с обеспечением двигательной активности животных. Совокупность основного и активного обмена обозначают как общий, или средний, обмен.

Под **эффективностью газообмена** понимается способность организмов с той или иной полнотой извлекать кислород из воды, омывающей дыхательные поверхности, степень ее дезоксигенизации в процессе дыхания. Интенсивность и эффективность газообмена у разных гидробионтов неодинаковы, зависят от их состояния и приспособительно меняются под влиянием условий среды.

У многих гидробионтов наблюдаются циклические изменения интенсивности дыхания, связанные с чередованием дня и ночи, приливов и отливов, со сменой сезонов года, а также с периодичностью некоторых процессов в самом организме (размножение, линька, миграция и др.). Например, по данным Н. С. Гаевской (1958), суточный ритм дыхания с возрастанием газообмена в дневное время характерен для ряда бентосных форм литорали Черного моря. У животных преимущественно с ночным образом жизни прослеживается обратная закономерность. Очень широк круг организмов, для которых описаны ритмы дыхания, связанные с чередованием приливов и отливов. Максимум потребления кислорода незадолго до установления самого высокого уровня прилива и минимум в конце отлива обнаружен у ряда актиний, морских ежей, полихет, ракообразных и рыб. Наибольшее влияние на потребление кислорода гидробионтами оказывают температура и кислород. Помимо этого, величина газообмена может зависеть от солености воды, ионного состава

растворенных солей, рН и некоторых других абиотических факторов. Из биотических факторов наибольшее значение имеют концентрация и характер взаимодействия особей.

### 9. 3. Устойчивость гидробионтов к дефициту кислорода и заморные явления.

Только очень немногие гидробионты, относящиеся преимущественно к бактериям и простейшим, способны постоянно жить в бескислородной среде, т. е. относятся к группе анаэробов. Подавляющее большинство многоклеточных животных нуждается в кислороде, хотя некоторые из них могут переносить его отсутствие и осуществлять *аноксибиоз*.

Способность выживать в воде с низкими концентрациями кислорода зависит от видовой принадлежности организмов, их состояния и условий внешней среды. Минимальная, или *пороговая*, концентрация кислорода ( $P_m$ ), переносимая гидробионтами, ниже для организмов, живущих в естественных местообитаниях в слабоаэрированной воде.

Чувствительность к дефициту кислорода может обостряться на отдельных стадиях развития. Как правило, устойчивость к недостатку кислорода у животных различных систематических групп тем выше, чем они менее подвижны.

Из внешних факторов на величину  $P_m$  в наибольшей степени влияет температура. С ее повышением обмен организмов возрастает, их потребность в кислороде увеличивается и для ее удовлетворения нужны более благоприятные респираторные условия. Например,  $P_m$  у карася и тиляпии с повышением температуры от 30 до 35°C возрастает в 1,5—2 раза. При временной аноксии у многих гидробионтов аэробный обмен идет за счет мобилизации запасов кислорода из каротиноидов, гем- содержащих пигментов и других депо. Обычно этих запасов хватает не больше, чем на несколько десятков минут. Дальнейшее добывание энергии обеспечивается за счет анаэробного гликолиза и другими способами. Длительность нахождения и выживаемость гидробионтов при аноксии зависит от их видовой принадлежности, физиологического состояния и внешних условий. Например, сеголетки карася при температуре 3—8°C жили анаэробно более двух месяцев. Подобная картина отмечена для карпа (в зимних условиях) и некоторых других рыб. Животные, накапливающие при аноксибиозе недоокисленные продукты, менее устойчивы к длительному отсутствию кислорода. Черепахи, ныряя, могут жить за счет гликолиза несколько часов или дней, и, всплывая, компенсируют «кислородную задолженность». Личинки хирономид полностью теряют подвижность и находясь в состоянии пассивного анаэробноза, выдерживают недели и месяцы аноксии. Устрицы и другие моллюски, замыкающие раковины во время отлива, безболезненно выдерживают аноксию в течение нескольких часов, накапливая продукты гликолиза. Способность к аноксибиозу наиболее характерна для представителей донной фауны, обитающих в условиях периодического снижения концентрации кислорода до величин, близких к 0. Во время аноксибиоза они не питаются, теряют подвижность, перестают расти и развиваться. Концентрация кислорода, ниже которой гидробионты переходят от активного существования к пассивному, зависит от видовых особенностей, размера и ряда других факторов. Как правило, формы, живущие в более аэрированной среде, впадают в аноксибиоз раньше, когда кислород есть еще в заметных количествах. Молодые организмы, обычно более требовательные к содержанию кислорода, выключаются из активной жизни раньше взрослых.

**Заморы.** В естественных водоемах нередко наблюдаются случаи массовой гибели гидробионтов от асфиксии. Они возникают не только вследствие дефицита кислорода, но и в результате накопления в воде значительных количеств диоксида углерода, сероводорода и метана. Содержание этих газов обычно, повышается параллельно снижению концентрации кислорода и потому особенно губительно. Во время заморы в первую очередь гибнут формы, менее устойчивые к дефициту кислорода, а затем и более выносливые вплоть до самых стойких, если катастрофическое ухудшение условий дыхания затягивается на долгий срок. В водоемах высоких широт заморы обычно возникают зимой, когда лед препятствует поступлению кислорода в воду из воздуха. Летние заморы обычно наблюдаются в стоячих водоемах, особенно во время массового появления водорослей. Днем вследствие фотосинтеза кислорода много, ночью же его концентрация резко снижается и могут возникать заморные явления.

Летние заморы имеют место не только в прудах и озерах, но даже в морях, например в Азовском и Балтийском. В Азовском море заморы наблюдаются обычно с мая по август во время тихой погоды, когда из-за отсутствия циркуляции воды содержание кислорода в толще, особенно у дна, падает до десятых долей миллиграмма в литре. Снижение концентрации кислорода у дна вызывается разложением отмирающих здесь водорослей. Во время заморы в массе гибнет рыба и другие гидробионты, в частности моллюски.

Особенно остро протекают заморные явления зимой, когда они наблюдаются не только в стоячих водоемах, но даже в реках. Содержание кислорода во время замора падает до 2—3% от нормального. Донные животные, более приспособленные к существованию в условиях дефицита кислорода, во время заморы страдают меньше, чем пелагические.

#### **Вопросы для самоконтроля:**

- 1) Дыхание гидробионтов. Адаптации гидробионтов к газообмену.
- 2) Интенсивность и эффективность дыхания.
- 3) Устойчивость гидробионтов к дефициту кислорода и заморные явления.

#### **Список литературы**

##### *Основная*

1. **Буруковский, Р.Н.** Зоология беспозвоночных: *уч. пос.*/Р. Н. Буруковский – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 214 с.
2. **Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134с.
3. **Калайда, М.Л.** Гидробиология/ М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб. : Проспект Науки, 2013. – 192 с.
4. **Ким, Н.Г.** Барьерная технология гидробионтов/ Н.Г. Ким. - СПб.: Проспект Науки, 2011. – 336 с.
5. **Шапиро, Я.С.** Агробиология: *уч. пос.*/Я. С. Шапиро. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 288 с.

##### *Дополнительная*

- 1. Папина, Т. С.** Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. / Т.С. Папина. - Аналитический обзор. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2010. - 58 с.
- 2. Попов, П. А.** Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. / П.А. Попов. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2007. - 270 с.
- 3. Полищук, О.Н.** Основы экологии и природопользования: *уч. пос.*/О. Н. Полищук. – СПб.: Проспект Науки, 2011. – 144 с.

## Лекция 10

### Рост, развитие и энергетика гидробионтов

Росту организмов сопутствует их развитие — поступательное изменение всей организации тела, направленное на достижение оптимального репродуктивного состояния, обеспечение необходимой эффективности размножения. Периоды роста и развития обычно более или менее четко чередуются друг с другом. Как правило, во время быстрого роста дифференциации тела не происходит или она ослабевает; в периоды бурной дифференцировки рост резко тормозится, а иногда вовсе прекращается или даже становится отрицательным (например, во время линьки членистоногих, когда они перестают питаться).

#### 10.1. Рост. Формы роста.

До наступления репродуктивной зрелости наблюдается увеличение массы тела, или *соматический* рост. После репродуктивного созревания соматический рост ослабевает или вовсе прекращается, но начинается новый процесс — образование материала, отчуждаемого в форме зачатков, или *генеративный* рост.

Количественная характеристика роста может основываться на разных показателях. Соответственно различают *линейный* рост, рост *массы*, увеличение энергоемкости тела, массы его разных компонентов (белков, жиров, углеводов, всего органического вещества, сухой массы, зольных элементов). По продолжительности различают *бесконечный*, или *асимптотический*, рост, длящийся всю жизнь, и *конечный*, завершающийся по достижении организмом какого-то возраста (массы). Если в онтогенезе размер особи увеличивается с сохранением геометрического подобия, говорят об *изометрическом* росте в отличие от *анизометрического* (*аллометрического*), когда пропорции тела с возрастом меняются. Рост, при котором изменяется соотношение массы отдельных тканей, называют *гетерогенным*, в обратном случае — *гомогенным*. При *периодическом* росте наблюдается та или иная форма прерывистости процесса, связанная с изменением внешних условий или физиологического состояния организмов. Например, у многих двусторчатых моллюсков выделены суточные, приливные и годовые циклы роста, хорошо прослеживающиеся по частоте линий нарастания раковины. *Постоянный* рост характеризуется непрерывностью (вплоть до отмирания), хотя его интенсивность сильно зависит от условий, стадий онтогенеза и обычно замедляется после наступления половозрелости.

**Влияние различных факторов.** К основным абиотическим факторам, влияющим на рост гидробионтов, относятся температура, свет, газовый режим воды, растворенные в ней соли, гидродинамика. Из биотических факторов наибольшее значение имеет трофический, агонистические и иерархические взаимоотношения.

С повышением температур до некоторых оптимальных значений темп роста ускоряется, после чего снижается. Одновременно с ускорением роста под влиянием высоких температур наблюдается уменьшение конечных размеров животных.

Свет, основной фактор роста в жизни растений, далеко не безразличен и для животных. Например, рост и линька крабов *Gecarcinus lateralis* подавляется при круглосуточном освещении, многие планктонты держатся у поверхности воды, нуждаясь в свете для синтеза витаминов.

Сильнейшим депрессором роста для животных может быть недостаток, а для растений — избыток кислорода. С повышением его концентрации до 3—4 мг/л

включается фотодыхание растений, усиливающееся с ростом аэрированности среды, и продуктивность фотосинтеза резко снижается.

Рост донных растений и животных в значительной мере зависит от особенностей грунта. Например, прирост моллюска *Mya arenaria* на иле, песке и гравии составлял соответственно 2,45; 1,77 и 0,93 мг сухой массы в день; раковины моллюсков, выросших на гравии, имеют более округлую форму и наибольшую относительную массу.

В водоемах умеренной зоны четко проявляются сезонные особенности роста. Летом гидробионты, усиленно питаясь, растут наиболее интенсивно. С приближением осени резко возрастает накопление липидов, используемых в период зимнего голодания. Осенью темп роста у гидробионтов резко снижается, а зимой у большинства прекращается и постепенно возобновляется с наступлением весны.

Огромное влияние на рост оказывают трофические условия: количество пищи, ее концентрация, доступность, калорийность. В связи с пищевыми условиями меняется не только темп роста гидробионтов, но и состав их тела. Например, выращивание рыб на углеводистой пище сопровождается их ожирением, резким уменьшением содержания белка.

Разнообразное влияние на рост оказывают особенности взаимодействия особей. Иерархия сопровождается неравенством ресурсного обеспечения особей разного ранга и соответственно различиями в темпе их роста. Подавление роста обычно у особей, часто подвергающихся агрессии при разных формах агонистического поведения (отнятие убежища, симбионтов, кормовых участков и др.).

## 10. 2. Развитие и энергетика гидробионтов.

У водных животных, чаще, чем у наземных, встречается непрямое развитие. Для ряда гидробионтов характерна периодичность (прерывистость) развития. Она связана с циклическими изменениями среды, когда благоприятные для развития условия сменяются неблагоприятными. Во время отливов выключаются из активной жизни многие ракообразные, моллюски, черви и другие обитатели литорали. В водоемах средних и высоких широт развитие многих гидробионтов прекращается в холодное время года.

Завершение развития организмов тесно связано с достижением ими некоторой массы, величина которой далеко не постоянна для разных особей вида и, в частности, очень сильно зависит от температуры. С ее повышением развитие завершается при меньшей массе и длится меньшее время.

В сильной степени темп развития определяется трофическими и респираторными условиями. При дефиците корма циклы развития растягиваются на неопределенно долгое время, такая же картина может наблюдаться в условиях гипоксии. Например, во время летней и зимней стагнации водоемов, когда вблизи дна кислорода практически нет, обитающие здесь животные впадают в анаксибиоз.

Для процессов биосинтеза, обеспечивающих рост и развитие особей, необходимы энергетические траты, мерой которых служит интенсивность газообмена. Зная рацион, усвояемость пищи, прирост, а также величину катаболизма, можно достаточно точно судить об энергобалансе особей, экономичности их роста.

Способ оценки эффективности использования пищи на рост зависит от целей исследования. В рыбоводстве и при выращивании водных беспозвоночных эффективность использования пищи на рост часто выражается *кормовым коэффициентом*, под которым понимают отношение массы корма, потребленного животными, к их приросту вне зависимости от химического состава пищи и тела

потребителя. Чем выше кормовой коэффициент, тем, следовательно, хуже используется корм на рост. Величина кормового коэффициента у данного животного в очень большой степени зависит от качества пищи. Чтобы снять влияние воды, содержащейся в пище, на показатель ее использования, вычисляют *коэффициент продуктивного действия корма* — отношение количества съеденной пищи к приросту организма, причем обе величины выражают в сухой массе (Карзинкин, 1952). Иногда вычисляют отношение азота, потребленного с пищей, к его накоплению в организме.

В. С. Ивлев (1938) предложил оценивать эффективность использования пищи на рост двумя трофическими коэффициентами. Первый из них ( $K_1$ ) определяется по уравнению  $K_1 = Q_1:Q$ , где  $Q_1$  — энергия вновь образованного в организме вещества и  $Q$  — энергия потребленной пищи.  $K_2$  выражается соотношением  $K_2 = Q_1:(Q-Q_2)$ , где  $Q_2$  — энергия неусвоенной части пищи ( $Q$ ,  $Q_1$  и  $Q_2$  выражаются в единицах энергии,  $K_1$  и  $K_2$  — в процентах).

Величина трофических коэффициентов видоспецифична, зависит от состояния популяции и внешних условий.

С возрастом коэффициент  $K_2$  снижается, постепенно падая до 0 по мере приближения размеров тела к дефинитивным.

Одна из характеристик использования пищи — степень ее усвоения (переваривания), т. е. отношение ассимилированной энергии и потребленной. У растительоядных форм этот показатель заметно ниже, чем у плотоядных. Степень ассимиляции потребленной пищи сильно меняется в зависимости от ее качества, физиологических особенностей потребителей и условий питания. В процессе биологического окисления на единицу потребленного кислорода выделяется практически одно и то же количество энергии. Следовательно, зная величину потребления кислорода организмами, можно получить достаточно точное представление об их энергетических тратах. Отношение количества энергии (в джоулях), выделяющейся при окислении вещества, к массе потребленного кислорода (в мг) получило название *оксиэнергетического (оксикалорийного) коэффициента*. Его среднее значение для водных организмов равно 14 Дж/мг  $O_2$ . Таким образом, измеряя дыхание гидробионтов в разных условиях, можно характеризовать их энергетику без непосредственного учета отдельных слагаемых баланса. Величина оксиэнергетического коэффициента не зависит от условий, в которых идет аэробное дыхание.

