

Г.В. Шурганова
В.С. Жихарев
И.А. Кудрин
Д.Е. Гаврилко
Т.В. Золотарева



**ОТБОР И ОБРАБОТКА
ЗООПЛАНКТОНА
ПРИ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Национальный исследовательский Нижегородский
государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Г.В. Шурганова
В.С. Жихарев
И.А. Кудрин
Д.Е. Гаврилко
Т.В. Золотарева

ОТБОР И ОБРАБОТКА ЗООПЛАНКТОНА ПРИ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Учебно-методическое пособие

Рекомендовано методической комиссией Института биологии и биомедицины для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки 05.03.06 Экология и природопользование, 05.04.06 Экология и природопользование.

Нижний Новгород
2021

УДК 574.5
ББК 28.080
О-80

Рецензент:
к.б.н., доцент Н.А. Старцева

О-80 Отбор и обработка зоопланктона при гидроэкологических исследованиях: учебно-методическое пособие / сост. Г.В. Шурганова, В.С. Жихарев, И.А. Кудрин, Д.Е. Гаврилко, Т.В. Золотарева. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2021. – 27 с.

В настоящем учебно-методическом пособии описаны методы сбора и обработки зоопланктона в пресноводных водоемах и водотоках для подготовки студентов к выполнению практических заданий в рамках дисциплины «Большой практикум», а также при прохождении учебных и производственных практик. Кроме того, в пособии представлены методы биоиндикации пресноводных экосистем на основе количественного и качественного развития зоопланктона, а также ряда физико-химических характеристик водоемов.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов Института биологии и биомедицины ННГУ им. Н.И. Лобачевского, обучающихся по направлениям подготовки 05.03.06 Экология и природопользование, 05.04.06 Экология и природопользование.

Ответственный за выпуск:
председатель методической комиссии Института биологии и биомедицины
ННГУ к.б.н. Е.Л. Воденева

УДК 574.5
ББК 28.080

© Национальный исследовательский Нижегородский
государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2020
© Г.В. Шурганова
© В.С. Жихарев
© И.А. Кудрин
© Д.Е. Гаврилко
© Т.В. Золотарева

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ОРУДИЯ ЛОВА.....	7
ВЫБОР СТАНЦИЙ И ПЕРИОДИЧНОСТЬ СБОРОВ	9
ОТБОР ПРОБ.....	13
<i>Качественный сбор зоопланктона.....</i>	13
<i>Количественный сбор зоопланктона.....</i>	13
<i>Сбор зоопланктона в зарослях макрофитов.....</i>	14
<i>Оценка абиотических факторов окружающей среды</i>	15
КОЛИЧЕСТВЕННАЯ И КАЧЕСТВЕННАЯ ОБРАБОТКА ПРОБ.....	18
<i>Качественная обработка проб.....</i>	18
<i>Количественная обработка проб.....</i>	18
БИОИНДИКАЦИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	20
<i>Индексы трофического статуса водоемов, основанных на соотношении таксономических групп зоопланктона</i>	20
<i>Индекс трофического состояния водоема (TSI)</i>	22
<i>Оценка качества воды водоема или водотока</i>	23
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	25

ВВЕДЕНИЕ

Одним из звеньев, составляющих гидробиоценозы, является зоопланктон - часть планктона, представленная животными, которые не могут противостоять течениям и переносятся вместе с водными массами (Абакумов, 1992). Организмы зоопланктона ведут свободноплавающий, независимый от твердого субстрата, как опорного элемента, взвешенный в толще воды образ жизни. Большинство из них имеют органы передвижения, их перемещения происходят только в небольших пределах. Термин планктон был введен в науку немецким физиологом В. Гензеном в 1887 г.

Роль зоопланктона в трансформации энергии и биотическом круговороте веществ, определяющих продуктивность водоемов, очень велика. В большей части озер и водохранилищ основной поток энергии идет через планктон. Зоопланктонное сообщество, как и любое сообщество экосистемы, характеризуется динамической устойчивостью, определенной, присущей ему организацией. Изменения условий существования организмов отражаются на видовом составе, количественных показателях, соотношении отдельных таксономических групп, структуре популяций зоопланктеров. (Абакумов, 1992; Биоиндикация..., 2019; Hakkari, 1972; Wisconsin Department of Natural Resources..., 1992).

Зоопланктон, наряду с фито- и бактериопланктоном, является необходимым звеном в пищевой цепи водоемов. Потребляя фитопланктон, бактерий и детрит, зоопланктон представляет собой мощный фактор преобразования органического вещества. Организмы зоопланктона могут быть отнесены к различным трофическим уровням в пищевых сетях водоемов. В процессе своего метаболизма зоопланктеры минерализуют органические вещества, делая их доступным для первичных продуцентов. Процессы самоочищения и формирования качества вод в значительной степени зависят от зоопланктона, большинство представителей которого составляют фильтраторы. Ракообразные-фильтраторы и коловратки играют важную роль в самоочищении водоемов, потребляя бактерии и водоросли, причем не только живые, но и мертвые клетки. Благодаря способности к миграциям, организмы зоопланктона обеспечивают перенос вещества, способствуя круговороту органических и неорганических веществ в экосистемах (Практическая..., 2006).

Зоопланктон – важная составляющая в рационе рыб и хищных беспозвоночных. Наблюдения за зоопланктоном составляют необходимое звено в системе экологического мониторинга и проведения прогнозов последствий антропогенного воздействия. Многие виды зоопланктона выращиваются в хозяйствах аквакультуры как важнейший пищевой ресурс для рыб. Представители ветвистоусых рачков и коловраток (*Daphnia*, *Ceriodaphnia*, *Brachionus* и некоторые другие) используются в качестве тест-объектов при определении степени загрязнения водной среды. Их применение обусловлено высокой чувствительностью к различным загрязнителям, широким распространением и способностью к

культивированию в лабораторных условиях. В ряде стран дафнии являются стандартным тест-объектом при оценке токсичности водной среды. В России они включены в схему по определению эколого-рыбохозяйственных нормативов загрязняющих веществ для водоемов. По остаткам ракообразных в донных отложениях можно представить картину длительных изменений в водоеме (Практическая..., 2006).

В состоянии свободного плавания и парения проходит вся активная жизнь зоопланктона или ее часть. По продолжительности жизни в составе планктона предложена следующая классификация (Киселев, 1969):

1. Истинно планктонные организмы – их активная жизнь протекает во взвешенном состоянии, они опускаются на дно только на стадии покоя (например, латентные зимние яйца кладоцер и т.д.).
2. Временно планктонные организмы, живущие во взвешенном состоянии на отдельных жизненных стадиях, например, личинки моллюсков *Dreissena polymorpha*, личинка *Chaoborus*.
3. Факультативно планктонные организмы или частично планктонные. Организмы этой группы являются и планктонными, и бентосными, в их активной жизни чередуются периоды связи с субстратом в момент свободного плавания. Среди них часто встречаются представители семейства хидорид, коловраток.
4. Пассивно планктонные организмы, живущие на планктонных организмах, например, прикрепленные формы простейших, коловраток и т.д.
5. Случайно планктонные организмы – ведут бентосный образ жизни, но попадают в пробы, взятые у дна, а также вследствие действия ветра и течения, например, хирономиды, нематоды.
6. Псевдопланктон – различные частицы, плавающие в воде и не имеющие ничего общего с планктоном: детрит, пыльца растений, шкурки насекомых.

