




**Л. П. Рыжков
В. А. Раднаева
М. Г. Рябинкина**

**Гидробиологические
исследования
на пресноводных водоемах**

 ИЗДАТЕЛЬСТВО ПЕТРОЗАВОДСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
PETROZAVODSK STATE UNIVERSITY
PRESS

**Петрозаводск
2015**

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Л. П. Рыжков
В. А. Раднаева
М. Г. Рябинкина

**Гидробиологические исследования
на пресноводных водоемах**

*Учебное пособие для студентов
биологических и экологических специальностей*

Петрозаводск
Издательство ПетГУ
2015

УДК 574
ББК 28.082
Р93

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Петрозаводского государственного университета

Издается в рамках реализации комплекса мероприятий
Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012—2016 гг.

Рецензенты:

А. В. Рябинкин, главный биолог лаборатории гидробиологии
Института водных проблем Севера КарНЦ РАН,
канд. биол. наук;

И. Н. Заличева, зав. лабораторией экологической токсикологии
и биомониторинга, д-р биол. наук

Рыжков, Леонид Павлович.

Р93 Гидробиологические исследования на пресноводных водо-
емах : учебное пособие для студентов биологических и экологиче-
ских специальностей / Л. П. Рыжков, В. А. Раднаева, М. Г. Рябин-
кина. — Петрозаводск : Издательство ПетрГУ, 2015. — 45 с.

ISBN 978-5-8021-2328-7

В учебном пособии приведены общие понятия и задачи гидробиологии, характеристики основных компонентов пресноводных биоценозов (зоопланктон, макрозообентос), даны методические рекомендации по сбору и обработке материалов и методы оценки качества вод по гидробиологическим показателям.

Пособие может быть использовано в учебном процессе для студентов и аспирантов биологических и экологических специальностей.

УДК 574

ББК 28.082

© Рыжков Л. П., Раднаева В. А.,

Рябинкина М. Г., 2015

© Петрозаводский государственный
университет, 2015

ISBN 978-5-8021-2328-7

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Общие понятия и термины гидробиологии	6
Методы изучения зоопланктона	9
Методы сбора зоопланктона	11
Методы обработки зоопланктона	13
Определение трофности водоема	16
Оценка качества воды по показателям зоопланктона	17
Методы изучения макробентоса	19
Методы отбора проб макробентоса	24
Методы обработки проб бентоса	27
Определение трофности водоема	31
Методы оценки качества воды по показателям зообентоса	32
Библиографический список	38
Приложение 1	43
Приложение 2	45

ВВЕДЕНИЕ

Гидробиология — наука о жизни в водоемах, которая исследует закономерности существования популяций водных организмов и биотических сообществ в их неразрывной связи со средой обитания и служит теоретической основой сохранения и обеспечения воспроизводства биологических ресурсов гидросферы.

Общая гидробиология изучает общие закономерности экологических процессов в водоемах и водотоках, частная — специфику экологии водных объектов разного типа (гидробиология морей, озер, рек, прудов, болот, луж и др.).

Основным объектом гидробиологии как науки являются водные экологические системы, т. е. структурно-организованные системы, в которых биотические и абиотические элементы связаны функционально в единое целое на базе круговорота веществ и трансформации потока энергии.

Основной метод гидробиологии состоит, прежде всего, в количественном учете населения водоемов и функциональной роли отдельных видов в биоценозах. По показателям численности и биомассы особей, встречающихся в изучаемом участке водоема, можно судить об их экологии, структуре популяций и биоценозов, их динамике во времени и пространстве; эти данные также необходимы для суммарной оценки их роли в различных экосистемных процессах.

Главная задача гидробиологии — изучение экологических процессов в гидросфере с целью ее освоения и оптимизации взаимодействия человеческого общества с водными экосистемами.

Все виды хозяйственной деятельности, связанные с изменением естественной структуры водосборных территорий, а также с гидротехническими преобразованиями водоемов, наряду с многочисленными формами антропогенного загрязнения приводят к изменениям водных экосистем, среди которых наиболее опасными являются гиперэвтрофирование и токсическое отравление водоемов.

Конкретные практические задачи гидробиологии:

1. Повышение биологической продуктивности водоемов, получение из них наибольшего количества биологического сырья.
2. Разработка биологических основ обеспечения людей чистой водой.
3. Экспертная оценка экологических последствий зарегулирования, перераспределения и переброски стока рек, изменения гидрологического режима озер.
4. Мониторинг состояния водных экосистем с целью диагностирования ранних признаков изменений, происходящих в результате антропогенного воздействия, и разработка природоохранных мероприятий.

Поскольку антропогенное загрязнение носит многофакторный характер, для оценки его воздействия на водные экосистемы необходимо, наряду с физико-химическими и экотоксикологическими исследованиями, проводить наблюдения за состоянием основных сообществ гидробионтов, в частности фитопланктона, зоопланктона и зообентоса. Биологические методы контроля позволяют фиксировать даже разовые и несистематические загрязнения и их последствия, а также дают быструю и достаточно надежную информацию о биологической полноценности воды.

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ ГИДРОБИОЛОГИИ

Пресноводные водоемы делятся на две группы:

- стоячие водоемы — озеро, водохранилище, пруд, болото, лужа;
- проточные водоемы — река, ручей, ключ.

Лимнофилы — организмы, обитающие в озерах и других стоячих водоемах.

Реофилы — организмы, обитающие в реках и ручьях.

Биотоп — местообитание животных и растительных организмов в водоеме, который определяется преимущественно физическими свойствами среды.

Биотопы в водных бассейнах делятся на *бенталь* — дно водоема и *пелагиаль* — толща воды.

Бенталь водоемов по вертикали делится на три основные области: литораль, сублитораль и профундаль.

Литораль — это та часть дна озера, которая заселена растительностью. Условия жизни в литорали очень благоприятны — обилие пищи, большое содержание кислорода, высокие температуры, разнообразие грунтов. Литораль доходит до глубин 3—7 м.

Сублитораль имеет глубины 10—12 м, растительность здесь отсутствует.

Профундаль — ложе озера, характеризуется большим постоянством всех факторов внешней среды. Здесь нет разнообразия грунтов — распространены илистые осадки, содержание кислорода обычно невелико. Температура весьма низка.

В реках и речных водохранилищах выделяются аналогичные зоны, но с другими наименованиями: литораль называют *рипалью*, сублитораль, или склон, — *субрипалью*, профундаль, или ложе, — *медиаляю*.

Пелагиаль водоемов по горизонтали делится на две области: прибрежную, которая располагается над литоралью, и пелагическую, охватывающую всю остальную часть зеркала воды.

По вертикали водная масса озер в период температурной стратификации разделяется на верхний слой — *эпилимнион*, в котором температура испытывает резкие сезонные и суточные колебания,

и нижний слой — *гиполимнион*, где температура на протяжении года меняется слабо, и промежуточный, или *металимнион*, — слой температурного скачка (перепада температур между различно нагретыми водами эпи- и гиполимниона).

Эпилимнион, как правило, составляет трофогенный, или «питающий», слой водоема, в нем образуется продукция органического вещества.

В *гиполимнионе* (трофолитическом слое) происходят процессы разложения органики, при этом высвобождаются неорганические элементы питания, необходимые для продукции нового органического вещества.

В *металимнионе* взвешенное органическое вещество (живые и отмершие организмы планктона) задерживается при осаждении и служит пищей многочисленным организмам.

Бентос (bentos — глубина) — донное население водоемов. Различают фитобентос (растительные организмы) и зообентос (животные организмы).

Планктон (планктос — парящий) — население толщи воды, делится на фитопланктон (растительные организмы) и зоопланктон (животные организмы).

Биоценоз — совокупность организмов различных видов, обитающих в пределах того или другого биотопа и связанных друг с другом и с водной средой определенными взаимоотношениями.

Трофическая структура водоема

В биологическом сообществе водоема присутствуют три главные группы организмов — *продуценты*, *консументы* и *редуценты*. Первые — продуценты (фитопланктон и фитобентос) ассимилируют энергию Солнца и создают органическое вещество, служащее источником жизни для них и остальных компонентов экосистемы.

Консументы (зоопланктон, зообентос, нектон) это вещество преобразуют в свои тела.

Редуценты (бактериопланктон и бактериальное население дна водоема) выполняют важнейшую часть работы — минерализацию экскретов и трупов консументов и продуцентов и переводение их в неорганическую форму с тем, чтобы сделать их доступными продуцентам для повторения цикла.

Видовая структура

Виды, входящие в состав биоценоза, сильно различаются по своей значимости в функционировании экосистемы и делятся на руководящие или *доминантные*, которые представлены наибольшим числом особей; за ними следует группа *субдоминантов*, широко распространенных и многочисленных, но уступающих первым; остальные считаются *второстепенными* (случайные или редкие).