Изучение газообмена позволяет составить представление не только о величине энергетических затрат у гидробионтов, но и о том, за счет каких веществ добывается энергия, т. е. судить о химическом составе пищи. Такое суждение можно получить, сравнивая количество потребляемого организмами  $O_2$  и выделяемого ими  $CO_2$ . Когда энергия добывается за счет питания углеводами, организм выделяет столько  $CO_2$ , сколько потребляет  $O_2$  (по объему). При белковом питании отношение выделяемого  $CO_2$  к потребленному  $O_2$  составляет 0,77—0,82, а в случае потребления жира — 0,7. Отношение объема выделившегося в процессе дыхания  $CO_2$  к объему потребленного  $O_2$  получило название *дыхательного коэффициента*. Иногда он превышает 1, что обычно обуславливается частично анаэробным добыванием энергии, когда организмы испытывают недостаток в кислороде. На величину дыхательного коэффициента могут также влиять температура и некоторые другие факторы.

Длительное активное существование гидробионтов возможно, если получаемая ими энергия больше рассеиваемой, т. е. энергобаланс положителен. Иногда расход энергии превышает ее поступление и тогда наблюдается отрицательный рост (снижение

энергоёмкости тела). Чем стабильнее условия питания, тем ниже устойчивость особей к голоданию. По этой причине обитатели средних широт отличаются наибольшей выносливостью к продолжительной трате энергии, превышающей ее поступление. Более выровнен энергобаланс у гидробионтов низких широт, где сезонные изменения кормовой базы выражены слабее.

#### **Вопросы для самоконтроля:**

- 1) Формы роста гидробионтов. Влияние различных факторов на рост.
- 2) Развитие и энергетика гидробионтов.

#### **Список литературы**

##### *Основная*

1. **Буруковский, Р.Н.** Зоология беспозвоночных: *уч. пос.*/Р. Н. Буруковский – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 214 с.
2. **Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134с.
3. **Калайда, М.Л.** Гидробиология/ М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб. : Проспект Науки, 2013. – 192 с.
4. **Ким, Н.Г.** Барьерная технология гидробионтов/ Н.Г. Ким. - СПб.: Проспект Науки, 2011. – 336 с.
5. **Шапиро, Я.С.** Агробиология: *уч. пос.*/Я. С. Шапиро. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 288 с.

##### *Дополнительная*

1. **Папина, Т.С.** Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. / Т.С. Папина. - Аналитический обзор. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2010. - 58 с.
2. **Попов, П. А.** Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. / П.А. Попов. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2007. - 270 с.
3. **Полищук, О.Н.** Основы экологии и природопользования: *уч. пос.*/О. Н. Полищук. – СПб.: Проспект Науки, 2011. – 144 с.



## Лекция 11

### Структура и функциональные особенности популяции гидробионтов

#### 11.1. Структура популяций

Под **популяциями** понимают группу взаимодействующих друг с другом особей одного вида, занимающую часть ареала этого вида, обладающую определенной структурой, способностью к самовоспроизводству и адаптивной реакцией на изменение внешней среды. Если условия жизни в пределах ареала вида однородны, особи, обитающие в его отдельных участках, не образуют популяций, отличающихся друг от друга по экологическим и морфофизиологическим признакам. Когда условия жизни неоднородны вид, как правило, распадается на ряд различающихся между собой популяций. При плавной смене биотопических условий возникает так называемая *клинальная* изменчивость, при которой различия между соседними популяциями малы, но хорошо выражены между занимающими крайние положения.

Виды, представленные несколькими хорошо различающимися между собой популяциями, называют *полиморфными* или *политипическими* в отличие от *мономорфных*, или *моготипических*, не распадающихся на обособленные группы. Моно- и политипия — приспособления вида к менее и более разнообразным условиям. Чем больше выражен биологический полиморфизм, чем разнообразнее особи, входящие в популяции, тем легче они приспосабливаются к циклическим и внезапным изменениям условий обитания.

Биологическое значение популяций состоит в наиболее рациональном использовании жизненных ресурсов, в первую очередь энергетических.

В ряде случаев очень трудно или невозможно выявить отдельные популяции у многих видов планктонных и нейстонных организмов. Перенос течениями на большие расстояния, особенно в морях и реках, исключает существование многих планктонтов и нейстонтов в постоянных географических координатах, ведет к интенсивному перемешиванию особей в пределах ареала вида и препятствует образованию самостоятельных популяций. Иногда среди гидробионтов встречаются совокупности особей одного вида, не воспроизводящие себя и длительное время существующие в данном биотопе за счет поступления новых особей извне. Такие совокупности представляют собой *псевдопопуляции*.

Основные характеристики популяций: величина популяций, их плотность, дисперсия, половая и возрастная структура, межорганизменные взаимодействия, рождаемость, рост численности и биомассы, смертность и некоторые другие характеристики.

Из перечисленных свойств популяций особое значение для человека имеет воспроизводство ими своей биомассы, т. е. образование органического вещества в форме тех или иных организмов. Это свойство называется *продуктивностью* популяций, а образуемое ими органическое вещество — *продукцией*. В зависимости от того, в каких организмах и формах накапливается органическое вещество, продукция популяций может иметь для человека совершенно разное практическое значение (например, организмы полезные, бесполезные или вредные). Темп, эффективность и энергетические особенности продуцирования зависят от специфики популяций и условий их существования.

Популяция не гомогенна по качеству составляющих ее элементов (организмов) и их распределению в пространстве. Образующие ее особи различаются по возрасту, полу, половозрелости и другим биологическим показателям. Помимо этого, структура популяций характеризуется их величиной, плотностью (концентрацией) и особенностями размещения в пространстве (*хорологическая* структура).

**Величина и плотность.** *Величина популяций* определяется числом и суммарной массой (биомассой) образующих ее особей безотносительно к величине занимаемого ими пространства. В одних случаях популяции имеют огромную численность и сравнительно малую биомассу (бактерии, водоросли, простейшие), в других наблюдается иная картина (крупные моллюски, рыбы, млекопитающие). Соотношение между численностью и биомассой популяции — один из ее характерных признаков. Даже популяции одного вида, обитающие в разных водоемах или их отдельных участках, иногда значительно отличаются между собой по соотношению численности и биомассы особей.

Крайне различна величина популяций данного вида в отдельных водоемах или их участках. Как правило, популяции гидробионтов, обитающие в водоемах или их участках с большой акваторией, многочисленнее, так как имеют больше жизненных ресурсов. Чем больше особей в популяции, тем богаче ее генофонд и шире диапазон каждого фактора, в пределах которого могут существовать те или иные особи. Поэтому резкие изменения среды, не всегда переносимые малой популяцией, легче выдерживаются большой.

*Плотность популяции* - отношение количества организмов к единице занимаемого ими пространства. Количество организмов может быть выражено числом особей, их биомассой или в энергетических единицах (например, в джоулях). Численность особей характеризует их среднюю удаленность друг от друга, биомасса — концентрацию живого вещества, энергоемкость — термодинамические особенности.

Плотность популяции определяется равновесием между потенциалом размножения и ресурсными возможностями среды — *емкостью среды*. Плотность популяции представляет собой один из важнейших параметров ее существования. От плотности зависят дыхание, питание, размножение и многие другие функции отдельных особей популяции. Чрезмерная плотность популяции ухудшает условия ее существования, снижая обеспеченность особей пищей и другими средствами к жизни. Отрицательно влияет на популяцию и недостаточная плотность ее, затрудняющая отыскание особей противоположного пола, создание нужной концентрации половых продуктов в воде во время размножения, выработку защитных свойств популяции и др. Для каждого вида существует оптимальная плотность популяций, которая приспособительно меняется в зависимости от конкретных состояний среды, т. е. является адаптивным признаком.

Имеется ряд механизмов поддержания плотности популяций на нужном уровне. Главный из них — саморегуляция численности по принципу обратной связи с количеством жизненных ресурсов, в частности пищи. Когда ее становится меньше, темп роста особей снижается, смертность возрастает, половая зрелость наступает позже, пополнение популяции снижается, плотность падает. Улучшение условий существования сопровождается изменениями противоположного характера, и плотность популяций возрастает до определенного предела, превышение которого снова ведет к уменьшению концентрации особей.

Наиболее часто плотность регулируется изменением темпа размножения.

*Хорологическая структура.* В пространстве, занимаемом популяцией, распределение особей может быть *беспорядочным, однообразным и пятнистым*. При

беспорядочном, или *случайном*, распределении вероятность встретить особь в каждой из точек одинакова. Такой тип распределения встречается сравнительно редко, в частности, когда среда однообразна. Если среда однообразна и особи стремятся селиться на каком-то удалении друг от друга, наблюдается равномерное распределение.

Для гидробионтов наиболее характерно пятнистое распределение, которое в свою очередь может быть беспорядочно-кучным, однообразно-кучным и агрегатно-кучным. В первом случае особи в пятне располагаются случайно, во втором — на сходных расстояниях друг от друга, в третьем — группами. Пятнистое распределение имеет место, если условия среды, наиболее благоприятные для существования особей, распределены мозаично, что чаще всего и наблюдается в водоемах, особенно в бентали. Пятнистый характер распределения организмов в основном определяется взаимоотношениями между особями.

Рассредоточиваясь, особи проявляют свою активность на некоторой площади. Если эту площадь организм защищает от вторжения других особей, ее называют «территорией», а само владение — территориальностью. Территориальность, представляющая собой упорядочение использования мест обитания, наиболее часто прослеживается у бентосных форм, особенно у высших раков, моллюсков, иглокожих.

**Возрастная структура.** Соотношение в популяции особей разного возраста меняется в зависимости от состояния среды. В благоприятных условиях, когда наблюдается прирост популяций, в них относительно высока численность молодых особей. В популяциях, величина которых не меняется, относительное количество молодежи ниже и еще меньше оно в популяциях, сокращающихся вследствие падения рождаемости. Для одних видов характерна многовозрастная структура, другие представлены организмами с короткими жизненными циклами. Возрастная структура популяции циклически меняется, если образование новых *генераций* (поколений) носит периодический характер. У многих водорослей новые клетки образуются преимущественно днем, поэтому их популяции в это время суток содержат больше молодых особей, чем ночью. Крайне характерны для популяций гидробионтов сезонные изменения возрастной структуры. Например, весной в водоемах появляется огромное количество молодежи животных, а осенью и зимой в них больше старших возрастных групп.

Возрастная структура популяций в сильной мере определяется степенью выедания особей разных возрастов. Как правило, в большей мере уничтожаются мелкие, менее защищенные особи, в частности молодежь червей, моллюсков, ракообразных, рыб. У промысловых гидробионтов структура часто определяется характером вылова и обычно отличается низкой относительной численностью крупномерных особей, особенно в условиях перелова.

**Половая и генеративная структура.** Половая структура популяций характеризуется соотношением в них особей разного пола. С увеличением количества самок возрастает темп воспроизводства популяции, но снижается жизнестойкость пополнения. Поэтому в благоприятных условиях у некоторых животных резко преобладают самки вплоть до полного исчезновения самцов. Так, полное отсутствие их наблюдается летом у многих низших ракообразных и коловраток. Когда условия ухудшаются, относительная численность самцов в популяциях повышается, и это ведет к увеличению жизнестойкости потомства. Соотношение полов в первую очередь зависит от наследственных свойств вида, но в значительной мере контролируется внешними условиями. Существенно влияет на половую структуру популяций темпера-

тура. Например, с ее повышением от 10—12 до 25—28° С количество самцов в потомстве рачков *Macrocyclops albidus* возрастает с 40,2 до 64,7%.

Генеративная структура популяций определяется соотношением особей, находящихся в *префертильной, фертильной* и *постфертильной* стадиях, т. е. числом особей, еще не способных размножаться, размножающихся и утративших способность к размножению. Длительность каждой стадии сильно варьирует у представителей разных видов.

Генеративная и половая структура популяций имеют приспособительное значение, обеспечивая необходимую эффективность размножения в меняющихся условиях среды. В соответствии с изменениями условий жизни генеративная и половая структура адаптивно перестраивается, приобретая параметры, оптимальные для воспроизводства популяции.

**Разнокачественность особей.** Морфологическая и физиологическая разнокачественность особей в популяциях — одна из важнейших адаптаций к наиболее эффективному использованию потенциальных жизненных ресурсов. В пределах определенного состояния (возраста, пола и т. д.) особи отличаются друг от друга, и степень их отличия по отдельным признакам носит приспособительный характер. Например, у осетровых рыб, нерестящихся на гальке, икринки, даже выметываемые одной самкой, обладают разной клейкостью, что обеспечивает их перенос течением на разные расстояния и предупреждает образование вредных скоплений. Благодаря варьированию частоты и длины жаберных тычинок у сигов увеличивается ассортимент кормов, используемых популяцией, и ее кормовая база расширяются.

Вследствие разнокачественности повышается устойчивость популяции.

### Вопросы для самоконтроля:

- 1). Понятие «популяция», структура популяции.
- 2). Виды структур популяций.
- 3). Разнокачественность особей.

### Список литературы

#### Основная

1. **Буруковский, Р.Н.** Зоология беспозвоночных: *уч. пос.*/Р. Н. Буруковский – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 214 с.
2. **Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134с.
3. **Калайда, М.Л.** Гидробиология/ М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб. : Проспект Науки, 2013. – 192 с.
4. **Ким, Н.Г.** Барьерная технология гидробионтов/ Н.Г. Ким. - СПб.: Проспект Науки, 2011. – 336 с.
5. **Шапиро, Я.С.** Агробиология: *уч. пос.*/Я. С. Шапиро. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 288 с.

#### Дополнительная

1. **Папина, Т. С.** Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. / Т.С. Папина. - Аналитический обзор. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2010. - 58 с.

- 2. Попов, П. А.** Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. / П.А. Попов. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2007. - 270 с.
- 3. Полищук, О.Н.** Основы экологии и природопользования: *уч. пос.*/О. Н. Полищук. – СПб.: Проспект Науки, 2011. – 144 с.

## Лекция 12

### Внутрипопуляционные отношения

#### 12.1. Прямая борьба и взаимопомощь

Характерная особенность внутрипопуляционных отношений — их направленность на повышение устойчивости системы, на оптимизацию ее взаимодействия со средой, на повышение эффективности использования жизненных ресурсов. Формы взаимодействия между особями популяции крайне многогранны. Это прямая борьба и взаимопомощь, стимуляция и ингибирование, конкуренция, иерархия и некоторые другие отношения. Широко распространено образование стай и различных скоплений, обеспечивающих популяциям те или иные биологические преимущества. Некоторые формы внутрипопуляционных отношений (прямая борьба, конкуренция и др.) внешне напоминают межвидовые. Однако они имеют совершенно другой биологический смысл, поскольку всегда направлены на процветание вида, эволюционно выработались в качестве адаптаций к существованию популяций в тех или иных конкретных условиях.

Все формы внутрипопуляционных отношений базируются на коммуникации особей — химической, вибротактильной, визуальной и др. Среди химических средств коммуникации огромную роль играют *феромоны* — вещества, имеющие сигнальное значение. Различают феромоны стадные, вызывающие скопление особей (например, у планарий, баянусов), половые (нематоды, ракообразные, рыбы), тревоги (моллюски, иглокожие, рыбы) и некоторые другие.

Случаи прямой борьбы наблюдаются при разных формах *агонистического поведения* (от лат. *agonia* — борьба, противоборство) и при *каннибализме*. Например, щука и окунь, не способные потреблять планктон и бентос, могут быть единственными представителями ихтиофауны в некоторых озерах, существуя за счет поедания части своей молодежи, питающейся мелкими животными. Каннибализм наблюдается у морских звезд *Asterias rubens*, бокоплавов *Gammarus pulex*, личинок комара *Procladius* и ряда других животных, когда популяция не обеспечена кормом. В этих случаях каннибализм помогает популяции выжить за счет снижения своей численности.

Поедание одних особей другими может иметь место и в условиях обеспеченности пищей, как это, например, наблюдается в плотных культурах жгутиковых *Peranema trichophorum*.

Чрезвычайно разнообразны формы агонистического поведения, которое, представляет собой столкновение особей за право обладания каким-то объектом с минимальной травматизацией партнеров (без преследования или уничтожения побежденного). Например, у крабов *Pieumnus sayi* борьба за убежище в колонии мшанок заканчивается, как только один из противников начинает удаляться от нее; чем больше разница в размерах крабов, тем меньше актов демонстрации силы необходимо для завершения схватки.