Зоопланктон пресных вод представлен, в основном, коловратками (Rotifera), веслоногими (Copepoda) и ветвистоусыми (Cladocera) ракообразными (Абакумов, 1992). При этом в состав пресноводного планктона входят представители разных систематических групп:

1. Царство PROTOZOA. Простейшие чаще встречаются в прибрежье, чем в пелагиали водоемов (представители т. INFUSORIA. Некоторые виды прикрепляются к рачкам (р. *Vorticella*).
2. Тип Кишечнополостные (COELENTERATA). В эту группу входят преимущественно морские формы, в пресных водах этот тип представлен очень скудно.
3. Группа червей (VERMES), в составе которой могут встречаться представители типов Круглые черви (NEMATODA, кл. NEMATODA) и Кольчатые черви (ANNELIDA, кл. OLIGOCHAETA), попадает в состав планктона из прибрежных, мелководных зон.

4. Тип Коловратки (ROTIFERA). Большинство коловраток в течение всего жизненного цикла присутствуют в планктоне. Среди них встречаются пелагические (большинство), бентосные и прикрепленные к субстрату формы.
5. Класс Ракообразные (CRUSTACEA). Эта группа самая многочисленная, в планктоне она занимает такое же место, как насекомые на суше.
6. Класс Насекомые (INSECTA). В состав планктона попадают личинки и куколки комаров из р. Chaoborus, представители сем. Chironomidae.
7. Тип моллюски (MOLLUSCA). Особенно часто личинки BIVALVIA – велигеры, глохидии.

ОРУДИЯ ЛОВА

Изучение видового состава, распределения и количественного развития организмов зоопланктона проводится различными методами и орудиями лова. Исследование распределения зоопланктона в водоеме или водотоке, их численности и биомассы производится по пробам, взятыми количественными методами и орудиями лова, а видового состава – по дополнительным пробам, качественными методами и орудиями лова.

Основное орудие, используемое для лова зоопланктона – стандартная количественная сеть Джеди (рис. 1б) с ячейей 60-70 мкм, которая предназначена для сбора ракообразных (Crustacea: Cladocera и Copepoda) и коловраток (Rotifera). Качественный анализ видового богатства водного объекта проводится с использованием качественной сети Апштейна (рис. 1а). Для планктонных сетей применяются стаканчики разной конструкции. Наиболее удобными признаны стаканчики из латуни или алюминия. Внутренний диаметр стаканчика – 35 мм, высота верхней цилиндрической части – 30 мм, нижней воронкообразной – 25 мм, длина патрубка – 20 мм, диаметр 7 мм (Тевяшова, 2009). Кроме того, для изучения горизонтального распределения организмов зоопланктона желателно применять планктоботометры (рис. 1г) объемом 5-10 л. Эти приборы особенно нужны при лове планктона в придонном горизонте, недоступном для планктонной сети (Методические рекомендации..., 1984).

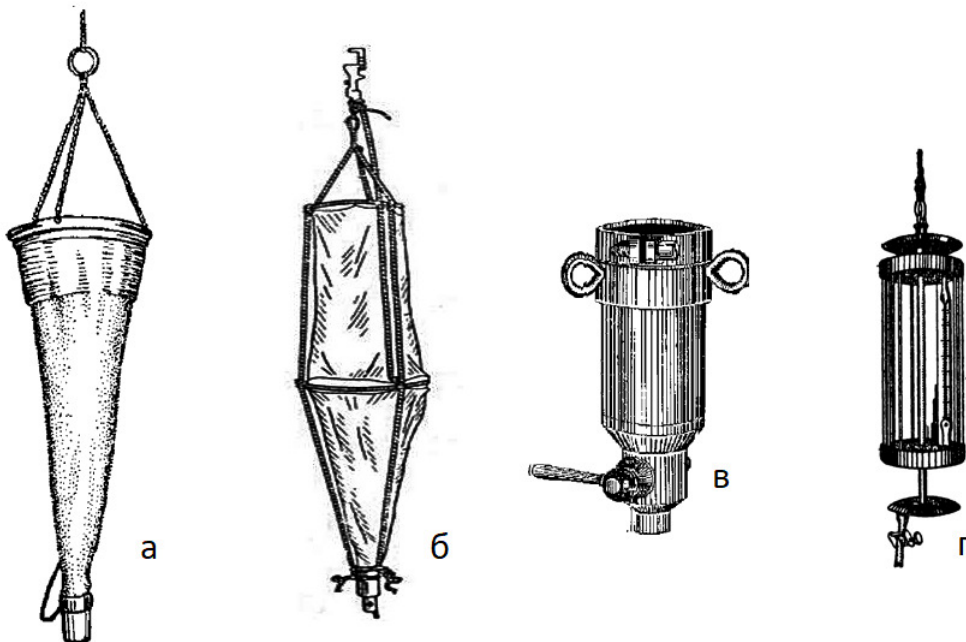


Рис. 1. Орудия лова организмов зоопланктона: а – качественная сеть Апштейна; б – количественная сеть Джеди с замыкателем; в – планктонный стаканчик; г – планктоботометр Руттнера

В глубоководных водоемах при изучении вертикального распределения зоопланктона, суточных миграций отдельных видов в зависимости от воздействия различных факторов (интенсивность солнечной радиации,

направление и сила ветра и пр.) необходимо осуществлять фракционный лов. С этой целью используется количественная планктонная сеть с замыкателем (рис. 1б) (Методические рекомендации..., 1984).

В зарослях высших водных растений пробы зоопланктона отбирают мерным ведром с последующим процеживанием воды через планктонную сеть Апштейна или Джели.

ВЫБОР СТАНЦИЙ И ПЕРИОДИЧНОСТЬ СБОРОВ

Количество и распределение станций по акватории водоема или водотока должно соответствовать особенностям морфологии конкретного водного объекта. При этом учитываются характер котловины/русла, глубина, изрезанность берегов, расчлененность. Для получения достоверных результатов минимальное число станций в каждой зоне водного объекта (пелагиаль и литораль водоема или медиаль и побережье реки) должно быть не меньше трех (Методические рекомендации..., 1984).

В малых озерах (менее 100 га) с блюдцеобразным ложем и небольшими глубинами достаточен отбор проб на 4-5 станциях, из которых 2-3 должны приходиться на основную часть водоема (пелагиаль), а остальные на прибрежную часть (литораль) (рис. 1). В озерах площадью более 100 га, с хорошо выраженной литоралью, при наличии крупных заливов или обособленных плесов необходимо в каждом плесе установить сетку станций по поперечным разрезам (не менее 2-3 разрезов, так чтобы в каждом разрезе было не меньше трех точек. Кроме того, в каждом заливе, если его площадь не менее 5% площади водоема, устанавливается 2-3 точки для взятия проб с таким расчетом, чтобы охватить прибрежную и центральную зоны, различающиеся по глубине (Методические рекомендации..., 1984).

