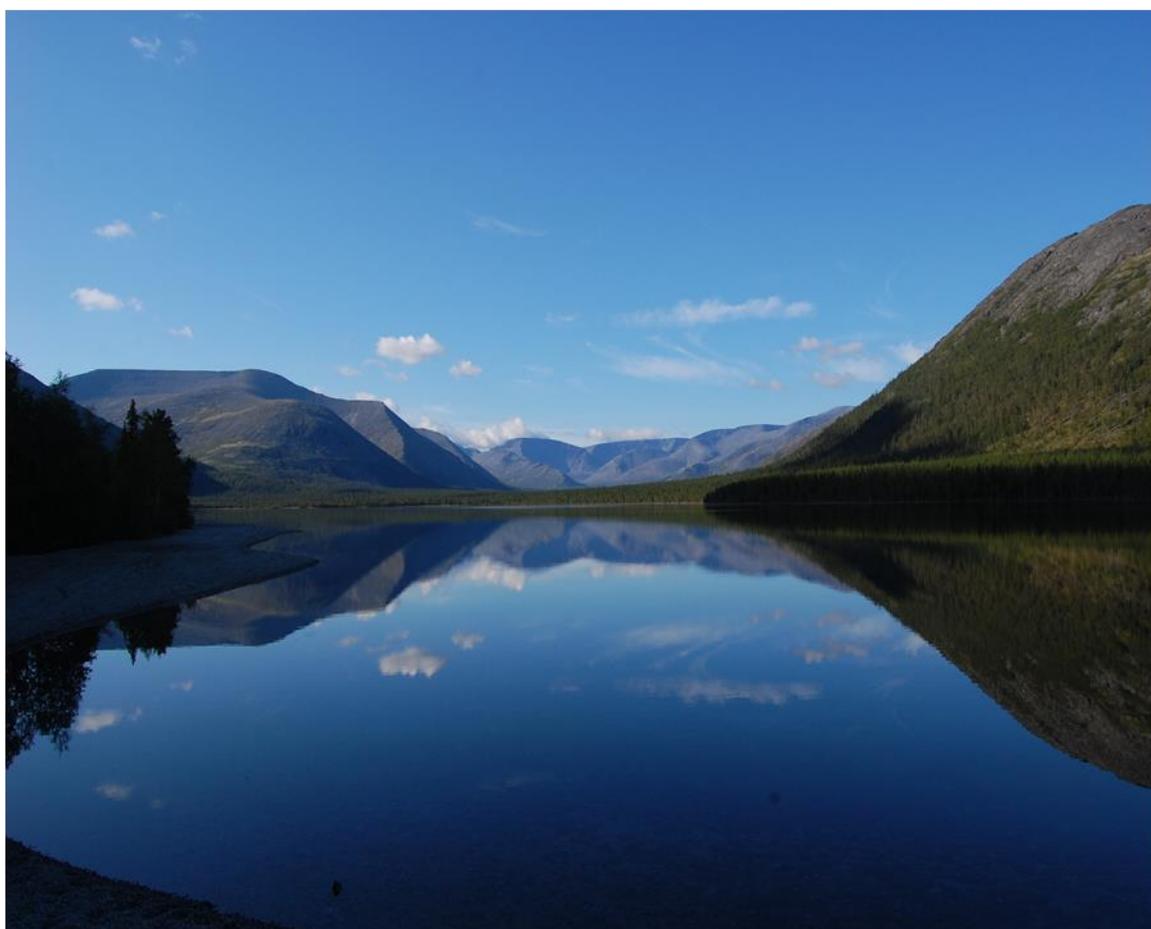


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ СЕВЕРА –
ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА
«КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОДОЕМОВ АРКТИКИ



**Мурманск
Издательство МГТУ
2018**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
"МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"**

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ СЕВЕРА –
ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА
"КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК"**

**С. С. Сандимиров, Л. П. Кудрявцева, В. А. Даувальтер, Д. Б. Денисов,
А. Л. Косова, А. А. Черепанов, О. И. Вандыш, С. А. Валькова, П. М. Терентьев,
И. М. Королева, Е. М. Зубова, Н. А. Кашулин**

**МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ВОДОЕМОВ АРКТИКИ**

Мурманск
Издательство МГТУ
2018

УДК 581.5:502.72

ББК 28.081

М 54

Авторский коллектив:

С. С. Сандимиров, Л. П. Кудрявцева, В. А. Даувальтер, Д. Б. Денисов, А. Л. Косова,
А. А. Черепанов, О. И. Вандыш, С. А. Валькова, П. М. Терентьев, И. М. Королева,
Е. М. Зубова, Н. А. Кашулин

Рецензенты:

Н. Е. Раткин, д-р геогр. наук, профессор кафедры геоэкологии МГТУ
Апатитский филиал Мурманского государственного технического университета

М 54 Методы экологических исследований водоемов Арктики : монография / С. С. Сандимиров [и др.]. – Мурманск : Изд-во МГТУ, 2018. – ... с. : ил.

ISBN

Представлены основные современные и классические методы комплексных экологических исследований внутренних водоемов арктической зоны, позволяющие определить состояние экосистемы. Даны методические рекомендации по отбору проб воды и донных отложений для анализа химического состава, а также разнообразных гидробиологических проб (планктона, бентоса, ихтиофауны). Приведен перечень необходимого оборудования, приборов и материалов для выполнения экспедиционных работ и камеральной обработки полученных образцов. Описана методика диатомового анализа донных отложений для палеоэкологических реконструкций долговременных изменений окружающей природной среды и климата. Выполнен обзор существующих способов оценки качества вод по различным абиотическим и биотическим показателям, применимых для водоемов арктической зоны. Проанализированы проблемы современной биоиндикации качества водной среды в условиях высоких широт.