Наряду с прямой борьбой широко распространена и взаимопомощь. Например, у беззубых китов и дельфинов гибнущие особи издаю особые сигналы, и находящиеся поблизости здоровые животные спешат им на помощь, не давая тонущим погружаться в воду. Самцы камчатского краба помогают самкам во время линьки освободиться от старого панциря. У раков-отшельников нередок взаимовыгодный обмен раковинами, когда каждый из них получает более подходящую по размеру. Особенно многообразна и широко распространена взаимопомощь у особей в стаях и скоплениях, а также при

взаимодействии родительских особей с потомством. К отношениям взаимопомощи относятся также случаи выделения особями специфических веществ, стимулирующих метаболизм других представителей своего вида или несущих им полезную информацию. Например, многие гидробионты при ранении хищником выделяют особые «вещества испуга», которые предупреждают об опасности других особей и вызывают у них реакцию бегства. Чувствуя опасность, моллюск *Navanax inermis* выделяет секрет «желтой железы», что вызывает у следующих за ним животных изменение направления движения.

## 12.2. Конкуренция и биохимическое ингибирование

Поскольку жизненные потребности особей одной популяции во многом совпадают, между ними часто возникает конкуренция за недостающие ресурсы. В первую очередь это относится к пище (когда ее количество ограничено), свету при взаимозатемнении, к субстратам, используемым для прикрепления, размножения и др. Например, во время нереста не каждая пара кеты или горбуши может найти место, удобное для откладки икры.

В какой-то мере острота внутривидовой конкуренции снижается в результате различий в потребностях у особей разного размера, пола и физиологического состояния. Например, особи разного возраста обычно отличаются по спектру питания, держатся в разных местах и имеют неодинаковый суточный ритм потребления корма. Благодаря этим различиям конкуренция за пищу становится менее острой.

**Образование стай и скоплений.** Одно из проявлений внутривидовых отношений — объединение отдельных особей в группы, нахождение в которых обеспечивает организм те или иные преимущества. Объединение может быть кратковременным, например для совместной охоты, или охватывать значительный период времени, как это наблюдается у многих бентосных форм. Объединения пелагических животных обычно принято называть стаями, бентосных — скоплениями, агрегациями.

Ярким примером объединений бентосных животных могут служить сложно организованные скопления морских ежей, голотурий. Своеобразные шарообразные скопления образуют крабы.

Формирование стай очень характерно для пелагических животных. Большие скопления — «флотилии» — образуют на поверхности морей водомерки *Halobates robustus*. Огромные стаи численностью несколько миллионов особей и площадью до 20—30 м<sup>2</sup> образуют среди коралловых рифов веслоногие. Особенно характерно стаеобразование для рыб. Благодаря внутривидовой сигнализации стайные рыбы имеют определенные преимущества перед одиночными в количестве информации об окружающем мире. Нахождение в стае помогает животным обнаруживать врагов и защищаться от их нападения,

Нередко стаи рыб и других гидробионтов образуются не для обороны, а нападения. Например, косатки собираются в стаи для охоты на крупных китов.

## 12.3. Воспроизводство и динамика популяций

Важнейшие параметры популяции — ее величина и ее функциональная активность, которая определяется количеством особей. Оба эти параметра регулируются, поддерживаясь на оптимальном уровне при помощи двух процессов — *рождаемость*

и *смертность*. Сдвиги в соотношении скорости этих процессов обуславливают динамику численности и биомассы популяции, тип которой специфичен для каждого вида и, как всякий видовой признак, имеет адаптивный характер. Из этого положения автоматически вытекает, что рождаемость и смертность сами являются регулируемыми свойствами популяции, хотя диапазон и особенности их изменения в значительной мере закреплены наследственно. **Формы рождаемости.** Пополнение популяции новыми особями может выражаться в абсолютных и относительных показателях. Различают рождаемость за тот или иной срок ( $\Delta N$ ), за единицу времени ( $\Delta N/\Delta t$ ) и уровень рождаемости ( $\Delta N/N\Delta t$ ), т. е. величину пополнения в единицу времени, отнесенную к числу особей в исходной популяции. Рождаемость за единицу времени или мгновенную скорость воспроизведения для популяций многих животных вычисляют по формуле  $V=kn/t$ , где  $V$  — показатель рождаемости ( $\Delta N$ );  $n$  — число самок в популяции,  $k$  — среднее число яиц на каждую самку с яйцами,  $t$  — длительность развития яиц в сутках.

Необходимый уровень рождаемости в популяции обеспечивается маневренным использованием разных форм и ритмов размножения, а также регулированием плодовитости особей.

**Формы размножения.** Для каждой популяции характерна та или иная форма размножения, причем в ряде случаев она зависит от внешних условий. Это наблюдается, например, при чередовании полового и бесполого размножения.

Различают виды *моноциклические* — с одним поколением самцов в году, *дициклические* — с двумя, *полициклические* — со многими и *ациклические* — размножающиеся почти исключительно партеногенетически.

Обычно размножение в популяциях гидробионтов происходит с различной интенсивностью во времени и приурочено к тем или иным периодам (сезон года, время суток и др.). В результате этого возникает определенный ритм размножения.

**Плодовитость.** Под плодовитостью популяции понимается количество яиц или других зачатков, образуемых особями в единицу времени. Плодовитость популяции определяется числом особей, участвующих в размножении, частотой этого процесса и индивидуальной плодовитостью — количеством зачатков, образуемых отдельными организмами. Под *абсолютной плодовитостью* понимают общее число икринок, яиц или других зачатков, образуемых организмом в течение одного периода размножения. *Относительная плодовитость* представляет собой отношение абсолютной плодовитости особи к массе ее тела. С увеличением размеров гидробионтов их абсолютная плодовитость обычно возрастает, а относительная падает.

Формы с длительным циклом развития, как правило, более плодовиты, чем формы с коротким циклом. По числу образуемых поколений (поколений) различают формы, размножающиеся в течение жизни один или несколько раз. Организмы, размножающиеся несколько раз в жизни, могут быть однолетними и многолетними. Среди многолетних различают формы, дающие за один год одно, два или много поколений. Число поколений за год у одного и того же вида зависит от условий существования, в первую очередь температурных.

Чем менее благоприятны условия для роста и развития организмов, тем позже наступает у них репродуктивная зрелость и тем реже они образуют новые поколения. К факторам, задерживающим рост и развитие организмов, помимо низких температур, относятся недостаток пищи и кислорода, неблагоприятная соленость и многие другие. В очень большой степени плодовитость зависит от размера образуемых зародышей. Чем они мельче, тем большее их число может отрождать организм, но зато



перспектива достижения каждым зародышем репродуктивной зрелости сильно сокращается.

Плодовитость организмов обычно тесно коррелирует со степенью заботы о потомстве. Как правило, у червей, ракообразных, моллюсков и рыб, охраняющих свои яйца, зародышей образуется гораздо меньше, чем у животных этих же групп, не проявляющих никакой заботы об охране потомства. Так как у водных животных преобладает наружное оплодотворение, то для них в целом характерна относительно высокая плодовитость. Шансы на встречу гамет при наружном оплодотворении сравнительно невысоки, и гидробионтам приходится компенсировать этот биологический минус повышением числа выметываемых гамет.

По мере роста рыб до определенного возраста плодовитость возрастает, а затем снижается. Сначала уменьшается относительная плодовитость, а затем иногда и абсолютная. **Смертность и выживаемость.** Численность особей каждой генерации непрерывно снижается вследствие естественного отмирания, в результате уничтожения другими организмами и гибели из-за неблагоприятных контактов с абиотическим окружением. Темп этого снижения характеризует *смертность* популяции. Величина, обратная смертности, называется *выживаемостью* и характеризуется числом особей, доживающих до того или иного возраста.

**Смертность.** Различают смертность за тот или иной срок, за единицу времени и *уровень смертности*. Показателем смертности может служить плодовитость популяций. Если средняя численность популяции на протяжении значительных отрезков времени остается одинаковой, это значит, что отмирает столько организмов, сколько их образуется. Плодовитость можно рассматривать как адаптацию к той или иной смертности. У некоторых гидробионтов она выражается высокими цифрами: луна-рыба, например, за один раз выметывает до 300 млн. икринок. В популяциях крупных животных ведущую роль может приобретать отмирание старых особей. Существует *кривая смертности*, показывающая степень снижения численности особей с момента отрождения до конца жизненного цикла. Каждая популяция имеет типичную для нее кривую смертности.

Снижение смертности зародышей обеспечивается главным образом благоприятными респираторными и температурными условиями, а также защитой от уничтожения другими организмами. Благоприятные условия для дыхания зародышей обычно создаются в местах, богатых кислородом, проточностью находящейся вокруг них воды. Улучшению газообмена способствуют малые размеры яиц (увеличение относительной поверхности), а также образование различных дыхательных пигментов. Универсальный принцип улучшения условий дыхания пелагических яиц — размещение их в более аэрированных поверхностных слоях воды. В одних случаях это достигается снижением плотности яиц, в других — прикреплением их вблизи поверхности воды. В верхних горизонтах воды плавают яйца многих полихет, иглокожих, насекомых, икра многих кефалиевых, скумбриевых, ставридовых и ряда других рыб.

Эмбриональное развитие ускоряется с повышением температуры. Поэтому многие гидробионты совершают миграции для откладки яиц в местах с благоприятным термическим режимом. Очень часто яйца инкубируются в верхних, более прогреваемых слоях воды. Сохранность яиц в огромной степени определяется их защищенностью от врагов, многие гидробионты, помещая яйца в укрытия, снижают или полностью исключают их поедание. Наибольшая выживаемость зародышей наблюдается в случае живорождения. Большое значение для выживания особей имеет

регулирование темпа развития. Например, при отсутствии подходящего субстрата метаморфоз личинок донных животных может задерживаться на несколько дней или даже недель. Это имеет огромное значение, так как увеличивается возможность выбора подходящего субстрата и соответственно повышается выживаемость личинок.

Когда среда особенно неблагоприятна, многие гидробионты прекращают активное существование, приобретают в это время значительно большую устойчивость к внешним воздействиям и за счет снижения темпа развития повышают свою выживаемость.

Выживаемость особей в сильнейшей степени зависит от характера и темпа их роста. В соответствии с конкретными условиями среды и состоянием популяции скорость роста и его характер у особей могут существенно меняться. Когда условия благоприятны, темп роста повышается, и популяция быстро увеличивает свою биомассу. В неблагоприятных условиях рост особей замедляется и популяция может полностью выключаться из процесса своего воспроизводства.

### Вопросы для самоконтроля

- 1). Внутрипопуляционные отношения: Прямая борьба и взаимопомощь, конкуренция и биохимическое ингибирование, образование стай и скоплений.
- 2) Воспроизводство и динамика популяций: формы рождаемости и размножения. Плодовитость.
- 3) Смертность и выживаемость.

### Список литературы

#### *Основная*

1. **Буруковский, Р.Н.** Зоология беспозвоночных: *уч. пос.*/Р. Н. Буруковский – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 214 с.
2. **Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134с.
3. **Калайда, М.Л.** Гидробиология/ М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб. : Проспект Науки, 2013. – 192 с.
4. **Ким, Н.Г.** Барьерная технология гидробионтов/ Н.Г. Ким. - СПб.: Проспект Науки, 2011. – 336 с.
5. **Шапиро, Я.С.** Агробиология: *уч. пос.*/Я. С. Шапиро. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 288 с.

#### *Дополнительная*

1. **Папина, Т. С.** Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. / Т.С. Папина. - Аналитический обзор. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2010. - 58 с.
2. **Попов, П. А.** Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. / П.А. Попов. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2007. - 270 с.
3. **Полищук, О.Н.** Основы экологии и природопользования: *уч. пос.*/О. Н. Полищук. – СПб.: Проспект Науки, 2011. – 144 с.

## Лекция 13

### Гидробиоценозы

#### 13.1. Структура гидробиоценозов

Под биоценозом (гидробиоценозом) понимают биологическую систему, состоящую из популяций нескольких видов, населяющих определенный участок жизненной арены (биотоп, или экотоп), образующих функциональное единство и осуществляющих во взаимодействии с неживой природой круговорот веществ с использованием энергии, поступающей извне.

Обычно биоценозы состоят из автотрофов и гетеротрофов, реже — только из вторых и тогда являются системами, существующими за счет энергии *аллохтонного* (поступающего извне) органического вещества. В первом случае биоценозы называют *полночленными*, во втором — *неполночленными*. Особую и очень важную функциональную группу в биоценозах представляют азотфиксаторы, относящиеся к автотрофам (цианобактерии), сапротрофам (свободноживущие бактерии) и биотрофам (симбиотические бактерии и актиномицеты).

Чем шире границы биотопа, тем крупнее соответствующий биоценоз. Поскольку в любом биотопе существуют участки с разными условиями, в составе каждого крупного сообщества можно выделить более мелкие. Своё название биоценозы получают по характеру биотопа или по доминирующему виду (например, биоценоз скалистой литорали, биоценоз мидий и т. п.). Нередко объектом системного исследования становятся не все популяции биоценоза, а лишь некоторые, относящиеся к таксону более или менее высокого ранга или к какой-то жизненной форме. Так, например, говорят о планктонном или донном сообществах, о сообществе растений (*фитоценоз*), животных (*зооценоз*), рыб (*ихтиоценоз*, *ихтиоцэн*) и т. п.

Элементы одного биоценоза обычно проникают в соседние сообщества, и наоборот. В связи с этим граница между отдельными биоценозами не бывает резкой, и в месте их соприкосновения существует некоторая переходная зона — *эктон*. Часто она характеризуется населением более разнообразным и обильным, чем в смежных биоценозах. Тенденция к увеличению разнообразия и обилия населения на стыке сообществ получила название *краевого эффекта*. Чем сильнее различаются смежные биотопы, тем разнороднее условия в экотоне и тем больше выражен краевой эффект. Например, особенно богато население зон контакта воды и грунта, воды и атмосферы.

Структурированность сообществ выражена в трех основных аспектах. Прежде всего это определенный компонентный состав биоценоза — набор и количественное соотношение различных видовых популяций, жизненных форм (биоморф) и других структурных элементов. Второй план — то или иное пространственное распределение отдельных элементов, третий — совокупность всех связей, в первую очередь цепей и циклов питания и других взаимодействий. Соответственно говорят о видовой, хорологической, размерной, трофической или иной структуре биоценоза, как одной из характеристик его организации и функционирования.

*Видовая структура*. В состав каждого биоценоза входит некоторое число видов, каждый из которых представлен популяцией той или иной величины. Число видов и их представленность количеством особей, биомассой или иными показателями характеризуют видовую структуру биоценозов. Хотя в их состав входят, как правило, много видов, только один или несколько из них резко выделяются по своей биомассе и

численности. Виды, представленные в биоценозе наибольшим числом особей и биомассой, называются *доминантными*, играющие меньшую роль — *субдоминантными*, остальные — *второстепенными* и совсем редкие — *случайными*. Степень доминирования выражается процентным значением вида в биоценозе по числу особей; их биомассе или иному показателю и зависит от выбора последнего. Часто степень доминирования оценивается по роли, которую вид играет в трансформации энергии.

В пределах биоценоза иногда выделяют *гильдии* — группы видов, взаимодействующих между собой значительно сильнее, чем с другими.

*Размерная структура.* Размерная структура биоценозов зависит от величины организмов, образующих популяции продуцентов, консументов и редуцентов. Размерный состав популяций — очень важный элемент их характеристики, так как с увеличением особей величина их относительной поверхности и соответственно энергетическая активность падают. С возрастанием порядка размерной группы снижаются темп размножения и численность особей, усложняется их организация, повышается длительность жизни, абсолютные приросты.

*Трофическая структура.* В соответствии с трофической ролью, которую играют гидробионты в биоценозе, среди них выделяют автотрофов — *продуцентов* (фотосинтетики и хемосинтетики), гетеротрофов — *макроконсументов* (главным образом животные) и микроконсументов, или *редуцентов* (преимущественно бактерии, актиномицеты, грибы). Консументы, непосредственно питающиеся продуцентами или продуктами их распада, образуют второй трофический уровень биоценоза. Третий трофический уровень возникает в биоценозе, когда в нем присутствуют популяции гидробионтов, живущих за счет поедания организмов второго трофического уровня, и т. д. Организмы второго, третьего и последующих трофических уровней соответственно называются консументами первого, второго и последующих порядков.