В водных биоценозах наблюдается сезонная динамика видового состава (смена одних форм другими в течение года), численности и биомассы гидробионтов, вызванная изменениями температуры, и межгодовая динамика, которая происходит в результате изменения климатических условий и деятельности человека.

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ЗООПЛАНКТОНА

Зоопланктон — это совокупность животных организмов, обитающих в толще воды, находящихся во взвешенном состоянии, свободнопарящих или свободноплавающих, не способных сопротивляться течениям, не связанных с твердым субстратом.

Роль зоопланктона в трансформации энергии и биотическом круговороте веществ, определяющем продуктивность водоемов, очень велика. Процессы самоочищения и формирования качества вод в значительной степени зависят от зоопланктона, большинство представителей которого фильтраторы. Организмы зоопланктона являются важнейшим кормовым объектом для рыб и хищных беспозвоночных. Состав и уровень количественного развития зоопланктона является высокочувствительным показателем степени загрязнения водоема, что позволяет использовать его в системе экологического мониторинга. Многие виды зоопланктона выращиваются в хозяйствах аквакультуры как важнейший пищевой ресурс для рыб. Представители ветвистоусых рачков и коловраток используются в качестве тест-объектов при определении степени загрязнения водной среды.

Зоопланктон пресных вод представлен в основном простейшими (тип *Protozoa*), коловратками (класс *Rotatoria*), ракообразными (класс *Crustacea*): веслоногими (отряд *Copepoda*) и ветвистоусыми (подотряд *Cladocera*).

Организмы зоопланктона — в основном микроскопические формы. В зависимости от линейных размеров пресноводный планктон принято делить на следующие группы:

1. Мезопланктон — наиболее крупные организмы, видимые невооруженным глазом, их размеры от 1 до 5 мм.
2. Микропланктон — микроскопические организмы, размер от 50 до 1000 мкм.
3. Нанопланктон — организмы, длина которых меньше 50 мкм.
4. Ультрапланктон — их размеры менее 20 мкм.

По способу питания зоопланктон делится на мирный и хищный. Большинство мирного зоопланктона — фильтраторы, их основной пищей является бактерио- и фитопланктон. К хищникам-планктофагам относятся прежде всего большинство взрослых циклопов и их копеподиты, а также отдельные представители веслоногих и ветвистоусых ракообразных и коловраток.

Видовое разнообразие и количественное развитие зоопланктона зависит от множества факторов (температура, свет, ветер, скорость течения, уровень воды и др.). Большое значение для развития зоопланктона имеет обеспеченность пищей и пресс хищников.

Зоопланктонное сообщество пелагиали — только часть зоопланктона водоема. В это сообщество открытой воды входят главным образом истинно планктические виды, или облигатно-планктические виды. Это организмы, вся активная жизнь которых и стадия яйца протекают во взвешенном состоянии.

В структуре зоопланктонного сообщества наблюдается приуроченность животных отдельных видов и возрастных групп к определенным районам и глубинам водоема. По горизонтальному распространению зоопланктон делится на пелагический (открытой части водоема) и литоральный (прибрежной части водоема). По вертикальному распределению зоопланктон делится на планктон эпилимниона, металимниона и гипolimниона.

Распределение зоопланктона в озерах неравномерно как по вертикали, так и по горизонтали. Наиболее населенным является поверхностный, хорошо прогреваемый слой воды, здесь создаются более благоприятные условия для развития фитопланктона и бактерий — пищевой базы для зоопланктона.

Литоральная зона озер имеет ряд особенностей: часть побережья, защищенная от ветра, обычно покрыта прибрежными зарослями; здесь более резкие колебания температуры (суточные и сезонные); повышенное содержание органики. Зоопланктон здесь количественно богат и разнообразен, представлен типичными прибрежными видами и видами, обычно встречающимися в пелагиали.

Состав зоопланктона в реках менее богат, чем в озерах. В развитии зоопланктона рек определяющим фактором является течение. В зоне наибольшего течения число видов велико, но численность

на порядок ниже, чем в зонах замедленного течения. На перекатах рек зоопланктон характеризуется наименьшим видовым разнообразием и количественными показателями. Самая многочисленная группа речного планктона — коловратки.

Сезонная динамика организмов зоопланктона зависит от ряда факторов: температуры, обеспеченности пищей и выедания рыбами и другими животными. Минимальные показатели развития зоопланктона наблюдаются, как правило, в зимний период, максимальные — летом, иногда также и осенью.

Сообщество зоопланктона характеризуется постоянством видового состава, динамической устойчивостью, присущей ему организацией. Изменение условий существования организмов, происходящих под воздействием различных факторов, в том числе хозяйственной деятельности человека, приводит к изменениям структуры популяций, качественного состава и количественных показателей зоопланктона.

Изучение зоопланктона включает установление видового состава животных (таксономический подход) и роли отдельных видов и групп в сообществе (количественный учет); наблюдение за изменением количественных показателей в разные периоды (сезонная динамика); изучение горизонтального и вертикального распределения животных разных видов (пространственная структура), размерной структуры популяций, а также оценку качества поверхностных вод как среды обитания организмов.

Методы сбора зоопланктона

Выбор станций и периодичность отбора проб. Количество и распределение станций по акватории водоема зависит от особенностей его морфологии и конкретных целей исследования. Выбор станций проводится так, чтобы по возможности охватить все зоны водоема, включая заросли макрофитов. Для получения достоверных результатов минимальное число станций в каждой зоне водоема должно быть не меньше трех.

В малых озерах (менее 100 га) с блюдцеобразным ложем и небольшими глубинами достаточен отбор проб на 4—5 станциях.

В озерах площадью более 100 га, с хорошо выраженной литоралью, при наличии крупных заливов или обособленных плесов необходимо:

- а) в каждом плесе установить сетку станций по поперечным разрезам (2—3 разреза) с тремя точками в каждом;
- б) в каждом заливе (площадью не менее 5 % площади водоема) установить 2—3 точки для взятия проб, различающиеся по глубине.

Количество станций может быть уменьшено или увеличено в зависимости от степени неоднородности водоема и при выполнении специальных исследований.

Сроки взятия проб зоопланктона тесно связаны с периодичностью в жизни водоема и с конкретными целями исследования. Так, например, при изучении влияния загрязнения на основании анализа зоопланктонного сообщества желательнее производить отбор проб один раз в зимний, весенний и осенний периоды и три раза в летний. При изучении видового состава зоопланктона, состава и взаимодействия биоценологических группировок, их изменения во времени (в сезонном аспекте) сборы должны производиться в течение всего года: в вегетационный сезон — один раз в декаду, один раз в октябре и не менее двух раз в подледный период (январь, март).

Методы отбора проб и орудия лова зависят от типа водоема и целей исследования. Изучение видового состава зоопланктона проводится с применением качественных орудий лова. Исследование распределения бионтов в водоеме, их численности и биомассы — количественными орудиями лова.

В качестве основного орудия лова следует использовать стандартную количественную сеть Джеди (диаметр входного кольца 18 см, нижнего 24 см) из газа № 49—56 для сбора ракообразных или № 64—70 для лова коловраток. Используются также планктоночерпатели различных конструкций, планктонобатометры и планктоноуловители. Из качественных орудий применяют качественную сеть Апштейна и сачки, используемые для сбора планктона в зарослях на мелководьях.

На водоемах с малыми глубинами (до 6—7 м) лов зоопланктона ведется методом тотальных проб (всего столба воды от дна до поверхности), в прибрежной зоне — фильтрованием 50—100 л воды через качественную сеть Апштейна.

В глубоководных водоемах при изучении вертикального распределения зоопланктона, суточных миграций отдельных видов в зависимости от воздействия различных факторов необходимо осуществлять фракционный лов с использованием количественной планктонной сети Джели с замыкателем. При этом последовательно облавливаются эпилимнион (от верхней границы слоя температурного скачка до поверхности), металимнион (зона температурного скачка) и гиполимнион (от дна до нижней границы слоя температурного скачка). Если зона температурного скачка не выражена, тогда пробы отбираются на стандартных горизонтах: поверхность — 0,5 м; поверхность — 2 м; 2—5 м; 5—10 м; 10—25 м; 25—50 м; 50—100 м. Отбор следует начинать с верхних горизонтов, скорость подъема открытой сети не должна быть меньше 0,25 м/с и более 0,5 м/с. Отобранные пробы переливаются из стаканчика в обычные банки или бутылки на 100, 150, 200 или 300 мл в зависимости от объема стаканчика на сетке.