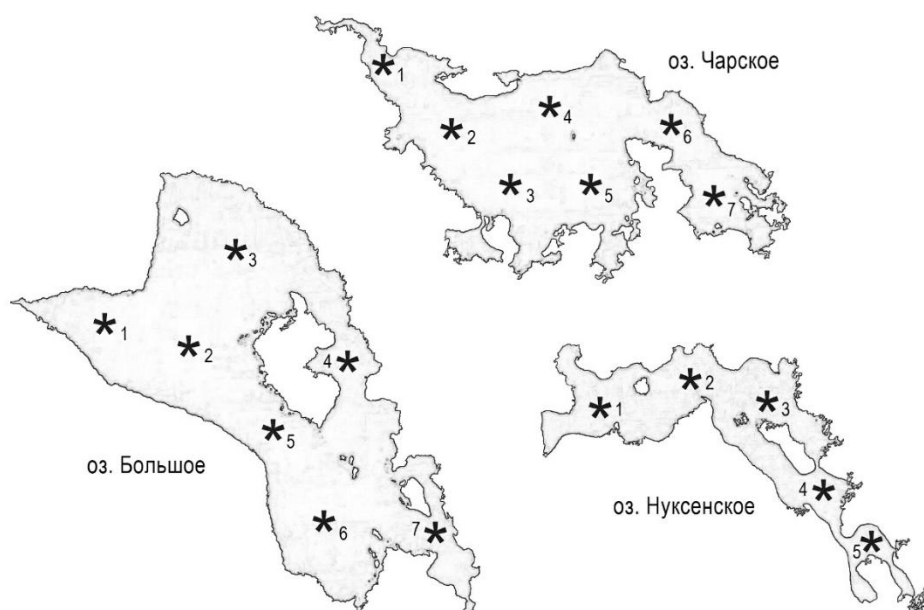


Рис. 1. Пример карты-схемы расположения станций отбора проб зоопланктона в водоемах

В водотоках станции отбора проб зоопланктона располагаются вниз по течению водотока в медиальной части верхнего, среднего и нижнего течения. Участки течения выделяются по величине соотношения расстояния от истока до станции отбора проб (l) к общей длине реки (L). Участки с величинами соотношения $l/L < 0,33$ относятся к верхнему течению, от 0,33 до 0,66 – к среднему течению, от 0,66 до 1,0 – к нижнему течению. Интегральная проба

с каждого участка течения состоит из двух-трех субпроб, которые собираются, соответственно, на двух-трех станциях (Крылов, 2005).

В водохранилищах станции отбора проб зоопланктона из-за возможной неоднородности водного потока и, часто, большой ширины закладываются в виде створов (левый берег, медиаль, правый берег) (рис. 2).

Количество станций может быть уменьшено или увеличено в зависимости от степени неоднородности водоема и при выполнении специальных исследований. Например, при изучении зоопланктона литорали, представленной несколькими биотопами или растительными ассоциациями, число станций следует увеличить в соответствии с количеством биотопов (ассоциаций) и долей, которую они занимают в пределах зоны (Методические рекомендации..., 1984).

При детальном изучении зоопланктона водоема или водотока, проводящемся в течение вегетационного сезона, всего года или нескольких лет, с целью выяснения видового состава, его распределения в пространстве и во времени, выявления биоценологических группировок, внутри- и межбиоценологических связей, при изучении биологии и продуктивности массовых видов, необходимо выбрать точки для постоянных станций, на которых будут производиться периодические сборы организмов зоопланктона. При выборе таких точек следует учитывать результаты единовременного обследования водного объекта и наметить по одной-две станции на каждом характерном биотопе. Для небольшого озера с однообразным характером котловины и глубинами не более 10 м достаточно четырех-пяти постоянных станций. В крупных водоемах, имеющих сильно изрезанную береговую линию, сложный рельеф дна и развитую литоральную зону с зарослями макрофитов, количество постоянных станций должно быть увеличено.

В зарослевых биотопах, расположенных в рипали водотоков, отбирается по три пробы зоопланктона на расстоянии 1,0-1,5 м между точками отбора в пределах зарослей. Изучение распределения сообществ зоопланктона в зарослях высших водных растений, расположенных на разном удалении от берега, проводят методом трансект (Зимбалева и др., 1987). Трансекты закладываются в пределах четко ограниченных зарослей макрофитов определенного вида (рис. 3). Пробы отбирают в центре зарослей и по трансекте вдоль береговой линии с расстоянием около 2-3 м между точками отбора.

Сроки взятия проб зоопланктона тесно связаны, во-первых, с периодичностью в жизни водоема, а во-вторых – с конкретными целями исследования, и в каждом отдельном случае могут резко различаться.

В том случае, когда целью наблюдений является изучение видового состава зоопланктона, состава и взаимодействия биоценологических группировок, их изменения во времени (в сезонном аспекте), сборы должны проводиться в течение всего года со следующей периодичностью: вегетационный сезон – один раз в декаду, один раз в октябре и не менее двух раз в подледный период (январь, март).

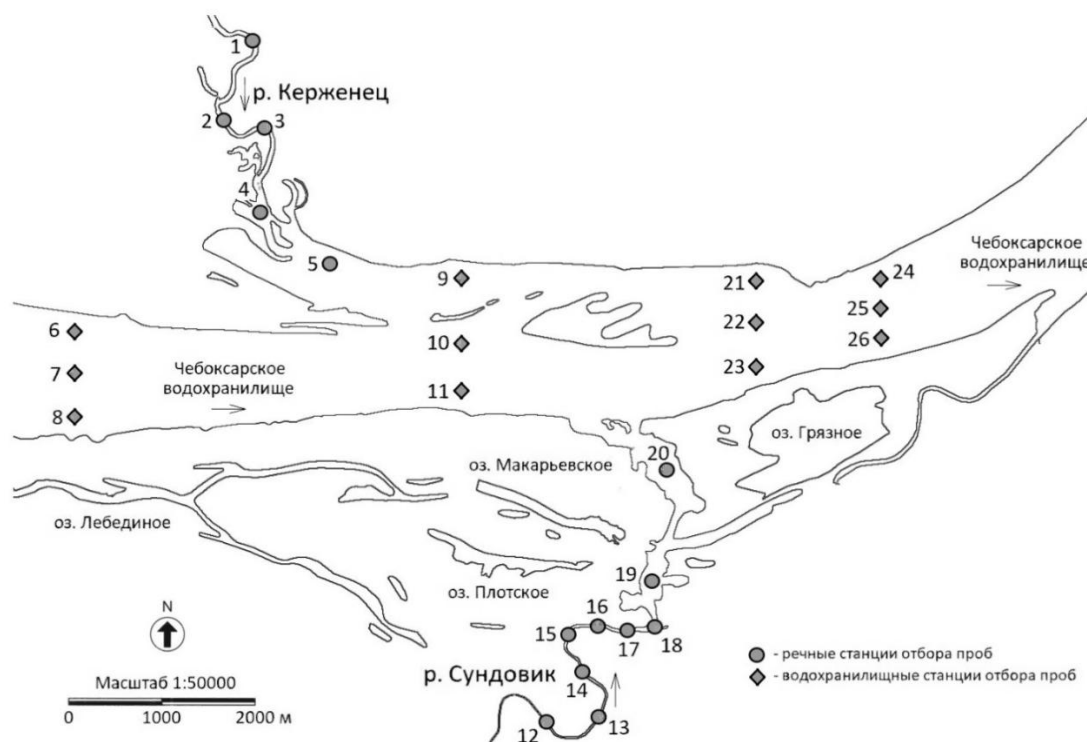


Рис. 2. Пример карты-схемы расположения станций отбора проб зоопланктона в водотоках и водохранилищах

При исследованиях зоопланктона, связанных с изучением биологии массовых видов и их продукции, частота общих съемок должна быть такой же, как при фаунистико-экологическом изучении населения водной толщи.