Путь, по которому органическое вещество продуцентов перемещается с одного трофического уровня на другой, называется *пищевой цепью*. Совокупность пищевых цепей в биоценозе образует его *пищевую сеть*. В пищевой сети различают *цепи выедания* и *разложения*. Первые складываются на основе голозойного питания, когда животные используют в пищу либо живые организмы — *пастбищные цепи*, либо продукты их разрушения (детрит) — *детритные цепи*. Цепи разложения образуются в результате жизнедеятельности бактерий, грибов и других микроорганизмов, минерализующих органические вещества.

С переходом от одного трофического уровня к следующему численность и общая биомасса особей нередко снижаются, так как на каждой ступени трансформации органического вещества происходит его потеря. В результате образуются так называемые *пирамида чисел* и *пирамида биомасс*, характеризующие степень уменьшения количества организмов с переходом от одного трофического уровня к другому. Так как мелкие организмы при данной биомассе обычно создают больше органического вещества, чем совместно с ними существующие крупные, то не всегда пирамида биомасс закономерно сужается к вершине. Например, при относительно низкой биомассе водоросли могут образовывать такое количество органического вещества, за счет которого способна существовать популяция животных с большей суммарной биомассой. Подобные нарушения исключаются, если сравнение вести по энергетическому принципу. Энергия, трансформируемая на первом трофическом уровне, всегда будет большей, чем на втором; еще меньшей она окажется на третьем и последующих уровнях.

**Хорологическая структура.** Важным показателем структурированности сообществ служит степень упорядоченности хорологического распределения особей. В пространственной структуре биоценозов прежде всего различают вертикальное (*ярусность*) и горизонтальное (*мозаичность*) распределение организмов. Для пелагических сообществ характерна ярусность, в наибольшей степени связанная с градиентами освещенности, температуры и концентрации биогенов. Для донных биоценозов типична мозаичность, обуславливаемая разнородностью грунтов и особенностями гидродинамической активности придонных слоев воды.

У бентосных форм четко прослеживается зональность с переходом от литорали к сублиторали, батии и абиссали Мирового океана. Своеобразные хорологические эффекты могут обуславливаться особенностями циркуляции вод. Например, в Саргассовом море во время ветра водоросли распределяются полосами. Такое распределение — следствие конвекционных процессов, вызываемых ветром. Концентрация органики вдоль линий конвергенции сопровождается обилием потребляющего ее зоопланктона, и здесь его много больше, чем в смежных участках. Немаловажное значение имеет непосредственный занос планктона в глубину током воды в зоне конвергенции. В зоне дивергенции поднятие глубинных вод, лишенных планктона, создает иную вертикальную структуру сообщества.

### 13. 2. Межпопуляционные отношения в гидробиоценозах

Связи популяций в биоценозах прежде всего подразделяют на прямые и косвенные. В первом случае наблюдается непосредственный контакт между особями взаимодействующих популяций, форма которого вырабатывалась исторически. Во втором случае адаптации к непосредственному контакту у особей взаимодействующих популяций нет, и в процессе эволюции они приспособлялись лишь к результатам жизнедеятельности друг друга. Прямые и косвенные связи могут проявляться в самых разных формах, среди которых по функциональному признаку можно выделить *топические, трофические, фабрические* и *форические*. Первая форма связи — случай, когда особи популяции одного вида кондиционируют (видоизменяют) физико-химические условия существования другого (например, аэрация воды фотосинтетиками). Трофические связи проявляются в питании особей одного вида особями другого, продуктами их жизнедеятельности или их мертвыми остатками. Если особи одного вида используют представителей другого, их части или мертвые остатки для «фабрикации» своих сооружений, имеет место фабрическая связь. Форические связи возникают, когда перемещения особей одного вида осуществляются представителями другого.

Частью сложной сети взаимоотношений в биоценозе являются *консорции* — совокупности разнородных организмов, тесно связанных друг с другом в их жизнедеятельности. Консорции состоят из *детерминантов* и зависящих от них *консортов*. Например, консорты-эндосимбионты получают от детерминанта вещества и выделяют метаболиты, используемые организмом-хозяином.

По своему биологическому значению взаимосвязи между популяциями наиболее часто проявляются в форме хищничества и паразитизма, конкуренции и аменсализма, нейтрализма, комменсализма, карпозов и стимуляции, протокооперации и мутуализма.

**Нейтрализм, конкуренция и аменсализм.** *Нейтральные отношения*, т. е. отсутствие непосредственного взаимодействия, характерны для популяций, не

относящихся к смежным трофическим уровням. Такие отношения типичны для лидирующих видов в биоценозе.

**Конкурентные** отношения возникают, когда особи двух или нескольких видов используют одни и те же ресурсы, количество которых ограничено. Конкуренция снижает плотность популяций каждого из конкурирующих видов и проявляется в прямой или косвенной форме. В первом случае имеет место прямая борьба за недостающие ресурсы. К прямой конкуренции относятся все случаи охраны территории или убежищ, борьба за них (например, межвидовая агрессия у раков-отшельников с целью захвата актинии или более подходящей раковины).

Косвенная конкуренция, заключающаяся в использовании разными видами одних и тех же ресурсов, отличается от прямой тем, что ее последствия проявляются медленно, через изменение выживаемости, темпа роста и размножения.

**Аменсализмом** называют одностороннее отрицательное воздействие одной популяции на другую без извлечения пользы. Например, щитни, взмучивая грунт, снижают прозрачность воды и тем самым подавляют фотосинтез водорослей. Затягивая плотным ковром поверхность воды, растения ухудшают респираторные условия для животных.

**Хищничество и паразитизм.** Взаимодействия типа «хищник — жертва» и «паразит — хозяин» доминируют в отношениях популяций смежных трофических уровней. Роль хищников в биоценозе определяется их численностью и степенью поражаемости жертвы. Когда защищенность жертвы мала, а хищников много, они могут резко снижать численность поражаемой популяции.

Следует различать два типа хищников. Одни питаются главным образом больными и старыми особями, не нашедшими убежища, особями низшего ранга или молодью. Такое выедание практически не снижает потенции роста популяции жертвы. Иное воздействие оказывают хищники, эффективно отлавливающие любых особей.

Паразиты играют в биоценозах примерно ту же роль, что и хищники. Иногда они вызывают резкое периодическое снижение численности поражаемых ими популяций, в результате чего падает численность самих паразитов. Если численность паразитов не очень высока и поражаемость ими ограничена, они могут играть роль стабилизатора плотности популяций. Нередки случаи, когда одни эндопаразиты повышают иммунитет хозяина в отношении других. Очень интересны наблюдения над некоторыми видами пиявок, показавшие, что паразитирование на рыбах повышает эффективность использования хозяином корма; создается система «паразит — хозяин», работающая как единое целое.

**Протокооперация и мутуализм.** Эти две формы взаимовыгодных отношений не всегда хорошо разграничиваются между собой. Типичный пример мутуализма, когда одни организмы не могут существовать без других, — симбиоз водорослей с простейшими, губками, кишечнорастворными и червями.

Протокооперация часто прослеживается во взаимоотношениях ряда рыб и ракообразных с кишечнорастворными и иглокожими. Среди щупалец *Physostoma* прячутся мальки трески и ставриды, защитой сифонофоры *Physalia* пользуются рыбки *Murus*, *Nomeus* и др. Рыбы полезны кишечнорастворным, так как освобождают их от паразитов (в частности, от рачков Nupereidae), освежают и очищают воду, привлекают охотящихся за собой рыб, которые, увлекаясь погоней, сами становятся добычей кишечнорастворных.

**Карпозы, комменсализм и стимуляция.** Под *карпозами* понимают все формы сожительства, выгодные для одной из двух популяций и практически безвредные для

другой. Если карпоз сопровождается питанием одного организма за счет другого без нанесения ущерба последнему, говорят о *комменсализме*. *Стимуляция* одних популяций другими может иметь место при их биохимическом взаимодействии.

Перечисленные взаимоотношения играют относительно меньшую роль, чем другие формы взаимодействия популяций, но тем не менее достаточно широко встречаются в сообществах гидробионтов. Самой обычной формой карпоза может служить использование многими гидробионтами высших растений как субстрата для прикрепления или, наоборот, прикрепление водорослей к животным.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Понятие «гидробиоценозы», краткая характеристика. Структура гидробиоценозов: видовая структура, размерная структура.
- 2) Трофическая структура гидробиоценозов.
- 3) Хорологическая структура гидробиоценозов.
- 4) Межпопуляционные отношения в гидробиоценозах. Краткая характеристика и классификация.
- 5) Нейтрализм, конкуренция и аменсализм.
- 6) Хищничество и паразитизм.
- 7) Протокооперация и мутуализм. Карпозы, комменсализм и стимуляция.

### Список литературы

#### *Основная*

1. **Буруковский, Р.Н.** Зоология беспозвоночных: *уч. пос.*/Р. Н. Буруковский – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 214 с.
2. **Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134с.
3. **Калайда, М.Л.** Гидробиология/ М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб. : Проспект Науки, 2013. – 192 с.
4. **Ким, Н.Г.** Барьерная технология гидробионтов/ Н.Г. Ким. - СПб.: Проспект Науки, 2011. – 336 с.
5. **Шапиро, Я.С.** Агробиология: *уч. пос.*/Я. С. Шапиро. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 288 с.

#### *Дополнительная*

1. **Папина, Т. С.** Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. / Т.С. Папина. - Аналитический обзор. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2010. - 58 с.
2. **Попов, П. А.** Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. / П.А. Попов. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2007. - 270 с.
3. **Полищук, О.Н.** Основы экологии и природопользования: *уч. пос.*/О. Н. Полищук. – СПб.: Проспект Науки, 2011. – 144 с.

## Лекция 14

### Гидроэкосистемы и экологические основы их рационального освоения. Гидроэкологическая экспертиза.

#### 14.1. Качество воды. Биопродуктивность.

Составными частями (разделами) гидроэкологической экспертизы являются экологические оценки уровня допустимости техногенного воздействия на следующие показатели состояния природной экосистемы: качество воды; биопродуктивность; ценные и редкие гидробионты и гидробиоценозы; гидропаразитологическая, эколого-токсикологическая и радиоэкологическая ситуации; биологические помехи. В соответствии с принципом системности эколого-экспертное заключение по материалам гидроэкологической экспертизы должно давать интегральную, обобщенную оценку уровня допустимости техногенного воздействия на природную экосистему, составленную на основе систематизации отдельных частных экологических оценок воздействия на перечисленные выше показатели.

Экологическая оценка уровня допустимости техногенного воздействия на *качество водной среды* в природной экосистеме включает в себя эколого-биологическую и эколого-хозяйственную характеристики. Эколого-биологическая характеристика характеризует пригодность свойств воды для обитания в ней гидробионтов.

Эколого-хозяйственная характеристика характеризует пригодность свойств воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения и имеет два аспекта: водохозяйственный – пригодность воды для хозяйственно-бытовых нужд, промышленного и сельскохозяйственного производства, рыбного хозяйства; санитарно-гигиенический аспект – пригодность воды для питьевого водоснабжения, питания человека, его рекреации, занятий спортом, лечения.

Эколого-биологическая и эколого-хозяйственная оценки техногенного воздействия производятся по одинаковым показателям состояния гидроэкосистемы, но важность отдельных показателей и, соответственно весовые коэффициенты степени техногенного воздействия на них, существенно различаются. Например, при оценке техногенного воздействия на качество воды как среды обитания гидробионтов первостепенное значение и наибольшие весовые коэффициенты придаются газовому составу воды, наличию в ней биогенных элементов и органических веществ, прозрачности, рН. При оценке техногенного воздействия на пригодность воды для водохозяйственных целей важнейшими и ключевыми показателями являются минерализация и ионный состав воды, ее прозрачность, наличие в ней токсических веществ, а для санитарно-гигиенических целей – наличие в воде патогенных микроорганизмов, токсикантов, радионуклидов.

Однако, при оценке степени допустимости техногенного воздействия на качество водной среды во всех случаях должны включаться показатели биологического самозагрязнения и самоочищения воды, которые имеют решающее значение для формирования пригодности водной среды и для обитания в ней гидробионтов, и для водохозяйственного потребления и должного санитарно-гигиенического состояния.



**Биопродуктивность**, как указывалось выше является одним из важнейших экологических нормативов при оценке степени допустимости техногенного воздействия, в том числе и на водные экосистемы. В гидроэкологической экспертизе центральное место занимает оценка техногенного воздействия на продуктивность промыслово-ценных гидробионтов, в первую очередь на рыбопродуктивность водоема.

Прогнозирование и оценка степени допустимости техногенного воздействия на биопродуктивность водных экосистем – это наиболее ответственный и сложный раздел гидроэкологической экспертизы, так как современный уровень знаний и методов исследования недостаточен для предсказания и оценки возможной реакции многих гидробионтов на изменяющиеся в результате техногенного воздействия условия обитания в водной среде. В частности, до настоящего времени не установлены пределы адаптивного потенциала (см. часть первая) многих видов промыслово-ценных рыб, особенно, обитающих в новых искусственно созданных гидроэкосистемах. Например, в водохранилищах-охладителях, биологических очистных прудах, бассейно-садковых рыбных хозяйствах, оросительных каналах и др. Недостаточно изучены особенности техногенного воздействия на интродуцированные и акклиматизированные виды рыб. Например, на растительноядных, завезенных из Китая (толстолобик, амур). Зачастую техногенное воздействие вызывает непредвиденное увеличение биопродуктивности водоема не за счет промыслово-ценных видов рыб, численность которых в результате техногенного воздействия резко уменьшается, а за счет резкого увеличения численности малоценных и сорных видов рыб, не имеющих промысловой ценности.

#### **Ценные и редкие гидробионты и гидробиоценозы.**

Этот раздел гидроэкологической экспертизы имеет большое природоохранное значение и включает в себя прогнозирование и оценку допустимости техногенного воздействия на исчезающие, редкие, эндемичные, реликтовые и на интересные в научном отношении и потенциально перспективные в хозяйственном отношении виды гидробионтов и гидробиоценозов.

С природоохранных позиций рекомендации и выводы гидроэкологической экспертизы могут состоять не только в требовании ограничить степень техногенного воздействия, но и изменить место расположения планируемого или эксплуатационного объекта. В особых случаях для сохранения особо редких и ценных гидробионтов и гидробиоценозов гидроэкологическая экспертиза может потребовать создать специальные природоохранные зоны в водоемах в виде заповедников, заказников и т.п.

#### **Гидропаразитологическая, эколого-токсикологическая и радиоэкологическая ситуации.**

Эти три раздела гидроэкологической экспертизы тесно связаны между собой косвенным характером экологических последствий техногенного воздействия, которое изменяет гидропаразитологическую, эколого-токсикологическую и радиоэкологическую ситуацию в водоеме не прямым, а косвенным путем, опосредованным через изменение качества воды. Прогнозирование и оценка степени возможного изменения гидропаразитологической ситуации в водоеме в результате техногенного воздействия производится по показателям, характеризующим численность и распространение паразитов, вызывающих заболевание как обитателей

водной среды – беспозвоночных, рыб, водоплавающих птиц, так и потребителей воды из водоема – сельскохозяйственных животных и человека.

Прогнозирование и оценка степени возможного изменения эколого-токсикологической и радиоэкологической ситуации в водоеме производится по таким показателям, как содержание в воде, миграции, трансформация и накопление токсикантов и нуклидов во взвешенных веществах, в донных отложениях и в телах гидробионтов. Особенное значение в этом разделе имеет прогнозирование и оценка отдаленного мутагенного эффекта токсикантов и радионуклидов, который может быть учтен только в дальнесрочном экологическом прогнозе.

#### **Биологические помехи.**

Этот раздел занимает в гидроэкологической экспертизе особое место, так как в нем сосредоточена экологическая оценка обратной стороны техногенного воздействия, т.е. воздействия компонентов гидроэкосистем на хозяйственные объекты, результатом чего могут быть биологические помехи, наносящие ущерб экономическим интересам.

Особенно большое значение биопомехи имеют для эксплуатации гидротехнических и энергетических объектов. В этом разделе гидроэкологической экспертизы должен быть осуществлен прогноз и оценка масштабов деятельности в водоеме, подвергающемся техногенному воздействию, гидробионтов-возбудителей биопомех, вызывающих зарастание водоемов-охладителей макрофитами, обрастание гидротехнических сооружений моллюсками, засорение водопроводных сооружений биомассой водорослей и др.