Монография предназначена для студентов экологического, гидробиологического и гидрохимического направлений, а также может быть полезна дипломированным специалистам гидрологам, гидрохимикам, гидробиологам, экологам, геохимикам, геоэкологам при проведении исследований химического состава воды, донных отложений и гидробионтов пресноводных систем для оценки качества и экологического состояния арктических водоемов. Ил. – 81, табл. – 12, библиогр. – 133 назв.

The main modern and classical methods of integrated environmental studies of inland reservoirs of the Arctic zone, allowing to determine the state of the ecosystem, are presented. Methodological recommendations on the sampling of water and sediments for the chemical composition analysis, as well as a variety of hydrobiological samples (plankton, benthos, ichthyofauna), are given. A list of the necessary equipment, instruments and materials for expeditionary work and office processing of the samples obtained is given. The diatom analysis of sediments is described for paleoecological reconstructions of long-term changes in the environment and climate. A review of existing methods for assessing the quality of water on various abiotic and biotic indicators applicable to the water bodies of the Arctic zone was carried out. The problems of modern bioindication of the quality of the aquatic environment in high latitudes are analyzed.

The monograph is intended for students of environmental, hydrobiological and hydrochemical areas, and may also be useful to certified specialists hydrologists, hydrochemists, hydrobiologists, ecologists, geochemists, geoecologists in conducting research on the chemical composition of water, sediments and hydrobionts of freshwater systems for assessing the quality and ecological state of Arctic reservoirs.

Коллектив авторов**МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОДОЕМОВ АРКТИКИ**

Редактор С. А. Шарам

Корректор Т. А. Пехтерева

Компьютерная верстка

© Коллектив авторов, 2018

© Мурманский государственный
технический университет, 2018

ISBN

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

1. ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЛЕВЫХ РАБОТ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ (С. С. Сандимиров, Л. П. Кудрявцева)

- 1.1. Важнейшие показатели качества воды
- 1.2. Сбор информации для проведения полевых работ
- 1.3. Общие положения
- 1.4. Требования к оборудованию для отбора проб
- 1.5. Транспортирование проб
- 1.6. Приемка проб в лаборатории
- 1.7. Подготовка проб к хранению
- 1.8. Требования к оформлению результатов отбора проб
- 1.9. Техника безопасности при отборе проб

2. Отбор проб донных отложений при оценке экологического состояния водоемов (В. А. Даувальтер)

- 2.1. Методологический подход к отбору проб донных отложений
- 2.2. Методика отбора проб донных отложений
 - 2.2.1. Оборудование для отбора проб донных отложений
 - 2.2.2. Планирование сети отбора проб донных отложений
 - 2.2.3. Планирование количества проб донных отложений
 - 2.2.4. Формула количества проб донных отложений
 - 2.2.5. Разделение колонки донных отложений на слои
 - 2.2.6. Седиментоуловители
 - 2.2.7. Отбор проб поровых вод
 - 2.2.8. Пример отбора проб поровых вод, взвешенных частиц и донных отложений в оз.Имандра (Кольский полуостров)

3. Методика пробоподготовки донных отложений к диатомовому анализу (Д. Б. Денисов, А. Л. Косова)

4. МЕТОДЫ ОТБОРА ПРОБ ФИТОПЛАНКТОНА (Д. Б. Денисов)

- 4.1. Краткая характеристика водорослевых сообществ
- 4.2. Отбор проб фитопланктона
- 4.3. Подходы оценки качества среды на основе показателей водорослевых сообществ
- 4.4. Проблематика оценки состояния водных экосистем на основе альгоценозов
5. МЕТОДЫ ОТБОРА ПРОБ ЗООПЛАНКТОНА (А. А. Черепанов, О. И. Вандыш)
 - 5.1. Понятие зоопланктонного сообщества
 - 5.2. Структурные показатели зоопланктонного сообщества
 - 5.3. Показатели таксономической (видовой) структуры
 - 5.4. Показатели размерной структуры
 - 5.5. Показатели трофической структуры
 - 5.6. Метод и орудия сбора проб зоопланктона
6. МЕТОДЫ ОТБОРА ПРОБ ЗООБЕНТОСА (С. А. Валькова)
 - 6.1. Выбор станций для отбора проб
 - 6.2. Сбор и обработка проб
 - 6.3. Оценка качества среды на основе показателей зообентоса
7. Ихтиологические исследования (П. М. Терентьев, И. М. Королева, Е. М. Зубова, Н. А. Кашулин)
 - 7.1. Выбор места и времени исследований
 - 7.2. Отбор ихтиологического материала
 - 7.3. Определение возраста рыб
 - 7.4. Определение пола и стадий зрелости гонад
 - 7.5. Метод патологоморфологического анализа состояния организма
 - 7.6. Исследование внутренних органов рыб
 - 7.8. Гистологический анализ
 - 7.9. Гематологический анализ
 - 7.10. Методы изучения питания рыб
 - 7.11. Анализ содержания тяжелых металлов в органах и тканях рыб

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Приложение

ВВЕДЕНИЕ

Пресноводные водоемы арктической зоны представляют собой ценный природный ресурс, определяющий развитие энергетики и промышленности, являются источником питьевой воды и продовольствия, выступают составной частью жизненной среды человека, играют важнейшую роль в развитии образовательного и рекреационного туризма, что во многом определяет социально-экономическое развитие высокоширотных регионов. Арктическая зона РФ относится к одним из самых промышленно развитых территорий, где сосредоточены крупнейшие предприятия по добыче и переработке минерального сырья.