Консервация и этикетирование проб. Каждая проба зоопланктона, если она не обрабатывается в живом состоянии, должна быть сразу зафиксирована 40%-м формалином. Формалин приливают в пробу с таким расчетом, чтобы получился 4%-й раствор. В зимний период лучше фиксировать пробы 96° этиловым спиртом с таким расчетом, чтобы его концентрацию довести до 70°. Каждая проба должна быть тщательно этикетирована и записана в специальный журнал или полевой дневник. В журнале и на этикетке должны быть следующие сведения: название водоема, дата, время, местонахождение и № станции, глубина, горизонт или объем профильтрованной пробы, орудие лова.

Методы обработки зоопланктона

Качественная обработка проб зоопланктона заключается в определении видовой принадлежности входящих в его состав

организмов. Определение отдельных групп организмов (планктонных инфузорий и беспанцирных коловраток) желателно проводить на живом (нефиксированном) материале сразу после сбора проб. Для этого отбираются пробы-дублиры, которые не фиксируются. Непосредственно перед обработкой проба концентрируется путем удаления большей части воды с помощью сифона. Далее капля осадка переносится на предметное стекло и просматривается сначала под бинокуляром, а затем под микроскопом. Определение организмов зоопланктона до вида производится по книгам-определителям для различных групп.

Количественная обработка проб зоопланктона заключается в подсчете численности и биомассы организмов каждого вида по возможности по возрастным стадиям или размерным группам. При камеральной обработке собранного материала пользуются счетно-весовым методом. При относительной «бедности» пробы организмы зоопланктона подсчитываются целиком во всей пробе, при этом используется камера Богорова. В большинстве случаев подсчет организмов проводят в небольшой порции или части пробы с последующим пересчетом на всю пробу. Перед этим пробу доводят до определенного объема. Объем просчитываемой части пробы зависит от ее общей плотности. При этом следует учитывать, чтобы число особей одного вида в порции было не менее 50. Количество порций не меньше трех. Количество животных в пробе определяют как среднее арифметическое всех подсчетов. Для учета крупных и малочисленных организмов вся проба просматривается под бинокуляром. Подсчитав количество организмов каждого вида в пробе, затем делают пересчет на 1 м³. Если проба отобрана путем процеживания через сеть Апштейна, то расчет производят следующим образом:

$$X = \frac{n \times 1000}{v},$$

где X — количество организмов в 1 м³ воды, экз./м³; n — количество организмов в пробе, экз.; v — объем воды, процеженной через сеть, л.

Если отбор проб произведен количественной сетью Джеди, то прежде всего рассчитывают коэффициент планктонной сети или множитель перевода на 1 м³ исходя из радиуса входного отверстия:

$$k = \frac{1\,000\,000}{sh},$$

где s — площадь входного отверстия сети, см²; h — горизонт, слой облова, см.

Численность организмов N находится умножением количества организмов в пробе n на коэффициент сети k .

Следующим этапом количественной обработки проб зоопланктона является получение данных по биомассе. Биомасса зоопланктона определяется умножением индивидуальной массы (веса) каждого организма на его численность. Данные по индивидуальным массам зоопланктеров приведены в работах. Однако, учитывая, что длина и масса зоопланктеров одного и того же вида может значительно изменяться в разных водоемах, разных климатических зонах, а также в зависимости от сезона, желательно рассчитывать индивидуальные массы зоопланктонных организмов. Для этого используется способ, основанный на расчетах, учитывающих соотношение между массой и длиной тела особи. Зависимость между длиной и массой тела особи выражается степенным уравнением:

$$w = g l^b,$$

где l — длина тела организма (мм), w — масса тела (мг), g — масса при длине тела, равной 1 мм, b — показатель степени. Значения g и b приводятся в таблицах. Для расчета индивидуальной массы коловраток используется уравнение $w = g l^3$ ($b = 3$).

Промеры организмов осуществляются под биноклем по возрастным стадиям: взрослые формы, молодь, яйценосные самки. Измеряется не менее 30 экз. каждого вида определенной стадии.

Запись результатов обработки проб зоопланктона

Водоем Дата

Станция № Глубина Горизонт

Температура воды пов. прид. Ветер — напр.

Орудие лова

Виды	В штемпель-пипетке		В пробе, ЭКЗ./мл	Размер, мм	Численность, ЭКЗ./м ³	Биомасса, г/м ³
	I	II				
Всего						

Определение трофности водоема

Зная средние летние показатели биомассы зоопланктона, по «шкале трофности», предложенной С. П. Китаевым, можно определить класс биомассы зоопланктона водоема и тип водоема (табл. 1).

Таблица 1

Класс биомассы и тип водоема

Класс	Биомасса зоопланктона, г/м ³	Тип водоема
Очень низкий	< 0,5	ультраолиготрофный
Низкий	0,5—1	олиготрофный

Класс	Биомасса зоопланктона, г/м ³	Тип водоема
Умеренный	1—2	α-мезотрофный
Средний	2—4	β-мезотрофный
Повышенный	4—8	α-евтрофный
Высокий	8—16	β-евтрофный
Очень высокий	>16	политрофный

Оценка качества воды по показателям зоопланктона

Оценка качества воды или степень загрязнения вод по гидро-биологическим показателям производится двумя путями:

1. По результатам сравнения населения на участках загрязненных с участками контрольными.
2. По индикаторным организмам.

В первом случае оценка качества воды производится на основании анализа материала по качественному и количественному развитию зоопланктона. Учитываются численность, биомасса зоопланктеров, общее число видов, число видов в основных группах, соотношение основных групп по численности, массовые виды и их процент от общей численности.

Система оценки степени загрязнения вод по индикаторным организмам — система сапробности. Наиболее удобный метод при анализе зоопланктонного сообщества — метод Пантле и Букка. Целью метода является обеспечение возможности сравнения результатов исследования состояния водоемов различных районов. Количественная оценка гидробионтов по методу Пантле и Букка учитывает относительную частоту встречаемости организмов h и отношение отдельных видов к пяти известным степеням

системы сапробности S. Обе эти величины входят в формулу для вычисления индекса сапробности:

$$S = \frac{\sum (sh)}{\sum h}.$$

Величина h находится из шестиступенчатой шкалы значений частоты и определяет относительное количество видов.

Индекс сапробности в олигосапробной зоне равен 0,5—1,5 (чистые воды), в β -мезосапробной зоне — 1,51—2,50 (воды умеренного загрязнения), в α -мезосапробной зоне — 2,51—3,50 (тяжело загрязненные), в полисапробной зоне — 3,51—4,50 (очень тяжело загрязненные).

Значения индексов сапробности отдельных организмов можно найти в опубликованных списках. Для оценки сапробности водоемов Северо-Запада мезо-полигузмозного олиготрофного типа целесообразно пользоваться списком видов-индикаторов, предложенным Т. П. Куликовой.

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ МАКРОБЕНТОСА

Зообентос — это совокупность беспозвоночных животных, обитающих на дне водоемов, на поверхности или в толще грунта.

В функциональном отношении зообентос является одним из важных компонентов водных экосистем, который участвует в продукционных процессах и трансформации органического вещества и энергии в водоемах. Большинство представителей донной фауны служит пищей для промысловых рыб и их молоди, определяя тем самым основу кормовой базы и биологические ресурсы водоема; часть является непосредственным объектом промысла; многие принимают активное участие в процессе самоочищения водоемов от загрязнений. Видовой состав и количественное развитие биоценозов донных организмов служат хорошим показателем степени загрязнения грунта и придонного слоя воды и поэтому широко используются для оценки экологического состояния водоемов.

Организмы зообентоса занимают в водоеме два основных биотопа: грунт (поверхность и толщу) и растительность. Подвижные организмы могут отрываться от субстрата и плавать в воде, занимая таким образом третий биотоп — водную толщу в пределах придонного слоя воды или водного пространства в зарослях макрофитов.

В зависимости от степени подвижности среди бентосных организмов различают формы бродячие, или *вагинальные*, *седентарные*, которые лежат на грунте, не совершая значительных перемещений, и прикрепленные, или *сессильные*.

По размерам животных зообентос внутренних водоемов условно делят на три группы: 1) макробентос — более 2 мм, 2) мезо(мейо)-бентос — 0,5—2,0 мм, 3) микробентос — менее 0,5 мм. Макробентос — наиболее крупные организмы, видимые невооруженным глазом, например, двустворчатые и брюхоногие моллюски, личинки хирономид последних возрастов, половозрелые особи олигохет. Мезобентос объединяет животных, которые с ростом переходят в состав макрофауны, а также размеры которых и во взрослом состоянии не превышают 2 мм. Например, нематоды, основная

масса личинок хирономид (*Orthoclaadiinae* и *Tanytarsini*, разные возрастные стадии) и другие группы относятся к мезобентосу и часто составляют основу бентосного населения северных водоемов. Микробентос включает мелкие организмы, представленные главным образом простейшими, коловратками, турбелляриями.