### **14.2. Экологические требования и управление техногенным воздействием на гидроэкосистемы.**

При положительном решении гидроэкологической экспертизы о допустимости техногенного воздействия на гидроэкосистему эколого-экспертная комиссия разрабатывает рекомендации для проектируемого или эксплуатируемого хозяйственного объекта, направленные на охрану и рациональное использование водоема, испытывающего техногенное воздействие. Эти рекомендации включают в себя, во-первых, экологические требования по предотвращению или ограничению негативных последствий техногенного воздействия и, во-вторых, способы и средства управления техногенным воздействием, необходимые для осуществления выдвинутых экологических требований.

Экологические требования к качеству воды.

Эти требования представляются не только к самому водоему, но и к территории, окружающей водоем. Главным требованием к водоему является требование поддерживать и усиливать в нем процессы естественного самоочищения от загрязнений, поступающих в него из внешних источников (сточные воды, почвенные смывы, атмосферные осадки и т.п.) и из внутриводоемных источников (эвтрофикация, донные процессы и др.). Главное требование к прилегающей к водоему территории - предотвращать поступление в водоем загрязнений с неочищенными или плохо очищенными хозяйственными и промышленными сточными водами. В связи с этим законодательно закрепленным требованием является запрещение вводить в эксплуатацию хозяйственные объекты раньше, чем будут сооружены и начнут работать очистные сооружения.

1) Экологические требования к биопродуктивности, в первую очередь к рыбопродукционным процессам.

Эти экологические требования наиболее многочисленны и разнообразны:

а) поддерживать надлежащее качество воды как среды обитания рыб и кормовых для них организмов, т.е. выполнять требования, предъявляемые к качеству воды;

б) регулировать гидрологический режим в водоеме для обеспечения естественного воспроизводства промыслово-ценных рыб, особенно регулировать режим уровня воды и ее попусков в водоемы нижнего бьофа;

в) выполнять специальные биоинженерные мероприятия по охране и воспроизводству рыбных запасов путем установки искусственных нерестилищ, рыбопропускных и рыбозащитных устройств на водозаборах и плотинах ГЭС и др.;

г) строго соблюдать сроки и нормы вылова рыб;

д) ограничивать или не допускать проведение дноуглубительных, взрывных и буровых работ в рыбохозяйственных водоемах.

2) Природоохранные экологические требования.

Эти требования направлены на охрану редких и ценных видов гидробиоценозов и гидробионтов. Такие требования предъявляются к водоемам, не входящим в состав заповедных зон, на которых вообще запрещается создавать хозяйственные объекты, оказывающие техногенное воздействие на природные гидроэкосистемы (например, оз. Байкал).

Если в водоеме, не входящем в состав заповедных территорий обнаруживаются ценные и редкие виды гидробионтов и гидробиоценозы, то к проектируемым или эксплуатируемым хозяйственным объектам предъявляются повышенные экологические требования, например:

а) вводить на водоеме режим заповедности с различной степенью допустимости техногенного воздействия;

б) переселять гидробионтов и гидробиоценозы, нуждающиеся в охране, в сходные по условиям обитания аналогичные водоемы с благополучным экологическим режимом;

в) подвергать криоконсервации половые клетки, эмбрионы, культуры тканей для восстановления организмов, охраняемых редких и ценных видов гидробионтов и гидробиоценозов в будущем.

3) Экологические требования к эколого-токсикологическим и радиоэкологическим ситуациям.

Подобно требованиям, предъявляемым к качеству воды, экологические требования к эколого-токсикологической и радиоэкологической ситуации распространяются как на сам водоем, так и на окружающую его территорию.

Главным требованием к водоему является требование создавать в водоеме гидрологический и гидробиологический режимы, которые поддерживают и усиливают в нем процессы естественного самоочищения воды и донных отложений от растворенных и взвешенных токсических и радиоактивных загрязнений путем осаждения, биофильтрации, биоаккумуляции, биодеструкции.

Главное требование к прилегающей к водоему территории - предотвращать поступление в водоем загрязняющих токсических веществ, в частности, тяжелых металлов, фенолов, пестицидов, нефтепродуктов, а также радионуклидов со стоками хозяйственного объекта и с водосборной площади. Остается в силе запрет на эксплуатацию хозяйственного объекта до сооружения и начала работы очистных сооружений.

4) Экологические требования по предотвращению биопомех.

Эти экологические требования, с одной стороны, включают требование поддерживать и усиливать такой гидрологический режим, который препятствует массовому развитию и осадению на твердых поверхностях материалов и конструкций, погруженных в воду гидробионтов-обрастателей (моллюски) и заростателей (макрофиты и водоросли). С другой стороны, одновременно выдвигается требование использовать специальные устройства и способы по борьбе с обрастаниями и зарастаниями гидротехнических и энергетических сооружений.

### **14.3.Способы и средства управления техногенным воздействием на гидроэкосистемы.**

Способы и средства управления техногенным воздействием на гидроэкосистемы с целью выполнения экологических требований по предотвращению или уменьшению негативных последствий техногенного воздействия делятся на три группы.

Первую группу составляют способы и средства, осуществляемые с использованием конструктивных и технологических особенностей самих хозяйственных объектов, оказывающих техногенное воздействие на гидроэкосистемы. Реализуемые с помощью этих конструкций и технологий способы и средства управления техногенным воздействием усиливают природные процессы, поддерживающие гидроэкосистему в нормальном состоянии. Характерные примеры способов и средств управления техногенным воздействием из 1-й группы:

- 1) режим работы ГЭС, с помощью которого поддерживается хорошее качество воды за счет процессов естественного самоочищения в верхнем бьефе плотины (осаждение взвесей) и в нижнем бьефе (усиленная турбуляция водного потока);
- 2) конструктивные особенности ложа и берегов искусственных водоемов, например, оросительных каналов, также способны улучшать качество воды путем ее фильтрации через фильтрующие материалы, например, песок, который используется для облицовки дна и откосов канала;
- 3) регулирование скорости течения, прозрачности, температуры воды, осуществляемое агрегатами хозяйственного объекта (например, Приднепровской ГРЭС), также может благотворно сказываться на структуре и функционировании гидроэкосистемы (бассейно-садковое рыбное хозяйство).

Вторую группу составляют средства и способы, осуществляемые с применением специальных инженерных сооружений, использующих природные механизмы и процессы, происходящие в гидроэкосистеме. Такие сооружения называются экосооружениями, а технологии – экотехнологиями. Например, экосооружение – устройство для искусственной аэрации водной среды, устанавливаемое в искусственных гидроэкосистемах для насыщения воды растворенным кислородом; экотехнология – удаление со дна непроточного водоема избыточного ила с целью улучшения кислородного режима в придонном слое воды.

Третью группу составляют средства и способы, осуществляемые с помощью специальных инженерных сооружений, предотвращающих или ограничивающих поступление в водную среду загрязнений с хозяйственными и промышленными стоками. Например, сооружения по очистке загрязненных природных вод (водопроводные сооружения).

Выбор конкретных способов и средств управления техногенным воздействием на гидрэкосистемы определяется спецификой водоема, который испытывает это воздействие. В качестве примера можно привести обширный перечень способов и средств управления техногенными воздействиями на водохранилище, имеющих своей целью усиление водообмена, внутреннего – между отдельными участками водохранилища, внешнего – с нижележащими водоемами. Интенсивный водообмен улучшает кислородный режим, переработку растворенных и взвешенных загрязнений, устраняет стратификацию водной массы. Основными способами и средствами интенсификации водообмена в водохранилище, испытывающем техногенное воздействие, являются:

- 1) уменьшение зоны мелководий путем сооружения защитных дамб;
- 2) регулирование уровня режима путем оптимизации попусков воды в нижний бьеф плотины и сроков заполнения чаши водохранилища;
- 3) содержание системы каскада небольших водохранилищ, которая более эффективно действует на водообмен, чем одно равноценное по объему большое водохранилище, путем попусков воды из вышерасположенных в каскаде водохранилищ в нижерасположенные;
- 4) использование искусственной дестратификации и аэрации толщи воды в малых водохранилищах с помощью гидравлических насосных станций, перекачивающих поверхностный слой ко дну и наоборот, или с помощью пневматических аэраторов;
- 5) удаление из водохранилища придонного слоя воды с накопившимися в нем органическими и биогенсодержащими веществами.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Назовите основные составные части гидробиологической экспертизы.
- 2) Экологические требования и управление техногенным воздействием на гидрэкосистемы.
- 3) Способы и средства управления техногенным воздействием на гидрэкосистемы.

### Список литературы

#### *Основная*

1. Буруковский, Р.Н. Зоология беспозвоночных: уч. пос./Р. Н. Буруковский – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 214 с.
2. Березина, Н.А. Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134с.
3. Калайда, М.Л. Гидробиология/ М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб. : Проспект Науки, 2013. – 192 с.

4. **Ким, Н.Г.** Барьерная технология гидробионтов/ Н.Г. Ким. - СПб.: Проспект Науки, 2011. – 336 с.
5. **Шапиро, Я.С.** Агробиология: *уч. пос.*/Я. С. Шапиро. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 288 с.

*Дополнительная*

1. **Папина, Т. С.** Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. / Т.С. Папина. - Аналитический обзор. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2010. - 58 с.
2. **Попов, П. А.** Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. / П.А. Попов. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2007. - 270 с.
3. **Полищук, О.Н.** Основы экологии и природопользования: *уч. пос.*/О. Н. Полищук. – СПб.: Проспект Науки, 2011. – 144 с.

## Лекция 15

### Загрязнение водных экосистем. Антропогенное эвтрофирование: причины и контроль.

#### 15.1. Агенты эвтрофирования

Важное последствие бытового загрязнения вытекает из того, что коммунальные сточные воды, кроме большого количества органических веществ, несут и много биогенных элементов. Результатом этого становится антропогенное эвтрофирование водоемов и водотоков. Ряд авторов разделяет эвтрофирование – естественный процесс старения экосистем водоемов и эвтрофикацию, антропо-генную или экспериментальную. Было даже предложено этот процесс именовать дистрификацией. В отечественной литературе, в отличие от англоязычной, где термин один (eutrophication) существуют варианты термина: эвтрофирование, эвтрофикация, эвтрофизация, эвтрификация, эвтрофия, евтрофирование, евтрификация, евтрофия. Особо нужно выделить английский термин – в англоязычной литературе «антропогенное» эвтрофирование называется «культурным» (cultural eutrophication).

Главными агентами эвтрофирования могут выступать соединения азота и фосфора, главным образом в виде нитратов и фосфатов. В конце 1960-х гг. было широко распространено убеждение о загрязнении рек, озер и подземных вод нитратами бытовых сточных вод, сточных вод животноводческих комплексов и, особенно, возделываемых полей. Наибольшие опасения вызывал тот факт, что высокое содержание нитратов в воде может вызвать заболевания. Например, метгемоглобинемию, или синдром «blue-baby» – у детей младше 6 мес. Заболевание это чрезвычайно редкое, но между 1945 и 1960 гг. в мире было зарегистрировано 2000 случаев. В США погиб 41 младенец, в Европе – 80. Нитраты подозревались и в том, что они могут реагировать с аминами и амидами с образованием канцерогенов: нитрозаминов и нитрозамидов. Экспериментальные исследования сняли эти подозрения. Главной угрозой, которую представляют нитраты для окружающей среды, является эвтрофирование водоемов. Источники поступления агентов эвтрофирования: естественное вымывание питательных веществ из почвы и выветривание пород, сбросы частично очищенных или неочищенных бытовых сточных вод, содержащих органические соединения азота и фосфора, нитраты и фосфаты, смыв неорганических удобрений, содержащих нитраты и фосфаты, смыв с ферм навоза, содержащего органические соединения азота и фосфора, нитраты, фосфаты и аммиак, смывы с нарушенных территорий (шахты, отвалы, стройки, неправильное использование земель), сбросы детергентов, содержащих фосфаты, поступление нитратов из атмосферы.

#### 15. 2. Стадии эвтрофирования

При эвтрофировании водная экосистема последовательно проходит несколько стадий. Сначала происходит накопление минеральных солей азота и/или фосфора в воде. Эта стадия, как правило, непродолжительна, так как поступающий лимитирующий элемент немедленно вовлекается в кругооборот и наступает стадия интенсивного развития водорослей в эпилимнионе. Нарастает биомасса фитопланктона, увеличивается мутность воды, повышается концентрация кислорода в верхних слоях воды. Затем наступает стадия отмирания водорослей, происходят

аэробная деградация детрита, образование хемоклина. Интенсивно отлагаются донные илы с повышенным содержанием органики. Отмечаются изменения зооценоза (замещение лососевых рыб карповыми).

Наконец, наступает полное исчезновение кислорода в глубинных слоях и начинается анаэробное брожение. Характерно образование сероводорода, сероорганических соединений и аммиака. Опасности эвтрофирования подвергаются даже моря. Так, в настоящее время Северное море получает азота в 4 раза больше фонового уровня, фосфатов – в 7 раз больше фонового. От этого прироста 37 % азота и 68 % фосфата – из бытовых сточных вод, 60 % азота и 25 % фосфатов – из сельскохозяйственных смывов. Обильная растительность может препятствовать движению воды и водного транспорта, вода может стать непригодной для питья даже после обработки, рекреационная ценность водоема может снизиться, могут исчезнуть коммерчески важные виды рыб (такие как форель). Наконец, эвтрофирование приводит к вспышкам «цветения» (массового развития) водорослей. Цветение водорослей наносит двойной ущерб водной системе. Во-первых, оно снижает освещенность, вызывая гибель водных растений. Тем самым нарушаются естественные местообитания многих гидробионтов. Во-вторых, при отмирании водорослей потребляется много кислорода, что может привести к тем же последствиям, что и прямое внесение органики в воду. В 1988, 1989 гг. в восточном Северном море наблюдалась вспышка развития *Chrysochromulina* sp. в богатых биогенами водах, выносимых Рейном. При этом были отмечены массовые заморы рыбы в шведских и норвежских водах. Для обозначения цветения вод в английском языке используется термин *discoloured waters*. Кроме того, есть специальные термины для массового развития конкретных видов водорослей. Так, *brown tide* (бурый прилив) – массовое развитие *Phaeocystis* sp., *red tide* (красный прилив) – обычно вызывается массовым развитием *Gymnodinium* sp., *Mesodinium* sp. Кроме обогащения воды легкоокисляемой органикой, приводящей к заморам, водоросли способны продуцировать и токсические вещества (так называемые альготоксины). Так, *Alexandrium tamarense* вырабатывает сакситоксин нервно-паралитического действия, аккумулируемый съедобными моллюсками. *Prymnesium parvum* выделяет вещества, высокотоксичные для рыб. Токсины, образуемые *Microcystis*, *Aphanizomenon*, *Anabaena*, действуют на печень и могут быть нейротоксичны. Например, в 1989 г. При массовом развитии сине-зеленых водорослей в английских озерах погибло несколько собак.

### 15.3. Борьба с эвтрофированием

Как и любые меры по охране окружающей среды борьба с эвтрофированием складывается из двух групп методов: восстановительных и профилактических. Восстановительные методы включают в себя: отвод стока для снятия нагрузки по биогенам; разбавление вод для снижения концентрации биогенных элементов; углубление дна для увеличения объема гипolimниона; драгирование для изъятия биогенных элементов, депонированных в донных осадках; изъятие вод из гипolimниона; спуск водохранилищ; химическую обработку для связывания и осаждения биогенных элементов или уничтожения водорослей; нарушение стратификации и реаэрацию; сбор фитомассы и биоманипуляцию.

Профилактические методы, используемые для предотвращения эвтрофирования: контроль сброса биогенных веществ; удаление биогенных веществ из сточных вод;



использование предварительных отстойников; стратегическая перестройка управления водопользованием в бассейне.

### **Вопросы для самоконтроля**

- 1). Источники поступления и образования в водоемах биогенных элементов. Распределение, динамика и роль в водоемах биогенных элементов.
- 2). Эвтрофирование.
- 3). Антропогенное эвтрофирование: причины и контроль.