Внутренние водоемы Арктики характеризуются высокой чувствительностью к любым изменениям факторов среды как по естественно-природным причинам, так и в результате антропогенной деятельности. Даже незначительные колебания внешних условий могут повлечь за собой кардинальные преобразования структурно-функциональной организации элементов их экосистем. Эти особенности позволяют использовать водные объекты арктических регионов в качестве надежного индикатора качества среды, которые отражают не только условия формирования вод, но и позволяют делать выводы о состоянии всей водосборной территории. Поэтому проблема оценки и прогноза степени деградации водоемов под воздействием антропогенных загрязнений и глобальных изменений окружающей среды приобретает особую актуальность. Систематизация и разработка методики отбора и анализа первичного материала как основного этапа комплексного экологического мониторинга водных объектов, а также разработка новых методологических подходов к организации и проведению исследований являются важнейшими шагами в реализации программы устойчивого развития и рационального использования природных ресурсов.

Для пресноводных экосистем Арктики и Субарктики чрезвычайно опасны выбросы предприятий металлургического и энергетического комплексов, несущие огромное количество кислотных окислов и различных элементов, включая токсичные тяжелые металлы. В силу особенностей циркуляции атмосферы в Северном полушарии, в приполярные области переносится большая часть атмосферных загрязнений, выбрасываемых промышленными предприятиями более южных индустриально развитых регионов. Выбрасываемые в атмосферу

вещества способны переноситься воздушными потоками на большие расстояния, и их выпадение приводит к медленному накоплению непосредственно в водоемах и на территории их водосбора. Наибольшую опасность представляют ртуть, кадмий и свинец, которые способны накапливаться как в различных средах, так и непосредственно в организмах гидробионтов.

Антропогенные изменения гидролого-геохимических параметров водные объекты Арктики неизбежно привели к трансформациям их биотической составляющей. В последние годы антропогенное воздействие на экосистемы пресных вод происходит на фоне аномальных процессов в климатической системе региона. Суммарный эффект проявляется в нетипичных для субарктических водоемов явлениях, включая массовое развитие водорослей, гибель молоди чувствительных к содержанию кислорода представителей ихтиофауны. Все ярче проявляются трансформации трофических сетей и сокращение численности типичных для Субарктики форм, в том числе и ценных промысловых видов рыб. В конце 1990-х гг. прошлого и в начале нынешнего столетий во многих водоемах региона наметились тенденции изменения в структуре сообщества рыбного населения. В стрессовых для аборигенных видов условиях вселение новых видов рыб, обладающих широкой экологической валентностью, приводит к радикальным изменениям структуры ихтиоценозов.

Функционирование водных экосистем в этих новых условиях заставляет пересматривать методологические подходы к оценке качества вод и состояния водных ресурсов, а также к организации системы гидроэкологического мониторинга в регионе. Следует учитывать, что на практике не представляется возможным осуществлять контроль за всеми абиотическими и биотическими параметрами даже самых простых пресноводных экосистем.

Для оценки их состояния используется ограниченное количество доступных показателей, которые можно разбить на две основные группы:

- 1) определение уровней веществ-загрязнителей в воде и/или в донных отложениях (ДО);
- 2) использование биомаркеров (включая определение уровне веществ-загрязнителей в биоте).

Каждый метод имеет специфические преимущества и недостатки. Биологический эффект того или иного вещества не может быть строго детерминирован лишь его концентрацией в водной среде. Эта зависимость носит вероятностный характер, и определение токсического воздействия веществ-загрязнителей на биоту водоема лишь по их количественным показателям в воде или донных отложениях и сравнение их со стандартизированными показателями качества среды (например, ПДК) имеет весьма относительную экологическую ценность.

Биологические показатели состояния экосистем (видовое разнообразие, популяционные и организменные показатели и т. д.) имеют очевидные преимущества, так как являются "интегрирующими" показателями всех изменений за продолжительный период времени и непосредственно отражают ответы биоты на тот или иной вид антропогенного воздействия. Однако выявить и интерпретировать последствия, обусловленные антропогенным фактором, довольно сложно. Показатели сообщества и популяций часто опосредованы процессами, происходящими на более низких трофических уровнях, и протекают на фоне их естественных колебаний. Понятие "нормальные показатели" для биологических систем довольно условно и непостоянно. Оно зависит от региональных, сезонных, меж- и внутривидовых, половых различий, физиологического состояния организма и колебаний нормальных факторов внешней среды и способности организмов к ним приспосабливаться. Это особенно актуально для арктических пресных вод, где развитие гидробионтов ограничено малой продолжительностью периода открытой воды и низкими температурами. Трудности в интерпретации наблюдаемых эффектов обусловлены неспецифичностью ответов биологических систем высокого уровня. Поэтому проведение лишь биологических исследований, без комплексного анализа качества окружающей среды не может дать ответы на все вопросы (Кашулин и др., 2012).

Актуальной задачей экологических исследований арктических водных экосистем представляется не только выявление причинно-следственных связей сокращения биологического разнообразия, но и оценка направленности сукцессии экосистем, их способности к поддержанию стабильности путем адаптивного преобразования живых систем в новых условиях. Объективно, для понимания и прогнозирования происходящих процессов трансформации биоразнообразия, необходима разработка новых

методологических подходов к контролю состояния водных экосистем северных территорий, что позволит адекватно оценивать современное состояние и качество среды обитания водного населения, условия реализации и диапазон пределов функционирования приспособительных механизмов на организменном и биоценотическом уровне. В этой связи особую актуальность вновь приобретают работы флористического и фаунистического направления, призванные описать современный таксономический состав и структуру сообществ гидробионтов, провести сравнительный исторический анализ, выявить долговременную динамику биоразнообразия.