По способам добывания пищи и ее характеру выделяются основные группы бентических организмов пресных вод:

1. Грунтозаглатыватели — обладают способностью заглатывать грунт и использовать в пищу находящихся в нем мертвое органическое вещество, бактерий и других мелких организмов (например, олигохеты *Tubificidae*).
2. Собиратели-детритофаги, фитофаги-глотатели — поедают детритно-бактериальную пленку, водоросли на поверхности грунта (олигохеты *Naididae*, моллюски).
3. Фильтраторы (активные и пассивные) — отфильтровывают корм из воды (двустворчатые моллюски); седиментаторы — питаются за счет седиментации (осаждения) детрита и другой пищевой взвеси (ручейники *Hydropsychidae*, многие хирономиды).
4. Размельчители — размельчают и поедают крупные фрагменты растений (водяной ослик, гаммарус).
5. Хищники — питаются мелкими животными, глотают, высасывают мягкие ткани (турбеллярии, пиявки).

По предпочитаемому грунту бентоценозы и отдельные виды делятся на литофильные (обитатели камней и других твердых субстратов), псаммофильные (обитатели песков), пелофильные (обитатели илов), фитофильные (живущие на макрофитах) и промежуточные между ними псаммопелофильные и т. д. Уровень развития бентоса очень зависит от грунта, при переходе к грунтам совершенно иного типа может произойти почти полная смена всего состава населения беспозвоночных.

Распределение донных беспозвоночных в водоеме, как правило, очень неравномерно, что наблюдается даже в условиях однородного биотопа. Для биоценозов бентоса биотопами считают обычно участки с однородными на всем их протяжении грунтами, лежащие в пределах одной вертикальной (глубинной) зоны.

Состав и обилие бентоса зависят от многих факторов, из которых наибольшее значение имеют глубина, подвижность воды, колебания уровня, характер грунта, зарастаемость.

Зообентос озер наиболее богат в литорали, на защищенных от ветра участках (заливы, бухты), заросших высшей водной растительностью. Благоприятные условия обитания — массы детрита (корм), заиленный грунт, хорошая прогреваемость и другие — способствуют развитию здесь разнообразной и количественно богатой фауны. Характерны поденки, ручейники, стрекозы, хирономиды, клопы, жуки, моллюски, олигохеты, пиявки. Прибойная песчаная литораль заселена менее обильно и более однообразно, поскольку условия жизни здесь малоблагоприятны из-за отсутствия растений и подвижности грунта. Наиболее характерны для этого биотопа олигохеты, личинки комаров, круглые черви. На камнях прибойного побережья в бентосе сочетаются реофильные и лимнофильные формы. Встречаются многие виды личинок насекомых, в частности хирономид, ручейников, поенок и веснянок, а также моллюски, пиявки.

Сублитораль и профундали по условиям обитания для бентоса заметно отличаются от побережья. Обе зоны лишены подводной растительности, в естественных водоемах не подвергаются обнажению дна, и здесь биотопы в основном определяются характером грунта. В донных осадках преобладают илистые грунты, и соответственно возрастающему однообразию грунтов качественно обедняется донная фауна. Наиболее обычны здесь личинки хирономид, олигохеты, моллюски. Биомасса и численность бентоса в сублиторали и профундали сравнительно невелики.

В реках размещение и характер донных биоценозов определяются в основном двумя факторами: скоростью течения и стабильностью грунтов. Состав и структура зообентоса непрерывно изменяются вдоль по течению в соответствии с изменяющимися условиями среды. Население рек отличается значительным видовым разнообразием, что связано с их большой биотопической расчлененностью. Характерными местообитаниями для зообентоса являются каменистые перекаты, песчаные перекаты, заросли водных растений, детритно-илистые заводи. Наибольшее значение в бентосе рек имеют лито-, аргилло-, псаммо-, пелореофильные формы.

На каменистых перекатах сообщество бентоса, называемое литореофильным, формируется в условиях небольшой глубины, быстрого течения, каменистых грунтов, хорошей освещенности и избытка растворенного в воде кислорода. Характерны стрекозы, поденки, веснянки, жуки, ручейники, двукрылые и др.

Песчаный грунт на быстром течении (песчаные перекаты) постоянно перемешивается водой и беден органикой. Вследствие этого донная фауна сильно обеднена; обычно встречаются двустворчатые моллюски и двукрылые.

Заросли водных растений гасят течение воды, здесь много питательных органических веществ, хорошие кислородные условия. Сообщество беспозвоночных разнообразно и часто имеет высокую биомассу. Характерны стрекозы, поденки, клопы, пиявки, моллюски.

Заиленные грунты распространены в заводях и омутах, где течение ослаблено и скапливается ил и детрит. Бентос лимитирован выеданием со стороны рыб и недостатком кислорода (в толще грунта). Характерны поденки, двукрылые, мелкие двустворки.

Бентос рек резко обедняется в паводковое время, когда при высокой скорости течения воды из грунта вымываются и сносятся вниз по течению олигохеты, ручейники, поденки, личинки двукрылых и многие другие организмы. Совокупность донных животных, сносимых потоком, называется дрефтом. В наибольшей степени обедняется после паводка население заиленных грунтов, сами эти грунты смываются почти нацело. После прохождения паводка по мере падения скорости течения, стабилизации грунтов и их заиления бентос постепенно обогащается. Наиболее богат он в предпаводковое время. Кроме этого, различают дрефт активный и пассивный. Роль дрефта в речных экосистемах многогранна, активные миграции способствуют сохранению оптимальной плотности и максимального разнообразия населения, а также восстановлению нарушенных биоценозов реки. Дрефт является реальной кормовой базой для рыб, в том числе молоди лососёвых.

Сезонные колебания численности и биомассы донных животных в первую очередь зависят от особенностей их размножения, роста, отмирания и выедания, а также от ряда абиотических факторов, в частности от температуры воды. Последняя определяет

время размножения донных животных как непосредственно, так и через появление водорослей, которыми питаются пелагические личинки бентосных организмов. В водоемах, где доминируют личинки насекомых, резкие колебания количественных показателей зообентоса могут обуславливаться массовым вылетом насекомых. Межгодовые колебания численности и биомассы гидробионтов определяются различиями в гидрологическом режиме, в частности, температурными условиями и уровнем водности.

Одним из существенных факторов, влияющих на формирование донных сообществ, является антропогенный фактор. Состав биоценозов относительно постоянен в условиях, в которых он сформирован. В достаточно чистых водах донные сообщества в хорошо аэрируемых участках дна характеризуются высоким видовым разнообразием, что свидетельствует о нормальном состоянии водной экосистемы. В загрязненных водоемах выпадают группы животных, наиболее чувствительные к отдельным загрязняющим веществам. Происходит видоизменение состава биоценозов, иногда катастрофическое, приводящее к замене его другим составом.

Изучение зообентоса имеет большое научное и прикладное значение и проводится по следующим направлениям:

- роль донных животных в общем гидробиологическом режиме водоемов (видовой состав, доминирующие группы, количественное развитие, годовая и сезонная динамика и т. д.);
- исследование зообентоса как кормовой базы для промысловых рыб и как объекта промышленной добычи биокормов;
- структурный анализ популяций, биоценозов донных организмов при контроле качества поверхностных вод и прогнозировании предупредительных мер по охране водоемов от загрязнений.

В настоящем учебном пособии рассматриваются методы сбора и обработки проб макрозообентоса, как наиболее доступной для изучения группы донной фауны.

Методы отбора проб макробентоса

Выбор станций для взятия проб. Места отбора проб (станции) и распределение их по акватории должны соответствовать морфологии водоема.

Станции располагаются так, чтобы были охвачены все основные зоны водоема, а в пределах зон — по возможности все биотопы, включая участки, заросшие макрофитами.

В малых озерах (площадью менее 100 га) с преобладанием илистого грунта и блюдцеобразным ложем достаточно 4—5 станций, из которых 2—3 приходится на основную часть водоема. В более крупных водоемах с хорошо выраженной зарослевой литоралью, большим разнообразием грунтов и наличием крупных заливов или обособленных плесов необходимо:

- а) в каждом плесе установить сетку станций по поперечным разрезам так, чтобы на каждом разрезе было не меньше 4—5 станций;
- б) в каждом заливе, составляющем не менее 5 % площади водоема, установить 3—4 станции таким образом, чтобы охватить прибрежную и центральную зоны, различающиеся по типу грунта.

Количество станций может быть уменьшено или увеличено в зависимости от степени неоднородности водоема и задачи исследования.

Периодичность сборов. Режим наблюдений за состоянием водного объекта устанавливается в соответствии с категориями пункта контроля. Сбор проб проводится главным образом в вегетационный период, т. е. с весны (после схода льда) до глубокой осени. При этом наиболее показательны данные, полученные в августе — сентябре, когда донная фауна наиболее богатая — в ней представлено большинство видов. Весеннюю съемку надо проводить в возможно ранние сроки, до вылета хирономид. При круглогодичных исследованиях пробы собираются, кроме того, в зимний период (январь, март). Также необходимо учитывать сезонную изменчивость антропогенной нагрузки.