### **Список литературы**

#### *Основная*

1. **Буруковский, Р.Н.** Зоология беспозвоночных: *уч. пос.*/Р. Н. Буруковский – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 214 с.
2. **Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134с.
3. **Калайда, М.Л.** Гидробиология/ М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб. : Проспект Науки, 2013. – 192 с.
4. **Ким, Н.Г.** Барьерная технология гидробионтов/ Н.Г. Ким. - СПб.: Проспект Науки, 2011. – 336 с.
5. **Шапиро, Я.С.** Агробиология: *уч. пос.*/Я. С. Шапиро. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 288 с.

#### *Дополнительная*

1. **Папина, Т. С.** Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. / Т.С. Папина. - Аналитический обзор. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2010. - 58 с.
2. **Попов, П. А.** Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. / П.А. Попов. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2007. - 270 с.
3. **Полищук, О.Н.** Основы экологии и природопользования: *уч. пос.*/О. Н. Полищук. – СПб.: Проспект Науки, 2011. – 144 с.

## Лекция 16

### Загрязнение экосистем бытовыми сточными водами.

#### 16.1. Краткая характеристика и источники поступления

Старейшим видом загрязнения вод являются прямые отходы человеческой жизнедеятельности. В пересчете на сухое вещество каждый взрослый человек за год «производит» около 20 кг органического вещества, 5 кг азота и 1 кг фосфора. Первоначально эти отходы напрямую использовались в качестве удобрений, затем появились первые земляные уборные. Часть отходов при этом неизбежно попадала в источники питьевой воды. Именно поэтому большие города уже в древности стали строить водопроводы из достаточно удаленных от мест скопления людей источников.

С появлением ватерклозетов вторично возникла идея простого решения проблемы – разведения отходов и удаления их от места сброса. Объемы, а затем и состав подлежащих очистке сточных вод существенно изменились. Коммунально-бытовые стоки поступают в настоящее время не только из жилых зданий, но и из больниц, столовых, прачечных, небольших промышленных предприятий и т. п. Современные бытовые стоки, кроме собственно легкоокисляемых органических веществ и биогенных элементов, содержат множество веществ, используемых в повседневном обиходе: детергенты и СПАВ, химикалии, лекарственные препараты и т. д.

Поступающие в водотоки и водоемы легкоокисляемые органические вещества подвергаются там химическому и микробиологическому окислению. Для измерения содержания органических веществ в воде принято пользоваться величиной биохимического потребления кислорода за 5 сут. (БПК<sub>5</sub>, BOD<sub>5</sub> – Biochemical Oxygen Demand). Ее определяют по разнице содержания в воде кислорода при отборе пробы и после пяти суток инкубации без доступа кислорода. БПК<sub>5</sub>, отражая содержание легкоокисляемой органики в воде, является универсальным показателем, используя который можно сопоставить степень загрязнения от разных источников.

#### 16.2. Последствия загрязнения бытовыми сточными водами

Легкоокисляемое органическое вещество, в избытке содержащееся в коммунально-бытовых стоках, становится питательной средой для развития множества микроорганизмов, в том числе и патогенных. В нормальной почве содержится большое количество микроорганизмов, способных вызывать тяжелые инфекционные заболевания. Обычно питьевая вода защищена от вторжения этих микроорганизмов тем, что содержание в ней доступной пищи для бактерий (легкоокисляемых органических веществ) невелико и практически все они используются нормальной водной микрофлорой. Однако со значительным ростом концентрации органики в воде почвенные патогенные микроорганизмы находят достаточно источников пищи для себя и могут стать источником вспышки инфекции. Кроме того, повышение количества органики в воде стимулирует рост и непатогенной микрофлоры, служащей, в свою очередь, пищей для более крупных возбудителей заболеваний – ряда амёб (как это было, например, с амёбами, вызвавшими вспышку менингоэнцефалита с летальным исходом среди флоридских подростков), других паразитов, проводящих в воде значительную часть своего жизненного цикла. В условиях избытка питания могут

развиться и почвенные грибки, продуцирующие канцерогенные вещества, например афлотоксины. Кроме того, множество патогенных бактерий попадает в воду непосредственно с коммунально-бытовыми сточными водами. Найдя там условия благоприятные для размножения, они развиваются в массовых количествах. Водоемы замедленного водообмена (озера и водохранилища) при неконтролируемом бытовом загрязнении легко превращаются в очаги инфекций.

Кроме непосредственной опасности развития патогенных организмов в воде, загрязненной бытовыми стоками, существует другое не прямое неприятное для человека последствие этого вида загрязнений. При разложении органического вещества (и химическом, и микробиологическом) потребляется кислород. В случае тяжелого загрязнения содержание растворенного в воде кислорода падает настолько, что это сопровождается не только заморами рыбы, но и невозможностью нормального функционирования микробиологических сообществ. Происходит деградация водной экосистемы. В проточных водах и в водоемах картина последствий загрязнения бытовыми стоками выглядит по-разному. В проточных водах образуются четыре, следующие друг за другом по течению, зоны. В них совершенно четко выражены градиенты содержания кислорода (увеличение от места сброса вниз по течению), биогенных веществ и БПК<sub>5</sub> (соответствующее снижение), видового состава биологических сообществ.

Первая зона – зона полной деградации, где происходит смешивание сточных и речных вод. Далее располагается зона активного разложения, в которой микроорганизмы разрушают большую часть попавших органических веществ. Затем следуют зоны восстановления качества воды и, наконец, чистой воды.

Еще в начале XX в. Р. Кольквитц и М. Марссон привели списки индикаторных организмов для каждой из этих зон, создав так называемую шкалу сапробности (от греч. сапрос – гнилой). В первой зоне, полисапробной, содержится значительное количество нестойких органических веществ и продуктов их анаэробного распада, много белковых веществ. Фотосинтез отсутствует, и кислород поступает в воду только из атмосферы, полностью расходуясь на окисление. Анаэробные бактерии вырабатывают метан, *Desulfovibrio desulphuricans* восстанавливает сульфаты до сероводорода, что способствует образованию черного сернистого железа. Благодаря этому ил черный, с запахом сероводорода. Очень много сапрофитной микрофлоры, нитчатых бактерий, серных бактерий, простейших – инфузорий, бесцветных жгутиковых, олигохет тубифицид.

В следующей за ней  $\alpha$ -мезосапробной зоне идет аэробный распад органических веществ. Аммонийные бактерии метаболизируют азотные соединения с образованием аммиака. Высокое содержание углекислоты, кислорода все еще мало, но сероводорода и метана уже нет, БПК<sub>5</sub> составляет десятки миллиграммов в литре. Сапрофитные бактерии исчисляются десятками и сотнями тысяч в 1 мл. Железо присутствует в окисной и закисной формах. Протекают окислительно-восстановительные процессы. Ил серого цвета. Преобладают организмы, приспособившиеся к недостатку кислорода и высокому содержанию углекислоты. Много растительных организмов с миксотрофным питанием. В массе развиваются нитчатые бактерии, грибы, осциллятории, хламидомонады, эвглены. Встречаются сидячие инфузории, коловратки, много жгутиковых. Много тубифицид и личинок хирономид.

В β-мезосапробной зоне практически нет нестойких органических веществ, они почти полностью минерализовались. Сапрофитов– тысячи клеток в 1 мл. Содержание кислорода и углекислоты колеблется в зависимости от времени суток. Ил желтый, идут окислительные процессы, много детрита. Много организмов с автотрофным питанием, наблюдается цветение воды. Встречаются диатомеи, зеленые, много протококковых водорослей. Появляется роголистник. Много корненожек, солнечных, инфузорий, червей, моллюсков, личинок хирономид. Встречаются ракообразные и рыбы.

Олигосапробная зона соответствует зоне чистой воды. Цветения не бывает, содержание кислорода и углекислоты постоянно. На дне мало детрита, автотрофных организмов и червей, моллюсков, хирономид. Много личинок поденок, веснянок, можно встретить стерлядь, голяна, форель.

В водоемах замедленного водообмена картина зависит от размеров водоема и режима сброса сточных вод. В больших водоемах (морях, крупных озерах) вокруг постоянно действующего источника образуются, концентрически расположенные, поли-, мезо и олигосапробная зоны. Такая картина может сохраняться неопределенно долгое время, если самоочистительный потенциал водоема позволяет ему справляться с поступающей нагрузкой.

Если водоем небольшой, то он трансформируется, по мере поступления загрязнений из олигосапробного в полисапробное состояние, а со снятием нагрузки может вернуться в олигосапробное состояние.

Рассмотренное выше эвтрофирование также, как правило, является следствием загрязнения бытовыми сточными водами, хотя мы видели и много других его источников.

### **Вопросы для самоконтроля**

- 1). Загрязнение с бытовыми сточными водами.
- 2). Последствия загрязнения бытовыми сточными водами.

### **Список литературы**

#### *Основная*

1. **Буруковский, Р.Н.** Зоология беспозвоночных: *уч. пос.*/Р. Н. Буруковский – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 214 с.
2. **Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134с.
3. **Калайда, М.Л.** Гидробиология/ М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб. : Проспект Науки, 2013. – 192 с.
4. **Ким, Н.Г.** Барьерная технология гидробионтов/ Н.Г. Ким. - СПб.: Проспект Науки, 2011. – 336 с.
5. **Шапиро, Я.С.** Агробиология: *уч. пос.*/Я. С. Шапиро. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 288 с.

#### *Дополнительная*

1. **Папина, Т. С.** Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. / Т.С. Папина. - Аналитический обзор. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2010. - 58 с.

- 2. Попов, П. А.** Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. / П.А. Попов. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2007. - 270 с.
- 3. Полищук, О.Н.** Основы экологии и природопользования: *уч. пос.*/О. Н. Полищук. – СПб.: Проспект Науки, 2011. – 144 с.

## Лекция 17

### Консервативные токсиканты в водных экосистемах.

Среди веществ, поступающих в природные воды, консервативны, т. е. практически не трансформируются биотой, три класса веществ: тяжелые металлы, пестициды и синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), входящие в состав синтетических моющих средств (СМС), или детергентов. Первые – в силу своей химической природы, вторые (в большей) и третьи (в меньшей степени) – в силу чуждости их строения биосфере. Не перерабатываясь организмами, эти вещества, тем не менее, способны накапливаться в их тканях и аккумулироваться в пищевых цепях.

#### 17.1. Загрязнение вод металлами

Металлы принадлежат к числу главных неорганических загрязнителей пресных и морских вод. Это, в основном, соединения мышьяка, свинца, кадмия, ртути.

Острота проблемы загрязнения водной среды токсичными металлами определяется: □ высокой концентрацией соединений тяжелых металлов в прибрежных районах океана и внутренних морях; □ образованием высокотоксичных металлоорганических комплексов, которые как включаются в абиотический компонент экосистемы, так и поглощаются гидробионтами; □ накоплением металлов гидробионтами в дозах, опасных для человека.

Среди загрязняющих веществ по токсикологическим оценкам «стресс-индексов» тяжелые металлы занимают второе место, уступая только пестицидам.

Основные источники поступления токсичных металлов в водную среду – прямое загрязнение и сток с суши. Только воды рек ежегодно приносят в океан свыше 320 Мт железа. Кроме того, важная роль в загрязнении гидросферы металлами принадлежит атмосферному переносу. Вклад атмосферных выпадений свинца в его общий поток в Мировой океан в настоящее время уже превышает геохимический вклад этого элемента с речными стоками. Для кадмия поступления в океан за счет атмосферных выпадений и прямого стока с суши близки, а для ртути атмосферный поток составляет около 25 % общего поступления в океанскую среду. Сейчас уже признано, что главным источником поступления тяжелых металлов в окружающую среду является не металлургическое производство, а сжигание угля. Ежегодное сжигание 2,4 млрд. т каменного и 0,9 млрд. т бурого угля рассеивает в окружающей среде 200 кт мышьяка и 224 кт урана, а мировое производство этих металлов составляет только 40 и 30 кт соответственно.

Как уже сказано выше, важную роль в загрязнении гидросферы металлами играют сточные воды. Естественно, что наибольшее загрязнение металлами приходится на моря и те части океана, где антропогенная активность высока. Более других загрязнены воды Персидского и Аденского заливов Индийского океана, экваториальная часть Тихого океана, воды течения Гольфстрим в Атлантике, Северное и Средиземное моря.

Токсичность тяжелых металлов для планктона определяется тем, что планктонные организмы (особенно фильтраторы) концентрируют металлы, которые ввиду своей неразложимости сохраняются в живых тканях неограниченное время, способствуют гибели планктонтов, а с отмершим планктоном оседают в донных отложениях. Кроме того, что они аккумулируются организмами, они концентрируются в пищевых цепях,

что во многом, но не во всем определяет разную токсичность металлов для разных групп гидробионтов

Мышьяк широко распространен в содержащих фосфаты породах и соответственно встречается в виде примесей в фосфатных удобрениях или детергентах, производимых из этого сырья. Обычные формы мышьяка в природе:  $\text{H}_3\text{AsO}_3$ ,  $\text{As}(\text{OH})_3$ ,  $\text{H}_3\text{AsO}_4$ .

Некоторое количество мышьяка используется в качестве пестицида в виде арсенатов натрия и меди для опрыскивания плодовых деревьев. Но основными антропогенными источниками мышьяка являются сжигание угля и выплавка металлов. Если средние концентрации мышьяка в воздухе больших городов составляют 0,01–0,56 мкг·м, то вблизи плавильных предприятий (на расстоянии нескольких километров) 1,5–7,9 мкг·м, а содержание мышьяка в летучей золе угольных электростанций составляет 43–312 мг·кг

Ежегодно добывается примерно 3,5 Мт свинца, а с учетом повторного извлечения из отходов производство свинца составляет 4,1 Мт·год. Загрязнение природных вод и воздуха свинцом происходит в результате процесса обжига и плавки свинцовых руд с целью получения металлического свинца, за счет выбросов отходов с производств, использующих свинец, а также при сжигании угля, древесины и других органических материалов, включая городские отходы. Кроме того, значительные количества свинца попадают в окружающую среду благодаря использованию свинцовых труб для водопроводов и свинцово-кислотных аккумуляторов.

Ртуть относится к числу наиболее токсичных металлов, чаще других встречаемых в окружающей среде. Ртуть – один из самых редких элементов с очень низким содержанием в земной коре. Она встречается в природе в виде красного сульфида, циннабара, черного сульфида и в виде жидкой ртути. В окружающую среду ртуть поступает как из природных источников, так и из источников техногенного происхождения. Природная ртуть попадает в биосферу из относительно глубоких слоев земной коры благодаря вулканической, гео- и гидротермальной активности.

Главные антропогенные источники ртути: сжигание ископаемого топлива; выбросы промышленных предприятий, из которых наиболее важны сбросы сточных вод с электролизных фабрик по производству хлорощелочей и едкого натра и предприятий, где сульфат ртути используется в качестве катализатора; использование в сельском хозяйстве различных биоцидов, содержащих ртутные соединения. Было подсчитано, что в результате деятельности человека в окружающую среду ежегодно поступает до 10 кт ртути, из которых 3 кт – за счет сжигания ископаемого топлива. В морскую среду попадает около 5 кт ртути, общее ее количество в водах Мирового океана равно 10 Мт при средней концентрации 0,01–0,03 мкг·л

## **17.2. Загрязнения хлорированными углеводородами**

Наибольшую опасность для окружающей среды представляют ксенобиотики – антропогенно синтезированные вещества чуждые биосфере, в том числе высокомолекулярные органические вещества, такие как хлорированные углеводороды.

В состав группы хлорированных углеводородов входит несколько основных классов: □ хлорированные бифенилы – смесь бифенилов, частью или полностью замещенных атомами хлора (ПХБ); алифатические хлорированные углеводороды, включающие циклические (например, гексахлорциклогексан (ГХГЦ)) и нециклические (например, дихлорэтан) углеводороды; ароматические хлорированные

углеводороды (ДДТ, гексахлорбензолы (ГХБ)); хлорированные продукты диенового синтеза (альдрины, дильдрин).