Многолетние комплексные исследования водоемов Севера Европы, выполненные лабораторией водных экосистем института проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН (ИППЭС КНЦ РАН), позволили подобрать эффективный комплекс методов экологических исследований водоемов, хорошо зарекомендовавший себя в условиях Арктики (Даувальтер, 2006, 2012). В то же время современные тенденции развития теории и практики экологической безопасности, сохранения и контроля биоразнообразия требуют разработки научных основ инвентаризации и оценки природных, в частности биологических, ресурсов пресных вод Евро-Арктического региона, оценки и прогноза дальнейшего развития под воздействием мощного комплекса антропогенных факторов и климатических изменений.

1. ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЛЕВЫХ РАБОТ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ

Введение

Разработка плана исследования, отбор проб и определение их состава являются основой изучения водных экосистем. Пробы должны характеризовать место, из которого они будут отобраны. Отбор проб желательно проводить в благоприятное для исследований время. Оборудование и емкости для отбора проб должны быть чистыми и пригодными для выполняемых работ и химических анализов. Все это требует сотрудничества между руководителем исследований, оператором, отбирающим пробы, и персоналом лаборатории.

Загрязненная или по другой причине нерепрезентативная проба делает работу нерезультативной. Таким образом, специалист, отбирающий пробы, несет большую ответственность за репрезентативность проб и результаты исследований.

Специалисты, отбирающие пробы, должны работать в безопасных условиях и соблюдать правила техники безопасности на воде, на льду и при работе с химреактивами. При отборе и обработке проб сточных вод нужно принимать во внимание существующий риск, вызываемый патогенными бактериями и токсичными веществами.

Методы отбора проб развивались в течение нескольких десятилетий, повышалась достоверность и репрезентативность полученных результатов. Специалисты приобретали опыт работы в экспедициях, в полевых условиях. Требования к качественному отбору проб по единым методикам были повышены при введении обязательного участия большого количества организаций в программах мониторинга, результаты которого могут иметь важное экономическое значение. Сегодня высокая квалификация специалиста по отбору проб в полевых условиях является одной из основ всех исследований.

Отбор проб является центральным моментом в организации исследований и мониторинга состояния водных экосистем. Планирование программ научных исследований и мониторинга всегда сопровождается определением конечных целей. Именно поэтому станции и методы отбора проб должны быть указаны с необходимой точностью.

После отбора проб выполняют их химический или биологический анализ, который иногда начинается уже в полевых условиях. Завершают анализы, как правило, в лабораториях. Затем следует этап обработки результатов и принятия очередного решения по дальнейшим исследованиям. Программа научных исследований завершается подготовкой отчета, на основе которого делается вывод о том, является ли объем исследований или мониторинга достаточным. В случае необходимости программу будущих исследований корректируют или дополняют с учетом полученных результатов. Все полевые записи в журналах являются важной частью отчетов и помогают правильно трактовать полученные результаты.

Все водоемы, как объекты, являются различными водными системами и могут быть разделены следующим образом: озера, реки, эстуарии (акватория моря в районе впадения реки).

Озера

Озеро – это естественный водоем суши с замедленным водообменом. Как правило, озера обладают выработанным под воздействием ветрового волнения профилем береговой зоны. Они не имеют прямой связи с океаном. Для образования озера необходимы два неперенных условия – наличие естественной котловины, т. е. замкнутого понижения земной поверхности, и находящегося в этой котловине определенного объема воды. Зачастую вода в озерах выглядит застывшей, но в действительности она всегда находится в движении. В толще воды образуется сложная система горизонтальных и вертикальных течений, скорость и направление которых могут изменяться очень быстро вследствие изменения метеорологических факторов, колебаний уровня воды и времени года.

Быстрее всего изменения происходят в озерно-речных системах, представляющих собой крупные и мелкие озера, соединенные между собой ручьями и протоками. Чем быстрее изменяются направления течений в озере, тем больше относительное изменение качества воды в данной точке отбора. Качество воды изменяется не только по вертикали, но и во времени на каждом горизонте отбора проб. Поэтому серию отбора проб в определенный промежуток времени нельзя завершить или дополнить отбором, например, на следующей неделе.

В идеальном варианте точка отбора пробы должна быть всегда в одном и том же месте. Соответствие точно определенному месту всегда следует определять по ориентирам на берегу, с помощью спутниковой навигации и эхолота.

Качество вод в озере изменяется в его различных частях под влиянием сброса сточных вод, мелиоративных каналов или от качества впадающих рек, что может создавать резкие колебания гидрохимических показателей. И к таким участкам во время отбора проб следует относиться с повышенным вниманием. К тому же в прибрежной зоне качество вод могут сильно менять горизонтальные течения, растительность и приток подземных вод. Все эти факторы, условия и особенности водоема должны фиксироваться специалистами во время отбора проб сразу же в полевых условиях, чтобы в дальнейшем дать ответ на возникающие вопросы или противоречия в результатах анализа.

Реки

Реки по своей природе сильно отличаются от озер. Водная толща в них постоянно перемешивается в зависимости от перепада уровней. Специалист по отбору проб должен постоянно помнить о том, что русло реки подвержено естественной нагрузке даже в случае отсутствия прямого антропогенного воздействия.

В истоке речная вода может совершенно прозрачной, если, например, она питается подземными водами, или окрашенной, если верховье реки расположено в заболоченной местности, богатой гумусом и соединениями железа. Река на своем пути может подпитываться различными речками и ручьями, качество вод в которых может быть самым разнообразным. Кроме того, русло реки подвергается механическому воздействию – эрозии, которая переносит часть природного материала слагающих русло пород в воды реки. Водная растительность также оказывает влияние на концентрацию химических веществ в реке. Таким образом, качество воды изменяется при движении водных масс от верховья к устью реки. Но наиболее значительным фактором является антропогенное воздействие, особенно сброс сточных вод.