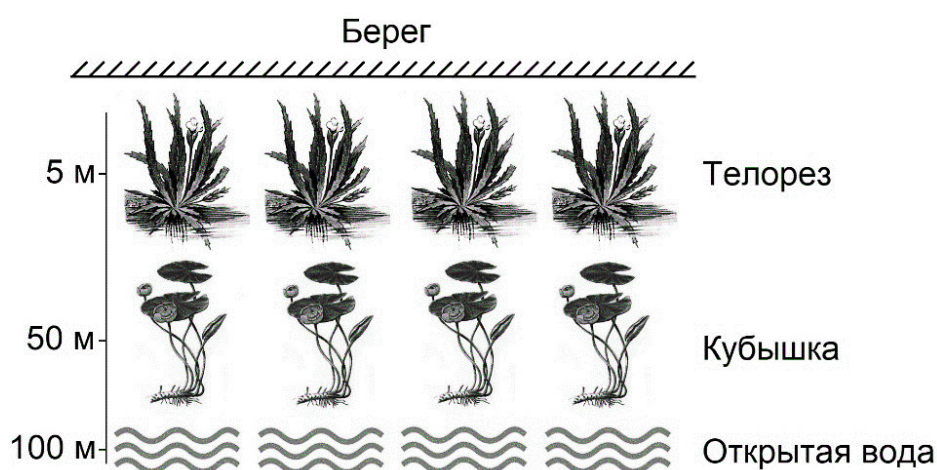


Рис. 3. Пример схемы расположения трансект в водном объекте. Цифрами обозначено расстояние от берега

При составлении плана исследования водоема необходимо учитывать такой существенный фактор, как бюджет времени гидробиолога. Даже у опытного исследователя просчет пробы зоопланктона под биноклем,

определение видового состава и возрастных стадий массовых форм при параллельном их измерении занимает не менее четырех-пяти часов. Средняя производительность труда зоопланктолога редко превышает 2-3 пробы за рабочий день. Кроме первичной обработки материалов потребуется время для расчета численности и биомассы, а также для оформления результатов работы в виде отчета или статьи.

ОТБОР ПРОБ

Все методы сбора зоопланктона сводится к двум вариантам:

1. Методы, представляющие собой комбинацию водозачерпывания и одновременного отделения планктона от воды в самой воде, что осуществляется с помощью планктонных сетей или планкточерпателей;
2. Методы, представляющие собой комбинацию раздельного водозачерпывания и последующего отделения планктона от воды, что осуществляется или с помощью фильтрации доставленной на поверхность воды через сетку, или посредством отстаивания (Киселев, 1969).

Качественный сбор зоопланктона

Классическим орудием сбора зоопланктона является коническая планктонная сеть Апштейна (см. Раздел I. Орудия лова), состоящая из шелкового или капронового конуса (усеченного), сверху нашитая на металлическое кольцо, а снизу имеющая стакан, в который собирается планктон. Качественный лов зоопланктона производится с целью выявления его видового состава. Установление видового состава зоопланктонного сообщества следует проводить в течение вегетационного периода, когда основная масса организмов присутствует в планктоне и активно размножается.

Качественными сетями работают с лодки, плота, судна: их опускают в воду по возможности вертикально вручную или с помощью лебедки. Маленькие планктонные сети можно забрасывать с берега, не допуская зачерпывания ими грунта.

Количественный сбор зоопланктона

Количественные сети требуют более тщательного изготовления. Они отличаются от качественных наличием в переднем отделе сети «обратного» конуса-надставки из плотного материала. Существует целый ряд количественных сетей, самой распространенной является сеть Джели.

В озерах и водохранилищах зоопланктон собирается в эпилимнионе, металимнионе и гиполимнионе или по стандартным горизонтам: поверхность – 0,5 м; поверхность – 2,0 м; 2,0-5,0 м; 5,0-10,0 м; 10,0-25,0 м; 25,0-50,0 м; 50,0-100,0 м. Облов горизонтов осуществляется при наличии у сети специального замыкателя, который замыкает сеть на определенной глубине. Отбор проб в таком случае стоит начинать с верхних горизонтов. Скорость подъема открытой сети не должна быть меньше 0,25 м/с и больше 0,5 м/с. После замыкания сети скорость подъема увеличивают, а затем, перед поверхностью несколько снижают, чтобы сеть плавно вынуть из воды. При отсутствии замыкателя производится тотальный лов от дна до поверхности.

Для удобства работы существует несколько моделей количественной сети Джеди (табл. 1).

Таблица 1

Размеры количественной сети Джеди, см

Характеристика	Модель		
	малая	средняя	большая
Диаметр входного отверстия	18	25	36
Конус надставка	40	80	120
Сетяной конус	47-50	100	130
Диаметр большого кольца	25	35	50
Диаметр стакана	3	6	10

При сетяном методе сбора зоопланктона водозачерпывание и отделение планктона осуществляются в воде одновременно. Существует вариант метода, при котором сначала производится водозачерпывание, а затем отделение планктона от воды. Этот способ применим на малых и средних реках, а также в прибрежной зоне любых водоемов и, прежде всего, в зарослях высших водных растений. Принцип способа заключается в следующем: сосудом определенной вместимости (литровой кружкой или 5-10 л ведром) берется определенный объем воды (50-100 л) и выливается в планктонную сеть, через которую происходит фильтрация воды. Планктон концентрируется в стаканчике. Зачерпывание следует производить быстро и по возможности без пузырьков воздуха, не допуская перемешивания воды.

Кроме рассмотренного метода существует осадочный, или отстойный метод, который обычно применяется для выявления видового состава и количественного распределения мелких коловраток.

Отобранные различными способами пробы переливаются из стакана в обычные стеклянные или пластиковые банки (50-500 мл). Пробы фиксируются 4% раствором формалина и тщательно закрываются крышками. Все банки этикетированы с указанием даты, названия водного объекта, краткого описания биотопа, орудия лова, глубины отбора пробы или объема пролитого сквозь планктонную сеть, а также биотических и абиотических параметров окружающей среды (Методические рекомендации..., 1984).

Сбор зоопланктона в зарослях макрофитов

Пробы зоопланктона в зарослях макрофитов отбирают мерным ведром с последующим процеживанием воды через сеть Апштейна или Джеди (25-50 л). В зарослевых биотопах, расположенных в рипали водотоков, отбирается по три пробы зоопланктона, на расстоянии 1,0-1,5 м между точками отбора в пределах зарослей.

Изучение распределения сообществ зоопланктона в зарослях макрофитов, расположенных на разном удалении от берега, проводится методом трансект (Зимбалевская и др., 1987). Трансекты закладываются в пределах четко ограниченных зарослей макрофитов определенного вида.

Пробы зоопланктона отбираются в центре зарослей, по трансекте вдоль береговой линии с расстоянием около 2-3 м между точками отбора.

При отборе проб зоопланктона в зарослях макрофитов необходимо учитывать проективное покрытие макрофитов. Оценка проективного покрытия макрофитов проводится глазомерно и выражается в процентах. Виды, образующие сплошной фон, отмечаются как имеющие 100%-ное проективное покрытие всей площади зарослей. Сильное или почти сплошное покрытие занимает $>75\%$, или $3/4$ площади; большое покрытие или умеренная разреженность – $50-75\%$, или $1/2-2/3$ площади; умеренное покрытие и большая разреженность – $25-50\%$, или $1/4-1/2$ площади; слабое покрытие и очень большая разреженность – от 5 до 25% , $1/20-1/4$ площади; очень слабое покрытие – меньше 5% , т.е. меньше $1/20$ площади зарослей (Соловьева, Лапиров, 2013).