Методы отбора проб и орудия лова. Качественные сборы используются при установлении видового состава донной фауны,

для уточнения размерно-возрастного состава популяции изучаемого вида. Орудиями качественного сбора могут служить сачки, скребки, драги, тралы, водяные грабельки, камнешупы и ловушки.

Исследование распределения гидробионтов в водоеме, их численности и биомассы производится количественными орудиями лова.

При изучении макрозообентоса в качестве основного орудия лова следует использовать дночерпатель Экмана — Берджа или Петерсена площадью захвата $0,025 \text{ м}^2$, на плотных грунтах удобны в работе штанговые дночерпатели Заболоцкого или Мордухай-Болтовского площадью захвата $0,01 \text{ м}^2$. На каждой станции берется не менее двух дночерпательных проб, а при отборе штанговыми дночерпателями — четырех.

На малых водоемах, наряду со стандартными дночерпателями, может использоваться малая модель дночерпателя Петерсена площадью захвата $0,01 \text{ м}^2$. На каждой станции этим дночерпателем надо брать по четыре пробы.

На мелководных участках (глубина до 2—3 м) для сбора мезобентоса используются трубчатые дночерпатели.

В глубоководных олиготрофных водоемах количественный учет животных, обитающих в придонном слое воды (бокоплавцы, мизиды и др.), производится при помощи тралов, скользящих по дну без захвата грунта. Из различных конструкций можно предложить трал В. Н. Грезе, Ю. М. Марковского, А. В. Монакова и Ф. Д. Мордухай-Болтовского.

Для сбора фауны зарослей в литорали применяют рамки площадью 1 м^2 . Для учета населения подводных растений используется драга Барнатовича, в более мелководных участках — зарослечерпатель Зимбалевской.

Население камней учитывают путем смыва животных с нескольких камней с последующим измерением площади проекции камней и пересчетом количества организмов на 1 м^2 . При этом следует по возможности учитывать животных грунта, находящегося под камнем.

Определение характера грунта. Характер грунта определяется на каждой станции, где производится сбор донной фауны. На водоеме перед промывкой грунта можно приблизительно определить тип донных отложений по следующей схеме:

- каменистый — дно покрывают преимущественно камни;
- каменисто-песчаный — среди отдельных камней есть участки открытого песчаного грунта;
- песчаный — преобладает песок, изредка встречаются камни;
- песчано-илистый — песок частично или полностью покрыт илом;
- илесто-песчаный — ил является преобладающей фракцией, при растирании между пальцами ощущается присутствие песка;
- илистый (ил) — при растирании ощущается пластичность;
- задернованные почвы — в искусственных водоемах.

Промывка проб. Извлеченные дночерпателями или другими приборами пробы грунта промываются на водоеме сразу после отбора проб. Весь объем добытого грунта можно объединить в одном ведре или тазу для последующей промывки.

При работе с большими объемами пробы промывку грунта осуществляют через промывательное сито из мельничного газа, укрепленное в станке на борту или за бортом судна.

Для промывки незначительных количеств грунта используют небольшие сачки — промывалки, состоящие из металлического обруча диаметром 20—30 см, к которому пришивается мешок из мельничного газа соответствующего номера.

Для промывки количественных проб макробентоса следует пользоваться мельничным газом № 21—23 для эвтрофных и мезотрофных озер, для олиготрофных — № 35—38.

В случае песчаного грунта пробу перед промывкой подвергают отмучиванию. Для этого пробу помещают в таз с водой. Песок взбалтывается рукой или палкой, и вода со взвесью многократно сливается в промывательное сито. Процесс отмучивания повторяют до тех пор, пока промытые воды не становятся чистыми.

Выборка, фиксирование и хранение проб. Выборку организмов отмыхих проб желательно проводить в полевых условиях. Живые организмы более заметны и легче поддаются выборке. Выборку животных производят пинцетом, помещая грунт маленькими порциями в эмалированные ванночки или пластмассовые кюветы с тонким слоем воды. Выбранный материал помещается в пробир-

ки или бюксы, этикетуется и фиксируется 70-градусным спиртом или 4%-м раствором формалина.

Каждая проба бентоса, если она не разбиралась в живом виде, сразу должна быть зафиксирована формалином. Для этого промытый остаток пробы помещают в банку с некоторым количеством воды, после заполнения банки материалом добавляется вода, а для консервации — 40%-й раствор формалина с таким расчетом, чтобы получился 4%-й раствор (одна часть формалина на 9 частей воды). Формалин перед употреблением нейтрализуют (добавляют соду), так как он имеет кислую реакцию и разрушает известковые раковины моллюсков, панцири ракообразных.

Для хранения бентосных проб используют широкогорлые стеклянные или пластмассовые банки преимущественно объемом 100, 250 и 500 мл с завинчивающимися крышками.

В пробах, предназначенных для длительного хранения, объем материала должен составлять не более 2/3 объема банки для животных без примеси грунта и половину — для животных с грунтом.

Каждая проба должна быть тщательно этикетирована и записана в специальный журнал или полевой дневник. В журнале и на этикетке должны быть следующие сведения: дата отбора пробы, название водоема, местонахождение и номер станции, орудие лова, количество проб, глубина, характер грунта.

Для транспортировки стеклянные банки с пробами необходимо завернуть в бумагу или полиэтиленовую пленку и поместить в ящик.

Методы обработки проб бентоса

Качественная обработка проб бентоса. При обработке бентосных проб, содержащих некоторое количество постороннего материала, необходимо сначала выбрать животных из грунта, а затем производить их разборку по систематическим группам. Зафиксированный материал промывают водой для уменьшения неприятного запаха формалина. Для этого пробу выливают в небольшой

сачок, изготовленный из газа № 23 или марли, и после промывки водой остаток из сачка помещают в кювету с водой. Выборку крупных животных производят визуально прямо из кюветы, затем материал порциями переносят в чашку Петри и просматривают под биноклем для выборки мелких организмов. Животных помещают в банки с 4%-м раствором формалина.

Все организмы, обнаруженные в пробе, разбираются по систематическим группам до уровней типа, класса или отряда с последующим более детальным определением систематического положения животных до уровня рода и вида, за исключением трудно определяемых групп организмов.

Идентификация (определение) организмов зообентоса производится с помощью бинокля и микроскопа по книгам-определителям.

Выделяются следующие группы: кишечнополостные (*Coelenterata*), губки (*Spongia*), мшанки (*Bryozoa*), пиявки (*Hirudinea*), малощетинковые черви (*Oligochaeta*), волосатики (*Gordiacea*), круглые черви (*Nematoda*), турбеллярии (*Turbellaria*), высшие ракообразные (*Malacostraca*), водяные клещи (*Hydrocarina*), пауки (*Araneina*), личинки хирономид (*Chironomidae*) и гелеид (*Heleidae*), личинки остальных двукрылых (*Culicidae*, *Simuliidae*, *Psychodinae* и др.), личинки стрекоз (*Odonata*), личинки поденок (*Ephemeroptera*), личинки большекрылых (*Megaloptera*), личинки веснянок (*Plecoptera*), жуки и их личинки (*Coleoptera*), клопы (*Heteroptera*), личинки ручейников (*Trichoptera*), гусеницы бабочек (*Lepidoptera*), брюхоногие моллюски (*Gastropoda*), двустворчатые моллюски (*Bivalvia*).

Количественная обработка. Разборка и подсчет количественных проб бентоса производится под биноклем в чашках Петри с разграфленным на квадраты дном.

Численность всех организмов в пробе определяется путем подсчета в каждой группе общего числа животных, а затем суммирования полученных данных и пересчета на один квадратный метр площади дна (экз./м²).

При пересчете животных за единицу принимается целое животное или часть его тела с головой только в том случае, если экземпляр будет не целый. У двустворчатых моллюсков за целый

экземпляр следует считать обломки обеих половин раковины с кусочками тканей на них у замкового края раковины.

Биомасса отдельных групп зообентоса определяется взвешиванием на торсионных весах с точностью до 1 мг. Крупные организмы взвешиваются на аптекарских весах с точностью до 0,01 г. Животные перед взвешиванием подсушиваются на фильтровальной бумаге до исчезновения мокрых пятен на ней. Личинки ручейников взвешиваются без домиков (домик сохраняется вместе с личинкой для определения вида).

Общая биомасса организмов, обнаруженных в пробе, определяется суммированием весов каждого бионта, а затем эта величина пересчитывается на один квадратный метр площади дна ($\text{г}/\text{м}^2$).