При отборе проб на загрязняемых реках следует руководствоваться простым правилом: отбор следует начинать с чистых акваторий, перемещаясь к загрязненным, что позволит уменьшить ошибку, связанную

с возможным загрязнением оборудования. При работе на относительно чистых реках отбор проб начинают от верховьев к устью.

На озерно-речных системах отбор проб должен характеризовать всю водную систему. Для получения надежного, качественного результата необходимо, чтобы специалист по отбору проб полностью понимал задачи научного исследования, мог оценить все возможные трудности и проблемы, связанные с отбором проб и следующими факторами, например: несколько источников загрязнения; значительное изменение уровней и расходов воды; сильное течение или порожищность; наличие гидротехнических сооружений.

При отборе проб в узких ручьях или искусственных руслах определенные трудности представляет недостаток воды. В таких случаях зачастую отбирать пробу воды целесообразно прямо в бутылки или использовать специально подготовленное вспомогательное оборудование.

Основные факторы формирования химического состава вод

Формирование химического состава вод обусловлено совокупностью физических, химических и биологических процессов, происходящих на водосборе и в самом водоеме. О. А. Алекин (1953) подразделяет факторы, которые определяют химический состав природных вод, на *прямые* (горные породы, почвы, живые организмы, а также деятельность человека) и *косвенные* (климат, рельеф, водный режим, растительность и др.). Согласно такому подразделению, к прямым относятся факторы, поставляющие элементы химического состава вод, к косвенным – условия миграции этих элементов. Причем влияние косвенных факторов также значительно, и они регулируют вклад прямых факторов в процессы формирования химического состава вод.

Основными факторами, определяющими вышеназванные процессы, являются:

- *климатические факторы* (температура, осадки, испарение и др.), определяющие интенсивность химического выветривания, водный режим, скорость химических и биологических внутриводоемных процессов и др. От климата зависят также зональные особенности сопряженных с ними условий формирования вод (развитие растительности на водосборе, почвенного покрова и др.);

- *литологические условия* (геологическая структура водосбора, химический состав горных пород и соотношение их типов, устойчивость к химическому выветриванию), которые определяют солевой и микроэлементный состав вод и концентрацию веществ;

- *морфометрические характеристики водосбора* – особенности ландшафтов (площадь, заболоченность, залесенность, почвы) и водоема (площадь, глубина, высота над уровнем моря и др.), определяющие соотношение подземного и атмосферного водного питания, скорости водообмена и соответственно интенсивность миграции и круговорота веществ.

Для оценки количественного вклада различных факторов, влияющих на химический состав вод, для каждого водосбора исследованных озер определены следующие характеристики.

Морфометрические и ландшафтные характеристики:

- площадь водной поверхности озера, км²;
- высота над уровнем моря, м абс.;
- площадь водосбора озера, км²;
- озерность водосборной территории, %;
- залесенность, %;
- заболоченность, %;
- открытые участки водосборной территории, %.

Литогенные параметры водосборной территории: горные породы являются главнейшим (первичным) источником основных ионов минерализации вод; в то же время литогенные параметры наиболее сложны при их количественной оценке, в которой важно отразить устойчивость горных пород к выветриванию и их химический состав.

Климатические параметры:

- среднегодовое количество осадков, мм/год;
- среднегодовая испаряемость, мм/год;
- сумма температур воздуха за период со средней суточной температурой выше 10 °С.

Биологические параметры – содержание органического углерода в почвенном покрове, %, как интегральная характеристика степени развития растительности, интенсивности продукционных процессов и интенсивности разложения органического вещества на водосборе.

Антропогенные факторы, которые в последние годы по значимости становятся сопоставимыми с природными, влияют на химический состав вод как в результате непосредственного сброса сточных вод и неорганизованных стоков, так и вследствие глобальных изменений окружающей среды и климата. Несмотря на то, что озера могут быть удалены от прямого влияния каких-либо источников загрязнения, преобразования водосборов могут происходить вследствие хозяйственной деятельности человека. Косвенным критерием ее интенсивности в какой-то степени может стать показатель плотности населения, отражая сельскохозяйственное и промышленное развитие того или иного района.

1.1. Важнейшие показатели качества воды

В различных аналитических лабораториях России специалисты ежегодно выполняют не менее 100 млн. анализов качества воды, причем 23 % определений заключается в оценке их органолептических свойств, 21 % – мутности и концентрации взвешенных веществ, 21 % составляет определение общих показателей – жесткости, солесодержания, ХПК (химическое потребление кислорода), БПК (биохимическое потребление кислорода), 29 % – определение неорганических веществ, 4 % – определение отдельных органических веществ.

Температура является важной гидрологической характеристикой водоема, показателем возможного теплового загрязнения. Тепловое загрязнение водоема происходит обычно в результате использования воды для отвода избыточного тепла и сбрасывания воды с повышенной температурой в водоем. При тепловом загрязнении происходит повышение температуры воды в водоеме по сравнению с естественными значениями температур в тех же точках в соответствующие периоды сезона. Основные источники промышленных тепловых загрязнений – тепловые воды электростанций. Тепловое загрязнение опасно тем, что вызывает интенсификацию процессов жизнедеятельности и ускорение естественных жизненных циклов водных организмов, изменение скоростей химических и биохимических циклов водных организмов, протекающих в водоеме.

При повышенной температуре многие водные организмы, в частности рыбы, находятся в состоянии стресса, что снижает их естественный иммунитет, происходит массовое размножение сине-зеленых водорослей,

образуются тепловые барьеры на путях миграций рыбы, уменьшается видовое разнообразие.