При описании биотопа, в котором отбирается проба зоопланктона, в зависимости от эколого-биологических особенностей и условий обитания (Садчиков, Кудряшов, 2004; Соловьева, Лапиров, 2013) все исследованные высшие водные растения можно подразделить на три группы: полностью погруженные в воду (гидрофиты); растения с плавающими на поверхности листьями и воздушно-водные растения (гелофиты).

Оценка абиотических факторов окружающей среды

Для оценки абиотических факторов окружающей среды в каждой точке отбора проб зоопланктона может проводиться измерение удельной электропроводности, например, с использованием кондуктометра YSI Pro30 (YSI Incorporated, USA) (рис. 4А), водородного показателя и температуры воды с использованием рН-метра, например, YSI Pro10 (YSI Incorporated, USA) (рис. 4Б). Мутность воды определяется оптическим методом на турбидиметре, например, HACH 2100 (Hach Company, USA) (рис. 4В) (Белозерова, Чалов, 2013).



Рис. 4. Примеры приборов для измерения удельной электропроводности (А), водородного показателя и температуры воды (Б) и мутности воды (В)

Кроме того, в каждой точке отбора проб необходимо определить глубину, при помощи лота или эхолота, например, Lowrance HOOK2-4x GPS Bullet (Lowrance Electronics, USA) (рис. 5А), а также содержание растворенного в воде кислорода, например, при помощи портативного оксиметра МАРК-303М (ООО «ВЗОР», Россия) (рис. 5Б).



Рис. 5. Примеры приборов для измерения глубины (А) и растворенного в воде кислорода (Б)

Измерение прозрачности воды производится при помощи Диска Секки (рис. 6). Важно помнить о том, что измерять прозрачность необходимо или с теневой стороны судна, или при вертикальном падении солнечных лучей.

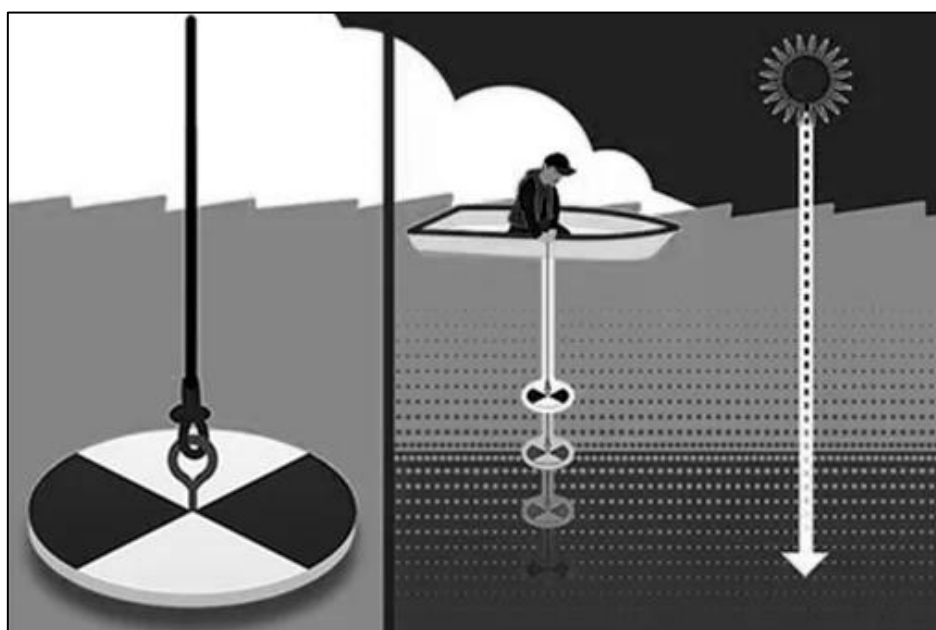


Рис. 6. Прибор Диск Секки и метод измерения прозрачности воды

В каждой точке также могут отбираться пробы воды для последующего лабораторного исследования. Например, концентрация гидрокарбонатов определяется по результатам титрования пробы раствором соляной кислоты в присутствии индикаторов (как разница между общей и карбонатной щелочностью) в соответствии с ГОСТ 31957-2012. Концентрации сульфатов и натрия определяется методом ионной хроматографии. Содержание в воде фотосинтетических пигментов (хлорофилла-*a* и -*b*) определяется согласно ГОСТ 17.1.4.02-90 путем спектрофотометрирования ацетонового экстракта из осадка, полученного после фильтрации пробы через мембранный фильтр.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ И КАЧЕСТВЕННАЯ ОБРАБОТКА ПРОБ

Качественная обработка проб

Задача качественной обработки зоопланктона сводится к точному установлению видовой принадлежности входящих в его состав организмов. При этом рекомендуется отбирать и качественные пробы-дублиеры, которые не фиксируют. Живые пробы обрабатывают по возможности немедленно после сбора. Если время не позволяет сделать это, то пробы сохраняют до обработки в прохладном месте, защищенном от солнца, причем банки плотно не закрываются.

Виды, не требующие определения в живом состоянии исследуются из фиксированных качественных проб. Из осадка сконцентрированных проб пипеткой планктон переносится на предметное стекло и обрабатывается. При качественной и количественной обработке фиксированного материала важно отличать живые организмы от мертвых. Живым зоопланктонным организмам присуща четкость границ между органами, а также наличие хорошо выраженной мускулатуры. Для мертвых организмов характерно стирание границ между органами, распад мускулатуры.

При обработке качественных проб иногда допустимо производить учет относительной численности и частоты встречаемости тех или других форм. Для этого пользуются шкалами, которые цифрами или словесными обозначениями дают представление о порядке величин. По шкале Вислоуха, например, массовое нахождение организма обозначается значком ∞ (бесконечность), очень частое – цифрой 5, частое – 4, нередкое – 3, редкое – 2 и очень редкое – 1.

Количественная обработка проб

Далее следует количественная обработка проб, которая заключается в подсчете количества организмов каждого вида по возможности по возрастным стадиям или размерным группам. Счетный метод довольно трудоемкий, но в то же время самый точный (Кожова, Мельник, 1978).

Виды зоопланктона идентифицируются по сводкам Л.А. Кутиковой (1970) и Определителю зоопланктона... (2010). Проводится учет коловраток, ветвистоусых и веслоногих ракообразных. Счет количества организмов производился в камере Богорова сначала под стереомикроскопом, а затем, для уточнения систематической принадлежности, на большом увеличении под стандартным биологическим микроскопом

Численность представляется как количество организмов в единице объема (экз./м³). При отборе малой сетью Джели с диаметром входного отверстия 18 см расчёт численности производится по формуле:

$$N = \frac{n \times 39.32}{h}, \quad (1)$$

где N – количество организмов в 1 м^3 воды (экз./м³); n – количество организмов в пробе (экз.); h – глубина отбора пробы, м. Константа 39.32 рассчитывается исходя из радиуса входного отверстия сети как $1/\pi R^2$.

Биомасса зоопланктона определяется умножением числа организмов каждого вида на их индивидуальную массу:

$$B = N \times m, \quad (2)$$

где B – биомасса зоопланктона в 1 м^3 воды, мг/м³; N – количество организмов в 1 м^3 воды, экз./м³; m – индивидуальная масса организмов, мг.