При расчете численности и биомассы на 1 м^2 площади дна следует учитывать количество дночерпательных проб, объединенных на одной станции. Так, при отборе двух проб изъятый из водоема грунт должен занимать площадь, равную двум площадям данной конструкции дночерпателя. Например, два стандартных дночерпателя Экмана — Берджа ($0,025 \text{ м}^2$) имеют общую площадь захвата $0,05 \text{ м}^2$, что составляет $1/20$ часть от 1 м^2 . Следовательно, в пересчете на 1 м^2 значение численности и биомассы, полученное для объединенной пробы на станции, нужно умножить на 20. Таким образом рассчитываются количественные данные и для других типов дночерпателей.

Средние взвешенные величины численности и биомассы донных животных в водоеме рассчитываются исходя из площадей, занимаемых различными биотопами или зонами водоема (литораль, сублитораль, профундаль). При этом тот биотоп или зона, которая занимает наименьшую площадь, условно принимается за единицу. Затем определяется значение остальных биотопов или зон.

Пример расчета. В озере площадью 100 га литораль занимает 30 га, сублитораль — 10 га, профундаль — 60 га (предполагается, что в каждой зоне преобладает один тип грунта). Площадь, занимаемую сублиторалью, принимаем за 1. Тогда площадь литорали составит 3, профундали — 6, общее число — 10. Средняя численность донных организмов по зонам равна соответственно 300, 200, 1000 экз./ м^2 , средняя биомасса — 6, 3, 15 $\text{г}/\text{м}^2$. Затем перемножаем

средние численности и биомассы, вычисленные для указанных зон, на число единиц, выражающих их относительное значение:

литораль — $300 \times 3 = 900$ (экз./м²) и $6 \times 3 = 18$ (г/м²);

сублитораль — $200 \times 1 = 200$ (экз./м²) и $3 \times 1 = 3$ (г/м²);

профундаль — $1000 \times 6 = 6000$ (экз./м²) и $15 \times 6 = 90$ (г/м²).

Далее суммируем полученные цифры и делим на общее число единиц:

$900 + 200 + 6000 = 7100$ (экз./м²) : 10 = 710 (экз./м²);

$18 + 3 + 90 = 111$ (г/м²) : 10 = 11,1 (г/м²).

Итоговые цифры являются средними величинами численности и биомассы в данном водоеме в момент проведения съемки.

Запись результатов обработки бентосных проб. Данные по количественным и качественным пробам записываются в карточки.

**Форма записи результатов обработки
количественных проб бентоса (карточка)**

Водоем Дата

Станция № Глубина Грунт

Температура воды пов. прид.

Растительность

Орудие лова Число проб

Основные группы	Количество экз. в пробе	Вес, мг в пробе	Численность, экз./м ²	Биомасса, г/м ²	Примечание
Всего					

Форма записи результатов обработки качественных проб бентоса (карточка)			
Таксономические группы по стандартной разборке	Название рода, вида	Сапроб- ность вида	Число «групп» для определения биотического индекса
Сумма «групп» в пробе Показательные организмы Биотический индекс			

Карточки с записями результатов обработки проб служат материалом для разного рода вычислений, сопоставлений и обобщений относительно состава, обилия и распределения донной фауны, роли в ней отдельных видов и групп организмов. Эти же карточки дают информацию для изучения экологии отдельных видов, также могут использоваться при определении качества водной среды. Нанесенные на карточках данные подвергаются той или иной статистической обработке, что позволяет решать вопрос о достоверности материала.

Определение трофности водоема

По средней летней биомассе бентоса, в соответствии с классификацией озер по «шкале трофности» С. П. Китаева, можно определить тип исследуемого водоема (табл. 2).

**Классы биомассы бентоса озер и водохранилищ
(«шкала трофности»)**

Класс	Биомасса бентоса, г/м ²	Преобладающий тип водоема
Очень низкий	< 1,25	ультраолиготрофный
Низкий	1,25—2,5	олиготрофный
Умеренный	2,5—5,0	а-мезотрофный
Средний	5—10	б-мезотрофный
Повышенный	10—20	а-евтрофный
Высокий	20—40	б-евтрофный
Очень высокий	> 40	политрофный

**Методы оценки качества воды
по показателям зообентоса**

Оценка качества воды по показателям зообентоса в настоящее время проводится по целому ряду методических приемов. Для практического использования предлагаются следующие методы: 1) система сапротоксобности; 2) биотический индекс Вудивисса.

Система сапротоксобности. Одним из методов оценки степени загрязнения вод является метод индикаторных организмов Пантле и Букка в модификации Сладечека. Данный метод, основанный на системе сапробности, учитывает относительную частоту встречаемости гидробионтов и их индикаторную значимость. Значения индексов сапробности определяются по спискам сапробных организмов.

Индекс сапротоксобности в пробе, отобранной на исследуемой станции, вычисляется по формуле

$$ST = \frac{\sum (st_i \times n_i)}{\sum n_i},$$

где $\sum (st_i \times n_i)$ — сумма произведений значений индексов сапротоксобиности отдельных видов на соответствующее им количество особей;

$\sum n_i$ — общее число особей всех индикаторных видов.

Таким образом, для определения индекса сапротоксобиности необходимо знать значение индикаторной значимости каждого встреченного в пробе вида зообентоса и его количественное развитие в данной пробе. Индекс сапротоксобиности будет более точным, когда число видов-индикаторов $>8-12$, количество всех особей в пробе $>25-30$.

Индекс сапротоксобиности в олигосапротоксобиной зоне равен $1,0-1,5$, в β -мезосапротоксобиной зоне — $1,5-2,5$, в α -мезосапротоксобиной зоне — $2,5-3,5$, в полисапротоксобиной зоне — $3,5-4,0$.

Биотический индекс Вудивисса. Служит для оценки загрязнения рек по составу зообентоса. В системе Вудивисса объединяются принципы индикаторного значения отдельных таксонов и принцип изменения разнообразия фауны в условиях загрязнения.

Определение биотического индекса по системе Вудивисса ведется по рабочей шкале, в которой использована наиболее часто встречаемая последовательность исчезновения животных по мере увеличения загрязнения. Для учета разнообразия фауны предложено условное понятие «группа» животных, под которым для одних животных понимаются отдельные виды, для других, трудно определяемых групп, более крупные таксоны. По сумме «групп» и качественному составу населения рассчитываются значения биотического индекса. Следует иметь в виду, что в условиях разреженной фауны, особенно на чистых песках, для более правильной оценки степени загрязнения вод необходимо отбирать больше проб, иначе могут быть получены заниженные значения биотического индекса.

Для оценки водоемов Кольского Севера в качестве наиболее характерных индикаторов загрязненных условий включены две группы животных: семейство *Tubificidae* и род *Chironomus*. Представители олигохет достигают массового развития при загрязнении органическими и биогенными веществами, интенсивном накоплении на дне водоема тонких минеральных частиц, а личинки хирономид рода *Chironomus* образуют скопления вблизи мест

поступления коммунально-бытовых стоков и отходов предприятий цветной металлургии. В условиях значительного содержания в воде и грунтах тяжелых и других металлов личинки *Chironomus* являются единственными обитателями дна водоема. Редкая встречаемость представителей обеих групп, при отсутствии других донных животных, свидетельствует о еще большем уровне загрязнения, а также о невозможности обитания в подобных условиях организмов зообентоса.

Значение индекса Вудивисса изменяется от 0 (наиболее загрязненная вода) до 10 (вода высшего качества). Определение биотического индекса производится в следующей последовательности. Двигаясь сверху вниз по первой графе, находят позицию, в которой указана присутствующая в пробе индикаторная группа. Затем во второй графе выявляют число видов, имеющих в данной группе. При этом ограничиваются определением видового разнообразия в группе по трем категориям: «Больше одного вида», «Только один вид» или «Все вышеназванные виды отсутствуют». Последним этапом является нахождение биотического индекса в соответствии с общим числом обнаруженных «групп» в пробе и установленной позицией.

Например, в пробе нет веснянок и встречен 1 вид бокоплавов. Находим позицию в таблице «Присутствуют мизиды и (или) бокоплавов, 1 вид». Допустим, в пробе найдены пиявки, моллюски, водяной ослик и 2 вида хирономид — всего (считая бокоплавов) 6 групп. Затем, смотря вниз по столбцу, находим точку пересечения с горизонтальной линией, соответствующей установленной позиции. Индекс Вудивисса равен 6 баллам (табл. 3).