Большая часть этих соединений до сих пор используется разными странами как пестициды: гексахлорбензолы(ГХБ), гексахлорциклогексаны(ГХЦГ), особенно г-изомер (линдан), ДДТ. Наиболее изучены среди хлорированных углеводородов ПХБ, поскольку они представляют особый интерес по следующим причинам: большие масштабы производства и широкое применение в промышленных и бытовых материалах; высокая устойчивость к биодеградации и, следовательно, способность к биоаккумуляции; токсичность.

ПХБ применяют в качестве диэлектриков в трансформаторах и крупных конденсаторах, в системах теплопередачи и гидравлических системах, они входят в состав смазочных и охлаждающих масел, пестицидов, а также используют в качестве пластификаторов в красителях, в копировальной бумаге, клеях, замазках и пластических массах.

Поскольку ПХБ столь широко применяются в материалах, используемых современной цивилизацией, в бытовом и промышленном мусоре содержится много ПХБ. Очевидно, что кроме целенаправленного внесения ПХБ в окружающую среду как пестицидов, большое количество их попадает в воздух и, соответственно, в воду и почву в результате сжигания мусора на мусоросжигающих заводах. В Британии, например, сжигание мусора ответственно за 60–85 % общего загрязнения среды ПХБ. «Зеленые» часто с торжеством указывают на тот факт, что при анализе тканей египетских мумий в них не обнаружено диоксинов и других ПХБ. Это совершенно естественно, поскольку ПХБ– продукт современной цивилизации, во многом основанной на материалах, содержащих ПХБ. Из всех произведенных ПХБ примерно третья часть находится в окружающей среде, из них, около 2 % аккумуляровано биотой. Львиная доля ПХБ в окружающей среде сосредоточена в пресноводных и прибрежных донных отложениях и в водах открытого океана.

### 17.3. Пестициды

Пестициды– необходимый компонент современного сельского хозяйства. Мировые потери урожая от болезней, вредителей, сорняков составляют:

- зерновых– 510 Мт;
- сахарной свеклы– 569 Мт;
- сахарного тростника– 567 Мт;
- картофеля– 129 Мт.

Без применения пестицидов урожайность в мире снизилась бы:

- для картофеля– на 37 %;
- для капусты– на 22 %;
- для яблок– на 10 %;
- для персиков– на 9 %.

Для борьбы с вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур сначала использовали вещества, содержащие тяжелые металлы, такие как свинец, мышьяк и ртуть. Эти неорганические соединения называют пестицидами первого поколения.

Современные пестициды представляют собой большую группу органических веществ, токсичных для разного рода нежелательных организмов. По механизму биологического действия они подразделяются на: зооциды; инсектициды; эпициды; акарициды; родентициды; лимациды; нематоциды; фунгициды; бактерициды; гербициды; дефолианты; дефлоранты; десиканты (для высушивания листьев на корню); фумиганты(для окуливания угодий или помещений); ретарданты (для регуляции роста



и развития растений); репелленты (для отпугивания насекомых, грызунов); аттрактанты (для привлечения насекомых с последующим уничтожением).

Сегодня в мире в среднем на 1 га наносится 300 г химических средств защиты растений.

Оказалось, что использование органических пестицидов связано с целым рядом проблем. Их можно разделить на четыре категории:

- развитие устойчивости у вредителей;
- возрождение вредителей и вторичные вспышки численности;
- рост затрат;
- нежелательное воздействие на окружающую среду.

Успехи применения пестицидов в 1950–70-е гг. вызвали интерес к использованию аналогичных методов в водном хозяйстве. Стали исследовать возможность применения гербицидов, альгицидов, моллюскицидов, ихтиоцидов и других биоцидов для подавления или сокращения численности «сорных» и «вредных» гидробионтов. Неприятной неожиданностью стало то, что в водных экосистемах отрицательные последствия применения пестицидов оказались даже резче и острее, чем в экосистемах наземных.

Пестициды поступают в водоемы с дождевыми и тальными водами (поверхностный сток), после авиа- и наземной обработки сельскохозяйственных угодий, лесов и водоемов пестицидами, с дренажно-коллекторными водами, образующимися при выращивании хлопка и риса, со сточными водами предприятий, производящими эти вещества. В составе мирового поверхностного стока содержится не менее 2 Мт инсектофунгицидов и других пестицидов органической природы, которыми ежегодно обрабатываются посевы и насаждения сельскохозяйственных культур.

Использование ПХБ в качестве пестицидов обуславливает значительно большее загрязнение ими окружающей среды, чем поступление из других источников. Так, например, доля диоксинов в донных осадках Токийского залива, попавших туда из-за использования пестицидов, оказалась в 5 раз выше, чем благодаря поступлению из других источников.

Стойкие пестициды (ДДТ и др.) способны к биоаккумуляции. Как правило, в воде часть их находится в растворенном виде в малых и ультрамалых концентрациях, порядка нг или мкг·л воды, но значительно большая их доля адсорбирована на неорганических и органических частицах, на поверхности тел организмов бактерио-, фито- и зоопланктона. Гидробионты-фильтраторы, поглощая взвеси непосредственно из воды и выедавая фито- и бактериопланктон, накапливают пестициды в своих тканях и передают их в последующие звенья трофических цепей – рыбам. При отмирании планктон оседает на дно и загрязняет донные отложения. Донные отложения служат пищей организмам детритофагам, поедание которых рыбами бентофагами обеспечивает накопление пестицидов уже в их тканях. Таким образом, происходит загрязнение пестицидами двух основных подсистем водной экосистемы: пастбищной и детритной цепей питания.

### Вопросы для самоконтроля

- 1). Консервативные токсиканты в экосистемах. Загрязнение вод металлами.
- 2). Источники поступления металлов в водоемы и водотоки.
- 3). Токсичность тяжелых металлов для гидробионтов.
- 4). Мышьак в гидросфере.

- 5). Свинец в гидросфере.
- 6). Ртуть в гидросфере.
- 7). Синтетические органические вещества в водных экосистемах.
- 8). Хлорированные углеводороды в водных экосистемах.
- 9). Пестициды в гидросфере.

## Список литературы

### *Основная*

- 1. Буруковский, Р.Н.** Зоология беспозвоночных: *уч. пос.*/Р. Н. Буруковский – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 214 с.
- 2. Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134с.
- 3. Калайда, М.Л.** Гидробиология/ М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб. : Проспект Науки, 2013. – 192 с.
- 4. Ким, Н.Г.** Барьерная технология гидробионтов/ Н.Г. Ким. - СПб.: Проспект Науки, 2011. – 336 с.
- 5. Шапиро, Я.С.** Агробиология: *уч. пос.*/Я. С. Шапиро. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 288 с.

### *Дополнительная*

- 1. Папина, Т. С.** Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. / Т.С. Папина. - Аналитический обзор. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2010. - 58 с.
- 2. Попов, П. А.** Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. / П.А. Попов. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2007. - 270 с.
- 3. Полищук, О.Н.** Основы экологии и природопользования: *уч. пос.*/О. Н. Полищук. – СПб.: Проспект Науки, 2011. – 144 с.

## Лекция 18

### Паразитарные системы в гидробиоценозах.

#### 18.1. Основные термины и понятия, используемые в гидропаразитологии.

Имея общую среду обитания с другими гидробионтами, рыбы во многих случаях сами оказываются средой обитания многих одноклеточных и многоклеточных животных существ. Они практически вовлечены в качестве соактантов в функционирование эволюционно сформировавшихся паразитарных систем, нередко являются жертвами паразито-хозяйинных отношений, т. е. носителями и объектами питания паразитов. Большинство паразитов рыб и других обитателей водной среды являются облигатными и обладают барьером специфической гостальности, но, тем не менее, некоторые из них на различных стадиях биологического цикла развития подчиняются «правилу Лейкарта» и паразитируют в организме млекопитающих (дозревают).

Многие исследователи утверждают, что традиционное использование рыбы и рыбопродуктов в рационе людей эволюционно объединило человека, животных, многие виды рыб, а также многоклеточных паразитов в специфические паразитарные системы. В мировой медицинской и ветеринарной науках широко освещены вопросы функционирования гельминтозов–зоонозов, при которых человек и животные являются промежуточными, дополнительными или дефинитивными хозяевами–прокормителями этих паразитов. Приспособление паразитов к существованию (а вернее к паразитированию) в отдельных видах живых существ определило эволюционное формирование природных очагов этих паразитозов, ограничиваясь средой обитания их хозяев. Либерализация процесса рыбоводства и рыболовства привлекла в эту сферу деятельности значительную часть населения России, а коммерческие цели стали превалировать над проблемами качества и безопасности заготавливаемых и реализуемых рыбы и рыбопродуктов. В связи с этим, возросла потребность в улучшении гигиенических условий выращивания, вылова, транспортировки и реализации рыбы; производства, обработки рыбных пищевых продуктов как метода разрушения сформировавшегося регионального механизма передачи возбудителей паразитозов на популяционном и межпопуляционном уровнях. Роль паразитических организмов в биосфере огромна. В природе практически нет организмов, которые бы не были заражены паразитами. Человек, животные и растения заселяются совокупностями паразитов, которые обладают различными экологическими и информационными связями с окружающей средой, образуя сложные паразитарные системы. Одной из наиболее изученных групп паразитарных систем являются паразиты рыб. Паразитарные заболевания, вызываемые Protozoa и Metazoa, могут сопровождаться массовой гибелью рыб, наносят огромный ущерб рыбному хозяйству. Необходимость изучения паразитов рыб обуславливается еще и тем, что рыба, в ряде случаев, является источником заражения паразитическими червями человека и животных. Планомерные исследования паразитофауны рыб, организованные с начала 30-х годов XX столетия В.А. Догелем, позволили к настоящему времени определить основной контингент паразитов пресноводных рыб. Однако некоторые районы в паразитологическом аспекте

изучены слабо, а исследования паразитофауны рыб малых водотоков и водоемов не проводились совсем. Имеющиеся сведения о составе паразитофауны касаются только промысловых рыб, в то время как практически нет никакой информации о паразитах непромысловых видов. Однако роль непромысловых рыб в экосистемах весьма значительна. В большинстве водоемов доля их зачастую превышает долю ценных видов. Как консументы первого и второго порядка и объекты питания хищных рыб они выполняют важную роль в трофических сетях, а как промежуточные, дополнительные и окончательные хозяева паразитических организмов - в паразитарных системах водоемов и водотоков. При этом непромысловые виды рыб могут выполнять основную роль в передаче инвазии рыбоядным водоплавающим птицам и водным млекопитающим. Понятие "паразитарная система" введено В.Н.Беклемишевым (1956). Она включает популяцию паразита определенного вида, одну или несколько популяций хозяина или хозяев и ту часть среды, которая необходима для их существования. Паразитарные системы бывают двухчленными (паразит-хозяин), трехчленными (паразит - переносчик или промежуточный хозяин - окончательный хозяин) и множественными (паразит - несколько чередующихся промежуточных хозяев - окончательный хозяин). В паразитарной системе паразит всегда представлен особями одного вида. Другие члены системы могут быть представлены особями одной или нескольких разных популяций. На уровне особи мы говорим о патогенности паразита, который вызывает болезнь хозяина. На уровне популяции мы применяем термин "заболеваемость". Попытка нейтрализовать факторы его "агрессии" (протеазы, ингибиторы ферментов), в случае неэффективности этих действий проявляются различные уровни защитных реакций организма хозяина. Клеточный уровень характеризуется изменением формы или величин; пораженных паразитами клеток (эритроциты человека при малярии). Тканевой уровень защитных реакций - это способность организма хозяина изолировать паразита от здоровой ткани (личинки трихинелл в мышцах, токсоплазм в головном мозге). Вокруг паразита образуется соединительнотканная капсула, отмечается расширение кровеносных сосудов, скопление лейкоцитов, отложение солей извести. Капсула личинок трихинелл - форма адаптации к тканевому паразитизму. Организменный уровень - иммунные ответные реакции хозяина на действие паразита (образование антител и иммунных лимфоцитов, фагоцитоз). Антигены многих паразитов сходны, поэтому у хозяев вырабатываются общие защитные механизмы против многих паразитов. Формы иммунитета различны: абсолютный и относительный, активный и пассивный, врожденный и приобретенный. Затрудняет выработку иммунитета при паразитарных болезнях смена стадий развития возбудителя, так как антигены каждой стадии специфичны. Наиболее напряженный иммунитет вызывают личиночные стадии. Иммунные реакции хозяина проявляются в снижении скорости размножения паразитов и задержке их развития. Массовые заболевания в популяциях животных называются эпизоотиями, а в популяциях человека - эпидемиями. Паразиты являются естественными компонентами биогеоценозов, и вызываемые ими болезни и эпизоотии принадлежат к числу нормальных функций биоценоза. "Вредный" для одной особи паразит становится биологически "полезным" для популяции и вида. Паразиты являются более совершенными регуляторами численности популяций животных, чем хищники, потому

что они регулируют численность и самих хищников. Популяция хозяев, лишившаяся паразитов как эффективного механизма регуляции собственной численности, будет обречена на гибель. "Роль паразитов в природе - стабилизация экосистем" (В.Н. Беклемишев). Подобное значение паразитов ни в коей мере не распространяется на современные человеческие популяции. Регуляция численности популяций хозяев в паразитарных системах идет по принципу обратной связи. Регуляция численности паразитов в популяции хозяев осуществляется: климатическими условиями передачи инфекции или инвазии; врожденным иммунитетом и иммунными реакциями хозяев; гибелью части популяции хозяев; саморегуляцией - перенаселение хозяев паразитами приводит к снижению репродуктивной активности последних. Адаптации паразитов к хозяевам существуют и на популяционном уровне.

## 18.2. Роль паразитов в водных экосистемах

Как и у свободноживущих животных, популяция паразитов определяется как совокупность особей одного вида, обладающая общим генофондом и занимающая определенную территорию. Популяция паразитов тесно связана с популяциями своих хозяев и может существовать только вместе с ними. Соответственно условно можно говорить о популяциях определенных биотопов, отдельных рыбоводных сооружений или даже отдельных рыб.

Поскольку паразиты рыб тесно связаны со своими хозяевами общими требованиями к условиям экологических биотопов, они составляют такие же популяции, как и их хозяева. При этом существование тех или иных популяций паразитов регулируется наличием необходимых для них условий: температурой воды, характером водоема или особенностями рыбоводного хозяйства, состоянием популяции промежуточных и дефинитивных хозяев и физиологическим статусом составляющих ее особей. Отсюда возможно существование холодноводных или тепловодных популяций паразитов в зависимости от температуры воды в водоемах или рыбоводных сооружениях. Численность популяций паразитов будет зависеть от размеров водоема и наличия необходимых экологических условий. В больших водоемах численность популяций эндопаразитов может быть более значительной, чем в небольших, так как в них разнообразнее экологические ниши, в том числе видовой состав гидробионтов, являющихся промежуточными хозяевами многих видов паразитов. В то же время численность популяций эктопаразитов в небольших водоемах или рыбоводных сооружениях может быть большой, так как для роста их численности и перезаражения хозяев создаются благоприятные условия именно в небольших водоемах.

Паразиты разных видов, так же как и свободноживущие животные, могут образовывать биоценозы (паразитоценозы). Однако их нельзя рассматривать изолированно от хозяев, так как в системах паразит—хозяин оба сочлена очень тесно связаны друг с другом и необходимо учитывать влияние внешней среды, а также паразитов и хозяев друг на друга.

Рассматривая значимость паразитов в природных и искусственных экосистемах, следует отметить, что они играют значительную роль в регуляции численности своих хозяев. Можно сказать, если определенный биотоп (или рыбоводное сооружение) не способно выдержать больше определенного количества особей, их физиологический статус снижается и создаются благоприятные условия для развития паразитов, которые, увеличиваясь численно, приводят к возникновению болезни и гибели «лишних» особей. Как правило, инвазий у рыб, находящихся в хорошем

физиологическом состоянии и содержащихся в благоприятных условиях выращивания, не возникает.

### 18.3. Регуляция и устойчивость систем паразит-хозяин

Паразиты являются постоянными сочленами биологических сообществ водоема и испытывают воздействие различных факторов внешней среды и организма хозяина. Это отражается на составе фауны паразитов и численности отдельных ее представителей. *Паразитофауна* — это совокупность паразитов, обитающих в одном каком-либо хозяине. Паразитофауна конкретного вида рыбы включает совокупность всех видов паразитов, обнаруженных у данного вида рыб в онтогенезе в пределах его ареала, а паразитофауна водоема объединяет все виды паразитов, обнаруженных у рыб и других гидробионтов, обитающих в данном водоеме.