Индивидуальная масса ракообразных и коловраток определяется по их длине с использованием зависимости между длиной и весом:

$$W = g \times l^b, \quad (3)$$

где W – масса (в миллиграммах сырого вещества); l – длина тела животного (мм); g – масса при длине, равной 1мм; b – показатель степени. Значения параметров g и b берутся из специальных таблиц Е.В. Балушкиной и Г.В. Винберга (1979).

Для оценки видовой структуры ценозов используются показатели, традиционно используемые в гидробиологических и экологических исследованиях. Индекс доминирования Ковнацкого-Паля (Баканов, 1987):

$$D = 100 \times P_i \frac{n_i}{\sum_{i=1}^S n_i}, \quad (4)$$

где $\frac{n_i}{\sum_{i=1}^S n_i}$ – относительное обилие, P_i – частота встречаемости (%) i -го вида (отношение числа проб, в которых вид встретился, к общему числу проб). При D от 100 до 10 вид является доминантом, от 10 до 1 – субдоминантом, от 1 до 0,1 – адоминантом группы а; менее 0,1 – адоминантом группы б.

Информационный индекс Шеннона (Shannon, Weaver, 1949):

$$\bar{H} = -\sum_{i=0}^S p_i \times \log_2 p_i, \quad (5)$$

где S – общее число видов в пробе, p_i – доля i -го вида от общей численности (или биомассы) всех видов в пробе, или удельное обилие каждого вида.

Индекс выравненности Пиелу (Pielou, 1966):

$$e = \frac{\bar{H}}{\log_2 S}, \quad (6)$$

где \bar{H} – индекс видового разнообразия Шеннона, S – число видов.

Для оценки сходства видового состава планктонных сообществ рассчитывали индекс сходства видового состава Сьеренсена (Sørensen, 1948):

$$J = \frac{2C}{(A+B)}, \quad (7)$$

где C – число общих видов, A и B – числа видов двух списков.

БИОИНДИКАЦИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Качество природных вод в настоящее время формируется под действием разнородной антропогенной нагрузки. Функционирование промышленности, сельскохозяйственная деятельность, процесс урбанизации – это очевидные причины антропогенного загрязнения природной среды, в том числе водных экосистем. Поэтому возникает необходимость получения достоверной информации о качестве окружающей среды (Биоиндикация и биотестирование..., 2019).

Индексы трофического статуса водоемов, основанных на соотношении таксономических групп зоопланктона

Индекс основанный на соотношении численности Cladocera и Copepoda (Андроникова, 1996). Увеличение данного показателя свидетельствует о повышении трофического статуса водоема.

$$I_B = \frac{N_{Clad}}{N_{Cop}} \quad (8)$$

Использование данного показателя обусловлено тем, что Cladocera по сравнению с Copepoda обладают большим репродукционным потенциалом, способны к партеногенезу и, как следствие, преобладают над Copepoda в озерах эвтрофного типа. Кроме того, кладоцеры, в отличие от копепод, в эвтрофных водоемах хорошо обеспечены пищей, так как они способны кроме фитопланктона потреблять бактерий и взвешенные органические частицы.

Индекс трофности Мяэметса предложен А.Х. Мяэметсом и рассчитывается как соотношение биомассы Crustacea и Rotifera (Мяэметс, 1980).

$$I = \frac{B_{Cr}}{B_{Rot}} \quad (9)$$

При эвтрофировании биомасса коловраток возрастает, а ракообразных уменьшается, таким образом, значение показателя уменьшается.

Важнейшим показателем размерной структуры зоопланктонного сообщества можно считать среднюю индивидуальную массу зоопланктона за вегетационный период (усредненное за период наблюдений отношение общей биомассы к общей численности в пробе). Этот показатель был предложен Ю.Х. Хаберман в 1978 г., данные о его значениях в водоемах озерного типа были обобщены И.И. Андрониковой (1996).

$$w = \frac{B}{N} \quad (10)$$

При эвтрофировании наблюдаются тенденция на уменьшение линейных размеров в доминантных популяциях ракообразных, а также замена крупных фильтраторов более мелкими формами кладоцер. Кроме того, доля Rotifera в

общей численности и биомассе зоопланктона существенно возрастает, начинают преобладать мелкие формы. В целом, в планктоне преимущественно развиваются мелкие виды с простыми и короткими жизненными циклами.

Соотношение числа видов индикаторов эвтрофных и олиготрофных условий было предложено L. Nakkarı в 1972 г. для характеристики трофности водного объекта (Nakkarı, 1972). При $I < 0,5$ – олиготрофия, $0,5-1,5$ – мезотрофия, $1,5-5,0$ – эвтрофия, $>5,0$ – гипертрофия.

$$I = \frac{E}{O} \quad (11)$$

Фаунистический индекс Мяэметса, основанный на индикаторных свойствах видов зоопланктона, базируется на расчете количества видов-индикаторов эвтрофных и олиготрофных вод с учетом соотношения таксономических групп планктонных организмов:

$$E = \frac{K(x + 1)}{(A + V)(y + 1)}, \quad (12)$$

где K – число видов Rotifera, A – число видов Copepoda, V – число видов Cladocera, x – число мезо-эвтрофных видов, y – число олиго-мезотрофных видов. Выделяются следующие градации трофности: $<0,2$ – олиготрофный тип; $0,2-1,0$ – мезотрофный тип; $1,1-4,0$ – эвтрофный тип; $>4,0$ – гипертрофный тип. Списки олиго-мезотрофных видов и мезо-эвтрофных видов приведены в специализированной литературе (Андроникова, 1996).

Владимир Сладечек в 1983 г. предложил фаунистический индекс трофического статуса воюемов, основанный на соотношении числа видов (n) двух родов коловраток, а именно *Brachionus* Pallas, 1766 и *Trichocerca* Lamarck, 1801:

$$Q_B = \frac{N_{Brachionus}}{N_{Trichocerca}} \quad (12)$$

В олиготрофных водоемах наблюдается наибольшее разнообразие видов рода *Trichocerca*, наименьшее – рода *Brachionus*. С увеличением уровня трофии количество видов рода *Brachionus* возрастает, а количество видов рода *Trichocerca* резко уменьшается. Таким образом, значение индекса возрастает от олиго- к эвтрофным водоемам.

На протяжении многих лет используется такой показатель как соотношение биомассы смежных трофических уровней (Андроникова, 1996), в обобщенном виде:

$$I = \frac{B_{\text{хищников}}}{B_{\text{мирных}}} \times 100 \quad (13)$$

Чаще это соотношение рассчитывается для планктонных ракообразных и характеризует соотношение общей биомассы хищников (B_3) к таковой фильтраторов (B_2):

$$I = \frac{B_3}{B_2} \times 100 \quad (14)$$

Для получения более объективной картины рекомендуется использовать средние за вегетационный период значения. Более высокое соотношение характерно для олиготрофных водоемов, в эвтрофных водоемах этот показатель существенно ниже, что объясняется значительным увеличением биомассы фильтраторов в более продуктивных водоемах.

Последние десятилетия в научной литературе часто встречаются показатели, основанные на соотношении числа видов в трофических группах зоопланктона. Это максимальная длина трофической сети или модальное число трофических уровней (Pimm et al., 1991), плотность связей хищник-жертва – число хищных взаимодействий на один вид, число хищных и нехищных (мирных) видов (Pimm, 1980), а также их соотношение, чаще называемое индекс относительной значимости хищничества и конкуренции (Locke, Sprules, 1994):

$$I = \frac{N_{\text{хищников}}}{n_{\text{мирных}}} \times 100 \quad (15)$$

При эвтрофировании происходит увеличение видов фильтраторов и седиментаторов, тогда как количество видов хищников уменьшается, что приводит к уменьшению значений индекса.