Таблица 3

**Биотический индекс Вудивисса
для оценки загрязнения водоемов Кольского Севера**

Индикаторная группа	Число видов	Общее число «групп»				
		0—1	2—5	6—10	11—15	16 и более
Чистые воды						
Присутствуют нимфы веснянок	> 1 1	— —	7 6	8 7	9 8	10 9

Индикаторная группа	Число видов	Общее число «групп»				
		0—1	2—5	6—10	11—15	16 и более
Присутствуют мизида и (или) бокоплавцы (реликтовые виды)	> 1	—	6	7	8	9
	1	—	5	6	7	8
Присутствуют личинки поденок и (или) ручейников	> 1	—	5	6	7	8
	1	—	5	6	7	8
Присутствуют мелкие личинки хирономид (<i>Ortocladiinae</i>) и (или) (<i>Tanytarsini</i>)	Все вышеназванные виды отсутствуют	3	4	5	6	7
Присутствуют в большом количестве олигохеты (<i>Tubificidae</i>) и (или) крупные (красные) личинки хирономид (<i>Chironomus</i>)	»	2	3	4	5	6
Присутствуют единичные олигохеты (<i>Tubificidae</i>) и (или) крупные (красные) личинки хирономид (<i>Chironomus</i>)	»	1	2	3	4	-
Все вышеназванные группы отсутствуют		0	1	2	—	—
Грязные воды						

Примечание: В понятие «группа» входят отдельные виды или более крупные таксоны: все известные виды плоских червей, каждое семейство олигохет (кроме *Tubificidae*); все известные виды пиявок, моллюсков, ракообразных (кроме реликтовых видов); все известные виды поденок, веснянок, ручейников и других отрядов насекомых (кроме семейства *Chironomidae*); все известные виды хирономид (кроме рода *Chironomus*).

Одним из показателей сложности и структурированности, следовательно, в какой-то мере стабильности экосистем является видовое разнообразие. Для измерения степени загрязнения поверхностных вод наиболее часто используется формула Шеннона — Уивера:

$$H = - \sum \frac{n_i}{N} \log \frac{n_i}{N} \text{ бит/особь,}$$

где H — видовое разнообразие в битах;

n_i — число особей одного вида;

N — число всех особей в пробе.

Индекс видового разнообразия обычно меняется в пределах от 1,5 до 3,5 бит/особь. Обычно большое разнообразие соответствует благоприятным экологическим условиям в водоеме. Однако в суровых условиях среды профундали крупных олиготрофных озер наблюдается естественное обеднение донной фауны. Там биоценозы — вполне стабильные и нормально функционирующие — представлены небольшим видовым составом организмов. Значения индекса разнообразия, рассчитанные для незагрязненных водоемов, закономерно уменьшаются от прибрежной зоны к профундали. Поэтому меру разнообразия следует использовать в качестве дополнительного показателя при оценке степени загрязнения крупных озер только для прибрежных районов и заливов. Следует также учитывать то, что в мелководных озерах, реках, для которых характерно значительное разнообразие биотопов, донная фауна богатая и, естественно, значения индекса будут высокими.

Отношение численности личинок хирономид рода *Chironomus* к общей численности личинок подсемейства *Orthoclaadiinae* и трибы *Tanytarsini* может быть использовано для ориентировочной оценки степени загрязнения водных объектов. Обычно существует положительная связь между уровнем загрязнения органическими, биогенными веществами, отходами промышленности и обилием личинок *Chironomus*. Напротив, личинки *Orthoclaadiinae* (кроме некоторых фитофильных форм) и особенно *Tanytarsini* высокотребовательны к качеству среды обитания. При определении соотношения численности личинок хирономид отдельных систематиче-

ских групп необходимо учитывать большую зависимость развития организмов той или иной систематической группы от типа водоема и характера биотопа.

Гуднайт и Уитлей определяют состояние донных отложений и придонного слоя воды по относительной численности олигохет: отношению численности олигохет к общей численности животных бентоса ($N_{\text{олиг.}} / N_{\text{общ.}} \times 100$). Если этот показатель <60 %, то река в хорошем состоянии, при 60—80 % — река в сомнительном состоянии, если > 80 % — в тяжелом состоянии.

Надежным показателем увеличения биогенной нагрузки, длительной эвтрофикации водоема является повышение биомассы зообентоса по годам. Изучение многолетней динамики биомассы зообентоса обычно охватывает не менее 8—10 лет. Различия в величинах биомассы за более короткие периоды могут быть вызваны естественными колебаниями температурных и других абиотических факторов.

Для оценки состояния водных объектов по показателям зообентоса может использоваться классификация качества поверхностных вод Кольского Севера и классификатор качества вод суши по гидробиологическим показателям, используемый в системе Гидробиологической службы наблюдений и контроля поверхностных вод СССР (табл. 4).

Таблица 4

Классификация качества поверхностных вод Кольского Севера по показателям зообентоса (основные методы)

Класс вод	Качество вод	Зона сапротоксобности	Индекс сапротоксобности	Биотический индекс
1	Очень чистые			
2	Чистые	олигосапротоксобная	1,0—1,5	10—5
3	Умеренно загрязненные	b-мезосапротоксобная	1,5—2,5	5—3
4	Загрязненные	a-мезосапротоксобная	1,5—2,5	5—3
5	Грязные	полисапротоксобная	3,5—4,0	2—0
6	Очень грязные		—	0

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Абакумов, В. А.* Контроль качества поверхностных вод СССР по гидробиологическим показателям / В. А. Абакумов, Н. П. Бубнова. Обнинск: Гидрометеиздат, 1977. 5 с.
- Абакумов, В. А.* Зообентос в системе контроля качества вод / В. А. Абакумов, О. В. Качалова // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям : тр. Всесоюз. конф. Ленинград : Гидрометеиздат, 1981. С. 5—12.
- Алимов, А. Ф.* Структурно-функциональные характеристики речного зообентоса в зоне антропогенных воздействий / А. Ф. Алимов, В. А. Тесленко // Гидробиологический журнал. 1988. Т. 24. № 2. С. 27—31.
- Андроникова, И. Н.* Индивидуальные веса массовых видов зоопланктона озер Карельского перешейка. Сообщение 1 / И. Н. Андроникова // Рыбохозяйственное изучение внутренних водоемов. 1971. № 6. С. 52—55.
- Балушкина, Е. В.* Хириноиды как индикаторы степени загрязнения воды / Е. В. Балушкина // Методы биологического анализа пресных вод. Ленинград, 1976. С. 106—118.
- Балушкина, Е. В.* Зависимость между массой и длиной тела у планктонных животных / Е. В. Балушкина, Г. Г. Винберг // Общие основы изучения водных экосистем. Ленинград : Наука, 1979. С. 169—172.
- Балушкина, Е. В.* Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных / Е. В. Балушкина, Г. Г. Винберг // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Ленинград : Изд-во АН СССР, 1979. С. 58—72.
- Безматерных, Д. М.* Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири / Д. М. Безматерных. Новосибирск, 2007. 87 с.
- Березина, Н. А.* Гидробиология / Н. А. Березина. Москва : Советская наука, 1953. С. 12—43.
- Винберг, Г. Г.* Опыт применения разных систем биологической индикации загрязнения вод в СССР / Г. Г. Винберг // Влияние загрязняющих

веществ на гидробионтов и экосистемы водоемов. Ленинград : Наука, 1979. С. 285—292.

Вудивисс, Ф. Совместные англо-советские биологические исследования в Ноттингеме в 1977 г. / Ф. Вудивисс // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям : Тр. Советско-английского семинара. Ленинград : Гидрометеиздат, 1977. С. 132—161.

Жадин, В. И. Методы гидробиологического исследования / В. И. Жадин. Москва : Высш. шк., 1960. 191 с.

Жадин, В. И. Методика изучения донной фауны водоемов и экологии донных беспозвоночных / В. И. Жадин // Жизнь пресных вод СССР. Москва ; Ленинград, 1956. Т. 4. Ч. 1. С. 279—382.

Зилов, Е. А. Гидробиология и водная экология (организация, функционирование и загрязнение водных экосистем) : учебное пособие / Е. А. Зилов. Иркутск, 2009. 147 с.

Инструкция по сбору и обработке планктона / ВНИРО. Москва, 1971. С. 3—51.

Киселев, И. А. Методы исследования планктона / И. А. Киселев // Жизнь пресных вод СССР. Москва ; Ленинград : Изд-во АН СССР, 1956. Т. 4, вып. 1. С. 183—265.

Киселев, И. А. Планктон морей и континентальных водоемов / И. А. Киселев. Ленинград : Наука, 1969. Т. 1. С. 140—416.

Китаев, С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов / С. П. Китаев. Петрозаводск, 2007. С. 211.

Кожова, А. А. Инструкция по обработке проб счетным методом / А. А. Кожова, Н. Г. Мельник. Иркутск, 1978. С. 3—18.

Козлов, О. В. Промысловая гидробиология озерных беспозвоночных : учебное пособие / О. В. Козлов, А. П. Садчиков. Москва : МАКС Пресс, 2002. 36 с.