Чтобы не допускать необратимых нарушений экологического равновесия, температура воды в водоеме летом в результате спуска загрязненных вод не должна повышаться более чем на 3 °С по сравнению со среднемесячной температурой самого жаркого года за последние 10 лет.

Органолептические показатели. К органолептическим показателям относятся цветность, мутность, запах, вкус и привкус, пенистость. Органолептическая оценка качества воды – обязательная начальная процедура санитарно-химического контроля воды. Ее правильному проведению специалисты придают большое значение.

Международные стандарты ИСО 6658 и другие устанавливают специальные требования к дегустаторам и методам проведения дегустации. Например, установлено, три квалификационных уровня дегустаторов: консультант, квалификационный консультант и эксперт. Перед исследованием запаха и вкуса проводят предварительные испытания образца, свободного от посторонних запахов или привкуса, и такой образец шифрованным образцом включается в серию анализируемых проб.

Цветность – естественное свойство природной воды, обусловленное присутствием гуминовых веществ и комплексных соединений железа. Цветность воды может определяться свойствами и структурой дна водоема, характером водной растительности, прилегающих к водоему почв, наличием в водосборном бассейне болот и торфяников. Цветность воды определяется визуально. Различают следующие оттенки: слабо-желтоватая, светло-желтоватая, желтая, коричневая, красно-коричневая, другая.

Запах воды обусловлен наличием в ней летучих пахнущих веществ, которые попадают в воду естественным путем либо со сточными водами. Практически все органические вещества имеют запах и передают его в воде. Запах по характеру подразделяют на две группы, описывая его субъективно по своим ощущениям:

1) естественного происхождения (от живущих и отмерших организмов, от влияния почв, водной растительности) – землистый, гнилостный, плесневый, торфяной, травянистый;

2) искусственного происхождения – нефтепродуктов, хлорный, уксусный, фенольный и др. Такие запахи обычно значительно изменяются при обработке воды.

Обычно запах определяют при нормальной (20 °С) и при повышенной (60 °С) температуре воды. Интенсивность запаха оценивают по 5-бальной шкале (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Интенсивность запаха (ГОСТ 3351)

Интенсивность запаха	Характер проявления запаха	Оценка интенсивности запаха
Нет	Не ощущается	0
Очень слабая	Сразу не ощущается, но обнаруживается при тщательном исследовании	1
Слабая	Замечается, если обратить на это внимание	2
Заметная	Легко замечается и вызывает неодобрительные отзывы о воде	3
Отчетливая	Обращает на себя внимание и заставляет воздержаться от питья	4
Очень сильная	Настолько сильный, что делает воду непригодной к употреблению	5

Для питьевой воды допускается запах не более 2 баллов.

Количественно интенсивность запаха оценивают, определяя "пороговое число" запаха N – степень разбавления анализируемой воды водой, лишенной запаха (обрабатывают активированным углем (0,6 г на 1 л)), либо пропустив воду через бытовой фильтр для очистки воды.

$$N = V_0/V_a,$$

где V_0 – суммарный объем воды (с запахом и без запаха);

V_a – объем анализируемой воды (с запахом), мл.

Если анализируемая вода содержит какое-либо пахнущее вещество, то описанным способом можно определить его концентрацию в пробе.

Вкус и привкус. Различают четыре вкуса: соленый, кислый, горький, сладкий; остальные вкусовые ощущения считаются привкусами (солонюватый, горьковатый, металлический, хлорный и т. д.). Интенсивность вкуса и привкуса оценивают по 5-балльной шкале. Для питьевой воды допускаются значения показателей вкуса и привкуса не более 2 баллов.

Мутность воды обусловлена содержанием взвешенных в воде мелкодисперсных примесей – нерастворимых или коллоидных частиц различного происхождения. Мутность воды обуславливает и некоторые другие характеристики воды, например:

- наличие осадка, который может отсутствовать, быть незначительным, заметным, большим, очень большим (мм);
- взвешенные вещества (или грубодисперсные примеси) – определяются гравиметрически после фильтрования пробы, по привесу высушенного фильтра. Этот показатель обычно мало информативен и имеет значение главным образом для сточных вод;
- прозрачность – измеряется как высота столба воды при взгляде, сквозь который на белой бумаге можно различать стандартный шрифт.

Мутность определяют визуально по степени мутности столба высотой 10–12 см. В последнем случае пробу описывают качественно следующим образом: прозрачная, слабо опалесцирующая, опалесцирующая, слабо мутная, мутная, очень мутная (ГОСТ 1030).

Водородный показатель. Для всего живого в воде минимально возможная величина рН равна 5. Дождь, имеющий рН менее 5,5, считается кислотным. В питьевой воде допускается значение рН, равное 6,0–9,0, в воде водоемов хозяйственно-бытового и культурно-бытового водопользования – 6,5–8,5.

Минерализация – суммарное содержание всех найденных при химическом анализе воды минеральных веществ. Минерализация природных вод, определяющая их удельную электропроводность, изменяется в широких пределах. Большинство рек имеет минерализацию от нескольких десятков до нескольких сотен миллиграммов в литре. Их удельная электропроводность варьирует от 30 до 1500 мкСм/см.

Минерализация подземных вод и соленых озер изменяется в интервале от 40–50 мг/л до сотен граммов на литр (плотность в этом случае уже значительно отличается от единицы). Удельная электропроводность атмосферных осадков с минерализацией от 3 до 60 мг/л составляет 10–120 мкСм/см. Согласно ГОСТ 17403-72, природные воды по минерализации разделены на группы. Предел для пресных вод в 1 г/кг установлен в связи с тем, что при минерализации более этого значения вкус воды неприятен – соленый или горько-соленый.