Индекс трофического состояния водоема (TSI)

Одним из распространенных методов классификации качества воды в водоеме является использование индекса трофического состояния (*trophic state index, TSI*) на основе концентрации общего фосфора (TSI_P), хлорофилла-а (TSI_C) и прозрачности воды (TSI_{SD}) (Carlson, 1977):

$$TSI_P = 4,15 + 14,42 \left[\ln \text{общий фосфор, } \frac{\text{мкг}}{\text{л}} \right] \quad (16)$$

$$TSI_C = 30,6 + 9,81 \left[\ln \text{хлорофилл}_a, \frac{\text{мкг}}{\text{л}} \right] \quad (17)$$

$$TSI_{SD} = 60,0 - 14,41 [\ln \text{прозрачность воды, м}] \quad (18)$$

Для получения итогового значения TSI находится среднее значение из TSI_P , TSI_C и TSI_{SD} , а затем на основании данных табл. 2 устанавливается трофический статус водного объекта.

Значения индекса трофического состояния
и атрибуты трофического состояния

TSI	Chl, мкг/л	SD, м	TP, мкг/л	Трофический статус	Атрибуты
<30	<0,95	>8	<6	UO	Чистая вода, наличие кислорода в течение всего года в гиполимнионе
30–40	0,95–2,6	8–4	6–12	O	
40–50	2,6–7,3	4–2	12–24	M	Вода умеренно чистая, увеличивается вероятность гиполимнической аноксии в летний период
50–70	7,3–56	2–0,5	24–96	E	Аноксия в гиполимнионе, возможны проблемы с макрофитами, развитие цианобактерий
>70	>56	<0,5	96–384	H	Заращение водоема макрофитами и массовое развитие цианобактерий

Примечание: TSI – индекс трофического состояния; Chl – содержание, хлорофилла-а; SD – прозрачность воды; TP – содержание общего фосфора; UO – ультраолиготрофный; O – олиготрофный; M – мезотрофный; H – гиперэвтрофный

Переход водоема из категории олиготрофного в гиперэвтрофного является естественным процессом, т.к. в результате «жизни» водоема происходит накопление питательных веществ, органического материала и ила. Этот процесс называется эвтрофикацией (Wisconsin Department of Natural Resources, 1992).

Оценка качества воды водоема или водотока

Для оценки качества воды водоемов и водотоков используется индекс сапробности Пантле и Букка в модификации Сладечека (Pantle, Buck, 1955; Sladeček, 1973, 1993) с применением списков индикаторных организмов Сладечека (Унифицированные методы ..., 1976; Wegl, 1983):

$$S = \frac{\sum(h \times s)}{\sum h}, \quad (19)$$

где s – индекс сапробности индикаторного вида, h – представленность (численность или биомасса) индикаторного вида. Для оценки качества воды с использованием индикаторных видов зоопланктона применяли ГОСТ 17.1.3.17-82 (табл. 3) (Кузнецова и др., 1995).

Таблица 3

Правила контроля качества воды в водоёмах
и водотоках (ГОСТ 17.1.3.17-82)

Класс воды	Воды	Индекс сапробности по Пантле и Букку
I	Очень чистые	<1,00
II	Чистые	1,00-1,50
III	Умеренно (слабо) загрязненные	1,51-2,50
IV	Загрязненные	2,51-3,50
V	Грязные	3,51-4,00
VI	Очень грязные	>4,00

Индекс сапробности равен:

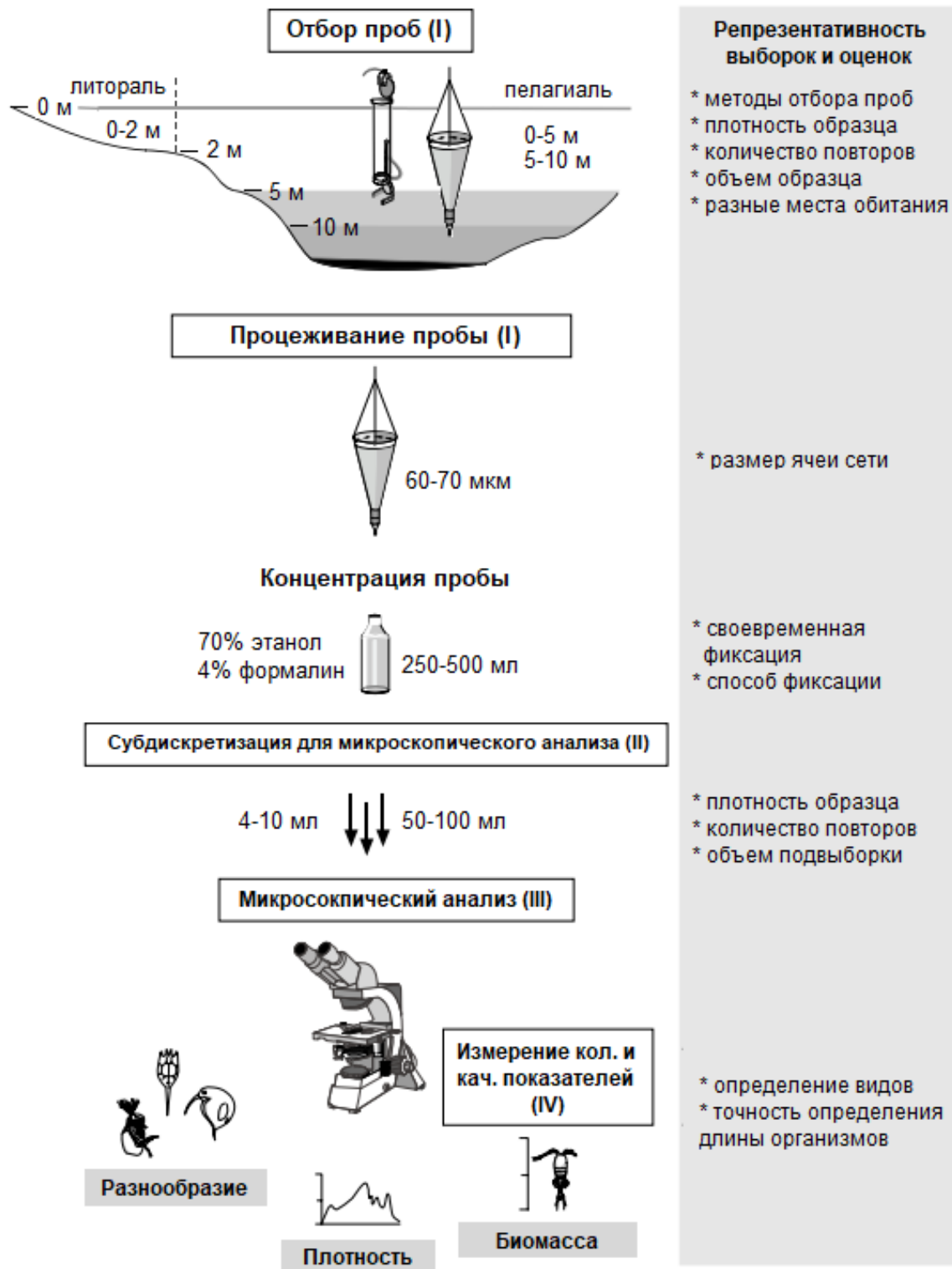
- в ксеносапробной зоне – 0-0,5 (совершенно чистые воды);
- в олигосапробной – 0,51-1,5; (чистые)
- в β -мезосапробной – 1,51-2,50 (воды умеренного загрязнения);
- в α -мезосапробной – 2,51-3,50 (грязные);
- в полисапробной зоне – 3,51-4,50 (очень грязные).