Константинов, А. С. Общая гидробиология / А. С. Константинов. Москва : Высш. шк., 1979. 480 с.

Куликова, Т. П. Рекомендации по определению сапробности с учетом биологических особенностей планктонных организмов Карелии / Т. П. Куликова // КФ АН СССР. Петрозаводск, 1983. 6 с.

Макрушин, А. В. Биологический анализ качества вод / А. В. Макрушин ; ЗИН АН СССР. Ленинград, 1974. 60 с.

- Макрушин, А. В.* Библиографический указатель по теме «Биологический анализ качества вод» с приложением списка организмов-индикаторов загрязнения / А. В. Макрушин ; ЗИН АН СССР. Ленинград, 1974. 53 с.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. Москва : Наука, 1975. С. 138—170.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / ГосНИОРХ. Ленинград, 1984. 33 с.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция / ГосНИОРХ. Ленинград, 1984. 52 с.
- Методические указания по принципам организации системы наблюдений и контроля за качеством воды водоемов и водотоков на сети Госкомгидромета в рамках ОГСНК. Ленинград : Гидрометеиздат, 1984. 40 с.
- Оценка качества поверхностных вод Кольского Севера по гидробиологическим показателям и данным биотестирования (практические рекомендации) / Кольский филиал АН СССР. Апатиты, 1988. 27 с.
- Практическая гидробиология. Пресноводные экосистемы. Москва : Изд-во МГУ, 2006. 367 с.
- Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В. А. Абакумова. Ленинград : Гидрометеиздат, 1963. 239 с.
- Унифицированные методы исследования качества вод // Методы биологического анализа вод. Индикаторы сапробности / СЭВ. Москва, 1977. Ч. 3. С. 91.
- Щербаков, А. П.* Соотношение размеров и веса у пресноводных планктонных рачков / А. П. Щербаков // ДАН. 1952. Т. 84. № 1. С. 153—156.
- Goodnight, C. J.* Oligochaetes as indicators of pollution / C. J. Goodnight, L. S. Whitley // Proc. 15 th Int.Waste Conf., Pardue Univ. Eht. Ser. 1961. Vol. 106. P. 139—142.
- Pantle, R.* Die biologische Uberwachung der Gewasser und die Darstellung der Ergebnisse / R. Pantle, H. Buck // Gas-und Wasserfach. 1955. Bd. 96. № 18. S. 604.

Sladecec, V. Water quality system / V. Sladecec // Verh. Int. Verein. Theor. Angew. Limnol. 1966. Vol. 16. P. 809—816.

Sladecec, V. System of water quality from the biological point of view / V. Sladecec // Arch. Hydrobiol. Ergebnisse der Limnologie. 1973. Bd. 7. 218 s.

Книги-определители зоопланктонных организмов

Кутикова, Л. А. Коловратки *Rotatoria* фауны СССР / Л. А. Кутикова. Москва ; Ленинград : Наука, 1970. 744 с.

Мануйлова, Е. Ф. Ветвистоусые рачки *Cladocera* фауны СССР / Е. Ф. Мануйлова. Москва ; Ленинград : Наука, 1964. 327 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР (планктон и бентос). Ленинград : Гидрометеиздат, 1977. 511 с.

Рылов, В. М. Свободноживущие веслоногие ракообразные *Copepoda* / В. М. Рылов // Жизнь пресных вод СССР. Москва ; Ленинград : Изд-во АН СССР, 1940. Т. 1. С. 373—398.

Рылов, В. М. *Cyclopoidea* пресных вод. Фауна СССР. Ракообразные / В. М. Рылов. Т. 3, вып. 3. Москва ; Ленинград : Изд-во АН СССР, 1948. 319 с.

Книги-определители бентосных беспозвоночных

Жизнь пресных вод. Москва ; Ленинград : Изд-во АН СССР, 1940. Т. 1. С. 79—304.

Жизнь пресных вод. Москва ; Ленинград : Изд-во АН СССР, 1949. Т. 2. 537 с.

Жадин, В. И. Моллюски пресных и солоноватых вод СССР / В. И. Жадин. Москва ; Ленинград : Изд-во АН СССР, 1962. 376 с.

Липин, А. Н. Пресные воды и их жизнь / А. Н. Липин. Москва : Учпедгиз, 1950. 347 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР (планктон и бентос). Ленинград : Гидрометеиздат, 1977. 511 с.

- Панкратова, В. Я. Личинки и куколки комаров подсемейства *Chironotinae* фауны СССР / В. Я. Панкратова. Ленинград, 1983. 296 с.
- Панкратова, В. Я. Личинки и куколки комаров подсемейства *Orthocladiinae* фауны СССР / В. Я. Панкратова. Ленинград, 1970. 344 с.
- Панкратова, В. Я. Личинки и куколки комаров подсемейства *Podopotinae* и *Tanypodinae* фауны СССР / В. Я. Панкратова. Ленинград, 1977. 154 с.
- Попченко, В. И. Водные малощетинковые черви севера Европы / В. И. Попченко. Ленинград, 1988. 287 с.
- Хейсин, Е. М. Краткий определитель пресноводной фауны / Е. М. Хейсин. Москва ; Ленинград , 1951. 160 с.
- Чекановская, О. В. Водные малощетинковые черви фауны СССР / О. В. Чекановская. Москва ; Ленинград : Изд-во АН СССР, 1962. 411 с.
- Черновский, А. А. Определитель личинок комаров семейства *Tendipedidae* / А. А. Черновский. Москва ; Ленинград : Изд-во АН СССР, 1949. 186 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Приборы и оборудование при изучении зоопланктона

1. Микроскоп МБС-1 или 9.
2. Микроскоп МБР или МБИ-3.
3. Количественная сеть Джеди.
4. Качественная сеть Апштейна.
5. Ведро полиэтиленовое (5 л).
6. Кружка (1 л).
7. Камера Богорова.
8. Чашки Петри.
9. Часовые стекла.
10. Мерные стаканы объемом 100, 200, 300 см³.
11. Химические стаканы.
12. Круглодонная колба объемом 100 см³.
13. Трубки стеклянные.
14. Пипетки мерные на 25 и 10 см³.
15. Пенициллиновые пузырьки, пузырьки на 50 см³.
16. Стеклянные или полихлорвиниловые бутылки, банки (100, 200, 300 см³).
17. Пипетки глазные.
18. Предметные стекла.
19. Покровные стекла.
20. Иглы препаровальные.
21. Груши резиновые.
22. Резиновый шланг диаметром 0,5—1 см.
23. Скальпель.
24. Зажимы Мора.
25. Фал капроновый (диаметр 0,5—1 см).

26. Газ или мельничное сито (№ 38, 58, 64, 73, 77).
27. Формалин 40%-й.
28. Бикарбонат натрия NaHCO_3 (питьевая сода).
29. Спирт 96°.
30. Фильтровальная бумага.
31. Вата, марля.
32. Лейкопластырь.
33. Пергамент.
34. Полевой дневник, рабочий журнал.
35. Ящик для транспортировки проб.
36. Термометр глубоководный и поверхностный.
37. Диск Секки.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Приборы и оборудование при изучении макробентоса

1. Дночерпатель Экмана — Берджа (0,025 м²).
2. Дночерпатель Петерсена (0,025 м²).
3. Драга, скребок, сачок.
4. Рамка количественная металлическая (0,25 м²).
5. Бинокляр МБС-10.
6. Микроскоп.
7. Сито или сачок-промывалка с мельничным газом № 21—23, 35—38.
8. Весы аналитические.
9. Весы торсионные.
10. Кювета белая 18 × 28 см².
11. Банки с крышками объемом 100, 250, 500 мл.
12. Пинцеты (глазной, анатомический).
13. Чашки Петри.
14. Пробирки диаметром 8—10 мм.
15. Пипетки глазные.
16. Иглы препаровальные.
17. Водный термометр в оправе.
18. Пергамент или калька.
19. Марля.
20. Полотенце.
21. Халат.
22. Формалин 40%-й.
23. Бикарбонат натрия NaHCO₃ (питьевая сода).
24. Таз.
25. Ведро.
26. Полевой дневник, рабочий журнал.
27. Ящики для транспортировки проб и оборудования.
28. Книги с определительными таблицами.

Учебное издание

Рыжков Леонид Павлович

Раднаева Валентина Александровна

Рябинкина Марина Германовна

Гидробиологические исследования на пресноводных водоемах

*Учебное пособие для студентов
биологических и экологических специальностей*

Редактор *О. В. Обарчук*

Художественный редактор *Е. Ю. Ермолаева*

Подписано в печать 02.03.2015. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. 2,5 уч.-изд. л. Тираж 100 экз. Изд. № 226

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Отпечатано в типографии Издательства ПетрГУ
185910, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

ISBN: 978-5-8021-2328-7



9 785802 123287