Жесткость воды обуславливается наличием в воде ионов кальция (Ca^{2+}), магния (Mg^{2+}), стронция (Sr^{2+}), бария (Ba^{2+}), железа (Fe^{3+}), марганца (Mn^{2+}). Но общее содержание в природных водах ионов кальция и магния несравнимо больше содержания всех других перечисленных ионов, и даже их суммы, поэтому под жесткостью понимают суммарное количество ионов кальция и магния. Общая жесткость складывается из значений карбонатной (временной, устранимой кипячением) и некарбонатной (постоянной) жесткости. Первая вызвана присутствием в воде гидрокарбонатов кальция и магния, вторая – наличием сульфатов, хлоридов, силикатов, нитратов и фосфатов этих металлов. Однако при значении жесткости воды свыше 9 ммоль/л нужно учитывать содержание в воде стронция и других щелочноземельных металлов.

По стандарту ИСО 6107-1-8:1996, включающему более 500 терминов, жесткость определяется как способность воды образовывать пену с мылом. В России жесткость воды выражают в миллимолях на 1 литр (ммоль/л). В жесткой воде обычное натриевое мыло превращается (в присутствии ионов кальция) в нерастворимое "кальциевое мыло", образующее бесполезные хлопья. И пока таким способом не устранилась вся кальциевая жесткость воды, образование пены не начнется. На 1 ммоль/л жесткости воды для такого умягчения воды теоретически затрачивается 305 мг мыла, практически до 530. Но основные неприятности, конечно, от накипеобразования.

Международные своды нормативов качества воды не нормируют жесткость воды, а только отдельно содержание в воде ионов кальция (Ca^{2+}) и магния (Mg^{2+}):

- нормы качества питьевой воды Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ);
- такие же нормы Европейского Союза (ЕС);
- стандарты ИСО;
- национальные нормы питьевой воды США.

По значению общей жесткости природные воды делят на группы.

Щелочность воды называется суммарная концентрация содержащихся в воде анионов слабых кислот и гидроксильных ионов (выражена в миллимолях на 1 литр), вступающих в реакцию при лабораторных исследованиях с соляной или серной кислотами с

образованием хлористых или серноокислых солей щелочных и щелочноземельных металлов.

Различают следующие формы щелочности воды: бикарбонатная (гидрокарбонатная), карбонатная, гидратная, фосфатная, силикатная, гуматная – в зависимости от анионов слабых кислот, которыми обуславливается щелочность. Щелочность природных вод, рН которых обычно менее 8,35, зависит от присутствия в воде бикарбонатов, карбонатов, иногда и гуматов.

Щелочность других форм появляется в процессах обработки воды. Так как в природных водах почти всегда щелочность определяется бикарбонатами, то для таких вод общую щелочность принимают равной карбонатной жесткости.

Органические вещества. Спектр органических примесей очень широк:

- группа растворенных примесей: гуминовые кислоты и их соли – гуматы натрия, калия, аммония; некоторые примеси промышленного происхождения; часть аминокислот и белков;
- группа нерастворенных примесей: фульвокислоты (соли) и гуминовые кислоты и их соли – гуматы кальция, магния, железа; жиры различного происхождения; частицы различного происхождения, в том числе микроорганизмы.

Содержание органических веществ в воде оценивается по методикам определения окисляемости воды, содержания органического углерода, биохимической потребности в кислороде, а также поглощения в ультрафиолетовой области.

Величина, характеризующая содержание в воде органических и минеральных веществ, окисляемых одним из сильных химических окислителей при определенных условиях, называется окисляемостью.

Существует несколько видов окисляемости воды: перманганатная, бихроматная, иодатная, цериевая (методики определения двух последних применяются редко). Окисляемость выражается в миллиграммах кислорода, эквивалентного количеству реагента, пошедшего на окисление органических веществ, содержащихся в 1 л воды.

Окислители могут действовать и на неорганические примеси, например на ионы Fe^{2+} , S^{2-} , NO_2 , но соотношение между этими ионами и органическими примесями в поверхностных водах существенно сдвинуто в

сторону органических примесей, то есть "органики" в решающей степени больше. В подземных водах (артезианских) это соотношение обратное, то есть органических примесей гораздо меньше, чем указанных ионов, их практически совсем нет. К тому же неорганические примеси могут определяться непосредственно индивидуально. Если содержание указанных восстановителей суммарно меньше 0,1 ммоль/л, то ими можно пренебречь, в иных случаях нужно вносить соответствующие поправки.

Для природных малозагрязненных вод рекомендовано определять перманганатную окисляемость (перманганатный индекс), в более загрязненных водах определяют, как правило, бихроматную окисляемость (ХПК).

Окисляемость перманганатная измеряется миллиграммах потребленного кислорода на 1 литр (мгО/л), если учитывается масса иона кислорода в составе перманганата калия, пошедшего на окисление "органики" (мгКМnO₄/л), если оценивается количество перманганата калия, пошедшего на окисление "органики".

Растворенный кислород. Поступление кислорода в водоем происходит путем растворения его при контакте с воздухом (абсорбции), а также в результате фотосинтеза водными растениями. Содержание растворенного кислорода зависит от температуры, атмосферного давления, степени турбулизации воды, минерализации воды и др. В поверхностных водах содержание растворенного кислорода может колебаться от 0 до 14 мг/л. В артезианской воде кислород практически отсутствует.

Тяжелые металлы выделяются из общей группы металлов по специфической вредности для живых организмов. Понятие "тяжелые металлы" не относится к строго определенным. Разные авторы в составе группы тяжелых металлов указывают разные химические элементы. В экологических публикациях в эту группу включают около 40 элементов с атомной массой более 50 атомных единиц.