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Абакумов В.А.* Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 320 с.
- Андроникова И.Н.* Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. – СПб.: Наука, 1996. – 189 с.
- Баканов А.И.* Количественная оценка доминирования в экологических сообществах. – Борок: ВИНТИ, 1987. – 64 с.
- Балушкина Е.В., Винберг Г.Г.* Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озёр. – СПб.: Наука, 1979. – С. 58–72.
- Биоиндикация и биотестирование в пресноводных экосистемах: учебное пособие для высших учебных заведений. – СПб: РГГМУ, 2019. – 140 с.
- ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды в водоемах и водотоках. – М.: Гос. ком. СССР по стандартам, 1982.
- ГОСТ 17.1.4.02-90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла-а. – 1991.
- ГОСТ 31957-2012. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. – 2014.
- Зимбалева Л.Н., Плигин Ю.В., Хороших Л.А.* Структура и сукцессии литоральных биоценозов днепровских водохранилищ. – Киев: Наук. думка, 1987. – 204 с
- Киселев И.А.* Планктон морей и континентальных вод. – Л.: Наука, 1969. – Т. 1. – 657 с.
- Кожова О.М., Мельник Н.Г.* Инструкция по обработке проб планктона счетным методом. – Иркутск, 1978. – С. 3–18.
- Кузнецова М.А., Охупкин А.Г., Шурганова Г.В., Юлова Г.А.* Методы биоиндикации водных экосистем // Экологический мониторинг. Методы биомониторинга. Часть I. Учебное пособие. – Нижний Новгород: ННГУ. – 1995. – С. 76–131.
- Кутикова Л.А.* Коловратки фауны СССР. – Л.: Наука, 1970. – 744 с.
- Крылов А.В.* Зоопланктон равнинных малых рек. – М.: Наука, 2005. – 263 с.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Науч. ред. Г.Г. Винберг, Г.М. Лаврентьева. – Л.: ГосНИОРХ, 1982. – 33 с.
- Мяэметс А.Х.* Изменения зоопланктона // Антропогенное воздействие на малые озера / под ред.: Коплан-Дикс И.С., Стравинская Е.А. – Л.: Наука, 1980. – С. 54–64.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России / Под. ред. В.Р. Алексеева, С.Я. Цалолихина. – М.: КМК, 2010. – 495 с.

- Практическая гидробиология. Пресноводные экосистемы. Учеб. для студ. биол. спец. университетов. Под ред. В.Д. Федорова и В.И. Капкова. – М.: Изд-во «ПИМ», 2006. – 367 с.
- Садчиков А.П., Кудряшов М.А.* Экология прибрежно-водной растительности. – М.: Изд-во НИА-Природа, РЭФИА, 2004. – 220 с.
- Соловьева В.В., Ланиров А.Г.* Гидробиология. – Учебник для высших учебных заведений. – Самара: ПГСГА, 2013. – 354 с.
- Тевяшова О.Е.* Сбор и обработка зоопланктона в рыбоводных водоемах. Методическое руководство (с определением основных пресноводных видов). – Ростов-на-Дону: ФГУП «АзНИИРХ», 2009. – 84 с.
- Унифицированные методы исследования качества вод // Методы биологического анализа вод. – М.: СЭВ, 1976. – Т. 3. – 185 с.
- Carlson R.E.* A trophic state index for lakes // *Limnology and Oceanography*. – 1977. – Vol. 22. – P. 361–369. DOI: 10.4319/lo.1977.22.2.0361.
- Hakkari L.* Zooplankton species as indicator of environment // *Aqua Fenn.* – 1972. – P. 46–54.
- Locke A., Sprules W.G.* Zooplankton communities and water chemistry of Sudbury Area Lakes: changes related to pH recovery // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. – 1994. – V. 51. – P. 151–160. DOI: 10.1139/f94-017.
- Pantle F., Buck H.* Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse // *Gas- und Wasserfach*. – 1955. – Vol. 96. – № 18. – 604 p.
- Pielou E.C.* Shannon's formula as a measure of species diversity: its use and misuse // *Amer. Natur.* – 1966. – Vol. 100. – P. 463–465.
- Pimm S.L.* Properties of food webs // *Ecology*. – 1980. – Vol. 61. – № 2. – P. 219–225. DOI: 10.2307/1935177.
- Pimm S.L., Lawton J.H., Cohen J.E.* Food web patterns and their consequences (a review) // *Nature*. – 1991. – Vol. 350. – P. 669–674. DOI: 10.1038/350669a0.
- Shannon C., Weaver W.* The mathematical theory of communication. – Urbana, 1949. – 117 p.
- Sládeček V.* Rotifer as indicators of water quality // *Hydrobiologia*. – 1993. – Vol. 100. № 2. – P. 169–201. DOI: 10.1007/BF00027429.
- Sládeček V.* System of water quality from biological point of view. *Ergebnisse Limnologie*. – *Archiv für Hydrobiologie*. – 1973. – Vol. 7. – № 7. – 218 p.
- Sørensen T.* A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content // *Kongelige Danske Videnskabskabernes Selskab*. – 1948. – № 4. – P. 1–34.
- Wegl R.* Index für die Limnosaprobität // *Wasser und Abwasser*, 1983. – Vol. 26. – 175p.
- Wisconsin Department of Natural Resources, 1992, Wisconsin water quality assessment - Report to Congress. – Wisconsin Department of Natural Resources Publication WR254–92–REV, 1992. – 220 p.

Общая схема гидроэкологического исследования



АВТОРСКИЙ КОЛЛЕКТИВ

Шурганова Галина Васильевна

e-mail: galina.nngu@mail.ru

Доктор биологических наук, профессор кафедры экологии Института биологии и биомедицины Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского

Жихарев Вячеслав Сергеевич

e-mail: slava.ziharev@ro.ru

Ассистент кафедры экологии Института биологии и биомедицины Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского

Кудрин Иван Александрович

e-mail: kudriniv@mail.ru

Кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии Института биологии и биомедицины Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского

Гаврилко Дмитрий Евгеньевич

e-mail: dima_gavrilko@mail.ru

Кандидат биологических наук, преподаватель кафедры экологии Института биологии и биомедицины Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского

Золотарева Татьяна Владимировна

e-mail: tanyakuklina.nn@yandex.ru

Аспирант кафедры экологии Института биологии и биомедицины Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского

**ОТБОР И ОБРАБОТКИ ЗООПЛАНКТОНА
ПРИ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Учебно-методическое пособие

Рецензент:
к.б.н., доцент Н.А. Старцева

Печатается в авторской редакции

Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского
603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23

Подписано в печать 08.10.2021. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 1,86.
Заказ № 339. Тираж 50 экз.

Отпечатано в типографии Нижегородского госуниверситета
им. Н.И. Лобачевского
603000, г. Нижний Новгород, ул. Большая Покровская, 37