Формирование паразитофауны рыб подчиняется определенным закономерностям. Состав фауны паразитов в значительной мере зависит от характера водоема, его размера, химического состава воды в нем, глубины и многих других показателей окружающей среды.

Так, многие паразиты морских водоемов не могут существовать в пресных водоемах, в результате чего по составу паразитофауны можно судить, где в тот или иной период жизни обитал хозяин. Однако эндопаразиты, как и их хозяева, переносят изменения солености воды.

Значительно отличается паразитофауна рыб, обитающих в водоемах с разной глубиной. Так, при выращивании пеляди в водоемах Северо-Запада в теплые летние месяцы значительное заражение товарной рыбы паразитическим раком *Ergasilus sieboldi* регистрировалось в мелких водоемах и отмечалось проявление заболевания эргасилёзом. В то же время в водоемах с большими глубинами, куда рыба могла мигрировать в период наиболее высоких температур, заболевания не отмечалось.

По сравнению с небольшими водоемами, в крупных водоемах, где фауна гидробионтов значительно богаче, паразитофауна более разнообразна.

Однако в небольших водоемах численность отдельных видов паразитов, для которых имеются благоприятные условия, например эктопаразитов, будет значительной. Состав паразитофауны будет значительно отличаться в водоемах с проточной и стоячей водой. В стоячих водоемах (прудах, водохранилищах) накопление инвазионных стадий развития паразитов происходит быстрее, чем в проточных водоемах (реках, ручьях и др.). В прудах численность паразитов с прямым циклом развития возрастает быстрее, чем паразитов, развивающихся с промежуточными хозяевами.

Состав паразитофауны также зависит от возраста рыб, состояния их покровов, характера питания. Контроль за состоянием паразитофауны пресноводных рыб в первый год их жизни показал, что первыми паразитами, появляющимися на молоди, являются простейшие и гельминты с прямым циклом развития. Характер покровов в это время благоприятен для развития фауны паразитических инфузорий, жгутиконосцев и моногеней. Еще не сформировавшаяся система иммунитета у молоди рыб нередко приводит к нарушению специфичности паразитов и проявлению их патогенности. Паразиты со сложным циклом развития появляются у молоди рыб только после перехода на активное питание планктонными или бентосными организмами, среди которых имеются промежуточные хозяева многих гельминтов, что и приводит к заражению этими паразитами. Полностью формирование паразитофауны рыб во многих случаях завершается к концу первого года жизни.

Говоря о сезонных изменениях состава паразитофауны пресноводных рыб, следует отметить, что наибольшее ее разнообразие регистрируется весной, перед нерестом, и осенью. В эти периоды отмечается концентрация рыб старших возрастов в местах нереста или осеннего нагула, что облегчает их перезаражение паразитами с прямым циклом развития и распространение во внешней среде яиц, цист и других инвазионных стадий развития паразитов со сложным жизненным циклом.

В весенние месяцы при повышении температуры создаются благоприятные условия для развития паразитов с прямым циклом развития (простейшие, ракообразные, моногенеи) и быстрого созревания яиц, цист и личинок.

Некоторые возбудители болезней могут быть завезены в водоемы при различных акклиматизационных мероприятиях. Завоз паразитов в новые водоемы происходит вместе с вновь завозимыми видами рыб. У туводных видов рыб в этих водоемах к данным паразитам нет иммунитета, что приводит к возникновению болезней.

В ряде рек скандинавских стран завоз с разводимой молодью лососевых рыб моногенеи *Gyrodactylus salaris* привел к возникновению массовых заболеваний местных лососей как в естественных, так и в искусственных водоемах. В результате для ликвидации болезни пришлось полностью обезрыблить многие нерестовые реки.

Поскольку состав паразитофауны рыб формируется под влиянием конкретных условий в водоеме и наличия необходимых и строго определенных окончательных и промежуточных хозяев, паразитологические материалы можно использовать для проведения некоторых экологических анализов. По составу паразитофауны рыб и численности ее отдельных видов определяют места обитания, нагула, видовой состав естественного корма и даже экологические условия водоема.

При выращивании рыбы в аквакультуре на рост численности паразитов большое влияние оказывают процессы интенсификации, в том числе и увеличение плотностей посадки в рыбоводных сооружениях. При этом создаются неблагоприятные условия для рыб и благоприятные для возбудителей, особенно эктопаразитов с прямым циклом развития.

Значительное влияние на эпизоотическое состояние рыбоводных хозяйств оказывает состав паразитофауны его водоисточника. При этом для гельминтов важно наличие всех звеньев цепи, т. е. окончательных и промежуточных хозяев. Например, при установке садков для выращивания лососевых в водоеме, где обитает щука, особенно опасно появление мышечного триэнцефалоза, вызываемого цестодой *Triaenophorus crassus*. Щука служит для этого возбудителя окончательным хозяином. Первым промежуточным хозяином являются планктонные рачки-циклопы, поедая которых лососевые — вторые промежуточные хозяева — заражаются возбудителем триэнцефалоза.

В летние месяцы многие паразиты со сложным циклом проходят стадию развития в промежуточных хозяевах.

Влияние факторов внешней среды проявляется как непосредственно путем их воздействия на свободноживущие стадии и на эктопаразитов, так и опосредованно через организм хозяина. Опосредованное влияние паразиты испытывают постоянно. При этом от физиологического состояния организма хозяина, состава его пищи, образа жизни, требований к воде, ее температуре и других показателей будет зависеть состав фауны паразитов и численность входящих в него видов. При этом ведущим фактором всегда остается вид хозяина и его физиологический статус в конкретных условиях того или иного водоема или рыбоводного сооружения. Наличие паразитов не всегда свидетельствует о заболевании. Для проявления их патогенных свойств необходимы соответствующие условия, возникающие под влиянием как физиологического состояния организма хозяина, так и определенных условий внешней среды. Только при наличии комплекса показателей,

определяющих состояние организма хозяина, и факторов внешней среды возникает заболевание.

В водоемах такие условия создаются редко, при каких-то катастрофических изменениях условий существования (землетрясения и образование из-за завалов рек новых водоемов, глобальные изменения уровня Мирового океана и т. п.). Чаще неблагоприятные для рыб и благоприятные для паразитов условия создаются под влиянием хозяйственной деятельности человека, особенно в различных рыбоводных хозяйствах. Так, при создании водохранилищ на крупных реках при постройках гидроэлектростанций образуются большие мелководные площади, где создаются благоприятные условия для развития планктонных организмов, среди которых много промежуточных хозяев — возбудителей лигулидоза планктоноядных рыб, и для чаек — окончательных хозяев паразита. В результате в таких водоемах возникает природный очаг этого заболевания.

В прудовых хозяйствах уровень заболевания кавиозом зависит от количества обитающих в иле прудов олигохет — промежуточных хозяев возбудителя кавиоза.

Диплостомозы чаще регистрируются в хозяйствах, в которых обитают чайки — окончательные хозяева возбудителей и много брюхоногих моллюсков — первых промежуточных хозяев возбудителя.

В рыбоводных хозяйствах эпизоотическое состояние зависит и от ряда рыбоводных показателей для планируемых объектов выращивания, соблюдения биотехники рыборазведения, в частности плотностей посадки рыбы и обеспечения их качественным кормом. Ослабление организма хозяина неблагоприятными условиями выращивания приводит к проявлению патогенности паразитов и возникновению болезней. Однако имеется ряд паразитов, патогенность которых проявляется в любых условиях. Такой возбудитель, как ихтиофтириус, поражает рыб с любым физиологическим статусом и может стать причиной массовых отходов.

При проведении различных противоэпизоотических мероприятий в рыбоводных хозяйствах необходимо помнить, что ихтиопатологический мониторинг за выращиваемой рыбой позволит рекомендовать эффективные и экологически чистые мероприятия для борьбы с паразитами. Знание циклов развития возбудителей, их требований к условиям внешней среды позволит осуществлять простые рыбоводные приемы для снижения ущерба от болезней.

При планировании оздоровительных работ необходимо шире использовать такие природные факторы, как инсоляцию в южных регионах и промораживание в северных, для ликвидации свободноживущих стадий паразитов, находящихся в воде и на ложе прудов, а также стенках рыбоводных сооружений. Данные об эпизоотическом состоянии рыбоводных хозяйств помогут правильно планировать посадку рыбы на выращивание и предотвращать занос возбудителей в благополучные хозяйства.

### **Вопросы для самоконтроля**

- 1). Дать определение понятия «паразит» и «паразито-хозяинная система».
- 2). Что собой представляет специфичность паразитов?
- 3). Рассказать об основных жизненных циклах паразитов.
- 4). Раскрыть значение абиотических и биотических факторов в формировании паразито-хозяинных систем.
- 5). Что собой представляет паразитофауна?



## Список литературы

### *Основная*

- 1. Буруковский, Р.Н.** Зоология беспозвоночных: *уч. пос.*/Р. Н. Буруковский – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 214 с.
- 2. Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134с.
- 3. Калайда, М.Л.** Гидробиология/ М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб. : Проспект Науки, 2013. – 192 с.
- 4. Ким, Н.Г.** Барьерная технология гидробионтов/ Н.Г. Ким. - СПб.: Проспект Науки, 2011. – 336 с.
- 5. Шапиро, Я.С.** Агробиология: *уч. пос.*/Я. С. Шапиро. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 288 с.

### *Дополнительная*

- 1. Головина, Н.А.** Ихтиопатология/ Н.А. Головина, Ю.А. Стрелков, В.Н. Воронин и др. – М.: Мир, 2007.- 448с.: ил. (Учебники и учеб. пособия для студентов высших учебных заведений).

### Библиографический список:

- 1. Буруковский, Р.Н.** Зоология беспозвоночных: *уч. пос.*/Р. Н. Буруковский – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 214 с.
- 2. Березина, Н.А.** Практикум по гидробиологии / Н.А.Березина. - Агропромиздат, 2009.-134с.
- 3. Душкина, Л.А.** Состояние и перспективы культивирования морских гидробионтов / Л.А. Душкина - М: Изд-во ВНИРО, 2008. – 550с.
- 4. Калайда, М.Л.** Гидробиология/ М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. – СПб. : Проспект Науки, 2013. – 192 с.
- 5. Ким, Н.Г.** Барьерная технология гидробионтов/ Н.Г. Ким. - СПб.: Проспект Науки, 2011. – 336 с.
- 6. Константинов, А.С.** Общая гидробиология/ А.С. Константинов. - М.: Высшая школа, 2005.-510 с.
- 7. Шапиро, Я.С.** Агробиология: *уч. пос.*/Я. С. Шапиро. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 288 с.

## Содержание

<b>Введение</b> .....	3
<b>Лекция 1. Предмет, методы и задачи гидробиологии. Основные направления гидробиологии и история возникновения</b> .....	4
1.1. Предмет, методы и задачи гидробиологии.....	4
1.2. Основные направления гидробиологии.....	5
1.3. История возникновения гидробиологии.....	6
Вопросы для самоконтроля .....	7
Список литературы .....	7
<b>Лекция 2. Общие принципы и понятия в гидробиологии</b> .....	9
2.1. Основные понятия в гидробиологии.....	9
Вопросы для самоконтроля .....	12
Список литературы .....	12
<b>Лекция 3. Физико-химические условия существования гидробионтов</b> .....	13
3.1. Физико-химические свойства воды.....	13
3.2. Физико-химические свойства грунтов.....	16
Вопросы для самоконтроля .....	18
Список литературы .....	18
<b>Лекция 4. Физико-химические явления в водоемах</b> .....	19
4.1. Давление воды и гидродинамика.....	19
4.2. Температура и освещенность .....	21
4.3. Свет .....	22
4.4. Звук, электричество, магнетизм .....	23
Вопросы для самоконтроля .....	24
Список литературы.....	24
<b>Лекция 5. Водоемы и их население</b> .....	25
5.1. Мировой океан и его население .....	25
5.2. Общая характеристика населения .....	28
5.3. Подземные воды и их население.....	35
Вопросы для самоконтроля .....	37
Список литературы.....	37
<b>Лекция 6. Экологические основы жизнедеятельности гидробионтов</b> .....	39
6.1. Питание гидробионтов.....	39
6.2. Способы добывания пищи .....	42
Вопросы для самоконтроля .....	44
Список литературы.....	44
<b>Лекция 7. Питание гидробионтов</b> .....	46
7.1. Спектры питания .....	46
7.2. Пищевая селективность .....	48
Вопросы для самоконтроля .....	49
Список литературы.....	49
<b>Лекция 8. Водно-солевой обмен гидробионтов</b> .....	50

8.1. Защита от обсыхания.....	50
8.2. Защита от осмотического обезвоживания и обводнения .....	51
8.3. Водно-солевой обмен .....	52
Вопросы для самоконтроля .....	54
Список литературы.....	54
<b>Лекция 9. Дыхание гидробионтов .....</b>	<b>55</b>
9.1. Адаптации гидробионтов к газообмену .....	55
9.2. Интенсивность и эффективность дыхания .....	57
9.3. Устойчивость гидробионтов к дефициту кислорода и заморные явления.....	58
Вопросы для самоконтроля .....	59
Список литературы.....	59
<b>Лекция 10. Рост, развитие и энергетика гидробионтов .....</b>	<b>61</b>
10.1. Формы роста .....	61
10.2. Развитие и энергетика гидробионтов.....	62
Вопросы для самоконтроля .....	64
Список литературы.....	64
<b>Лекция 11. Популяции гидробионтов .....</b>	<b>65</b>
11.1. Структура популяций .....	65
Вопросы для самоконтроля .....	68
Список литературы.....	68
<b>Лекция 12. Внутрипопуляционные отношения.....</b>	<b>70</b>
12. 1. Прямая борьба и взаимопомощь .....	70
12.2. Конкуренция и биохимическое ингибирование.....	71
12.3. Воспроизводство и динамика популяций.....	71
Вопросы для самоконтроля .....	74
Список литературы.....	74
<b>Лекция 13. Гидробиоценозы. ....</b>	<b>75</b>
13.1. Структура гидробиоценозов .....	75
13.2. Межпопуляционные отношения в гидробиоценозах.....	76
Вопросы для самоконтроля .....	79
Список литературы.....	79
<b>Лекция 14. Гидроэкосистемы и экологические основы их рационального освоения... 80</b>	<b>80</b>
14.1. Качество воды. Биопродуктивность.....	80
14.2. Экологические требования и управление техногенным воздействием на гидроэкосистемы.....	82
14.3. Способы и средства управления техногенным воздействием на гидроэкосистемы.....	84
Вопросы для самоконтроля .....	86
Список литературы.....	86
<b>Лекция 15. Загрязнение водных экосистем. Антропогенное эвтрофирование: причины и контроль.....</b>	<b>87</b>
15.1. Агенты эвтрофирования.....	87
15.2. Стадии эвтрофирования .....	87
15.4. Борьба с эвтрофированием.....	88
Вопросы для самоконтроля .....	89
Список литературы.....	89

<b>Лекция 16.</b> Загрязнение экосистем бытовыми сточными водами.....	90
16.1. Краткая характеристика и источники поступления.....	90
16.2. Последствия загрязнения бытовыми сточными водами.....	90
Вопросы для самоконтроля .....	91
Список литературы.....	91
<b>Лекция 17.</b> Консервативные токсиканты в водных экосистемах.....	92
17.1. Загрязнение вод металлами.....	92
17.2. Загрязнения хлорированными углеводородами.....	94
17.3. Пестициды.....	95
Вопросы для самоконтроля .....	96
Список литературы.....	97
<b>Лекция 18.</b> Паразитарные системы в гидробиоценозах.....	98
18.1. Основные термины и понятия, используемые в гидропаразитологии.....	98
18.2. Роль паразитов в водных экосистемах.....	100
18.3. Регуляция и устойчивость систем паразит-хозяин.....	101
Вопросы для самоконтроля .....	103
Список литературы.....	104
<b>Библиографический список .....</b>	<b>105</b>
<b>Содержание .....</b>	<b>109</b>