Н. Ф. Реймерс относит к "тяжелым" металлы с плотностью более 8 г/см³, выделяя при этом подгруппу благородных металлов. Таким образом, к собственно "тяжелым" отнесены медь, никель, кадмий, кобальт, висмут, ртуть, свинец. Группа специалистов, работающая под патронажем Европейской экономической комиссии ООН и занимающаяся мониторингом выбросов в окружающую природную среду тяжелых

металлов, включает в эту группу также цинк, мышьяк, селен, сурьму. Есть и другие классификации.

1.2. Сбор информации для проведения полевых работ

Место для первичной оценки или отбора пробы выбирается в соответствии с целями анализа и на основании внимательного изучения всей имеющейся предварительной информации, а также натурального исследования местности или контролируемого объекта, причем должны учитываться все обстоятельства, которые могли бы оказать влияние на состав взятой пробы или результат первичной оценки наличия и уровня загрязнения (воздействия). В зависимости от вида анализируемой среды данная процедура имеет некоторые особенности.

При поиске точек отбора проб воды из поверхностных природных источников особенно внимательно надо отслеживать притоки реки и возможные источники загрязнения выше по течению от предполагаемого места первичной оценки или пробоотбора.

Место для отбора проб сточных вод оценивается и выбирается только после подробного ознакомления с технологией производства, потреблением и сбросом воды, местоположением цехов объекта, системой его канализации, назначением и работой отдельных элементов систем очистки.

Створы отбора и оценки проб устанавливаются на водоемах примерно в 1 км выше ближайшего по течению пункта водопользования (водозабор для питьевого водоснабжения, места купания, организованного отдыха, территория населенного пункта), а на непроточных водоемах и водохранилищах – в 1 км в обе стороны от пункта водопользования.

Обычно принято отбирать пробы воды одного створа в 3 точках (у обоих берегов и в фарватере), но можно и в 1–2 точках (при ограниченных технических возможностях или на небольших водоемах) – в зависимости от характера водопользования и с учетом условий водного режима в данном пункте или распределения сточных вод в водоеме.

При централизованном водоснабжении в населенном пункте пробы воды из водоема можно брать в точке водозабора по глубине и ширине реки. Для характеристики источника централизованного водоснабжения при существующем водозаборе допускается отбор и первичная оценка проб непосредственно после насосов первого подъема.

Выбор места для отбора проб биоты является специфической задачей биомониторинга. Данная процедура имеет принципиальную особенность – индикационный характер поиска места для такого пробоотбора. Он заключается в том, что наблюдение за состоянием растительности и животного мира должно показывать исследователю, где ему отбирать пробы биообъектов для последующего анализа на предмет их загрязненности.

В операцию поиска источника или места пробоотбора часто также включается задача идентификации характера воздействия или загрязняющего вещества (установление его природы, расшифровка состава основных компонентов смеси). При отсутствии технической возможности или необходимости в идентификации она должна заменяться более простой задачей обнаружения, т. е. подтверждения факта наличия загрязняющего вещества в среде. В случае обнаружения вредного физического фактора целесообразно сразу проводить количественное измерение его уровня.

Эти задачи должны решаться максимально быстро (т. е. за минимальный промежуток времени), сопоставимо по времени с пробоотбором. От быстроты первичной оценки при обнаружении источника загрязнения зависит не только длительность (а значит, и экономичность) вышеуказанных процедур, но часто и безопасность персонала, их проводящего (в случае анализа "супертоксиантов", радиации и других особо вредных химических веществ и факторов, а также при обследовании особо опасных производственных и иных объектов). Характер работы технического средства контроля в режиме обнаружения, по возможности, должен быть следящим (непрерывным или хотя бы периодическим, но с минимальным временем паузы между повторяющимся циклом анализа).

Применяемые методы и технические средства должны быть способны обнаруживать максимально специфично (т. е. избирательно по отношению к искомому загрязняющему веществу на фоне мешающих примесей или других имеющихся факторов). В случае идентификации требование о специфичности средства заменяется требованием, чтобы техническое средство было селективно, т. е. способно одновременно (или последовательно) различать в анализируемой среде несколько даже похожих по свойствам веществ (факторов).

Еще одной значимой характеристикой вещества является также его чувствительность, т. е. способность фиксировать минимально возможные концентрации загрязняющих веществ (ЗВ). Это свойство метода экоаналитического контроля, наряду с экспрессностью и специфичностью, входит в классическую триаду важнейших свойств средства контроля.

При неавтоматизированном режиме обнаружения обычно используются портативные средства экспрессного контроля. Для воды и вытяжек из почвы – это тесты или тест-комплексы, а также микро(мини)-портативные переносные лаборатории с упрощенным (обычно качественными или полуколичественными) операциями анализа.

Для автоматического обнаружения обычно применяют малогабаритные сенсоры и другие чувствительные элементы – устройства, обладающие свойствами быстродействующего первичного преобразования контролируемого параметра окружающей среды в аналитический сигнал (изменение окраски, перепад электрического тока, напряжения или другого фиксируемого показателя), т. е. являющиеся сигнализаторами. Выполнив задачу обнаружения (или идентификации) ЗВ, средства выдают информацию, необходимую для принятия решения о проведении следующей операции – пробоотбора.

1.3. Общие положения

Целью отбора проб является получение дискретной пробы, отражающей качество исследуемой воды.

Отбор проб проводят:

- при определении качества воды для установления программы исследований;
- для определения состава и свойств воды по показателям, регламентированным в нормативных документах (НД);
- при определении качества воды для принятия корректирующих мер при обнаружении изменений кратковременного характера;
- для идентификации источников загрязнения водного объекта.

В зависимости от цели и объекта исследования разрабатывают программу исследований и, при необходимости, проводят статистическую обработку данных по отбору проб. Состав и содержание программы – в зависимости от исследуемого объекта – по ГОСТ 17.1.5.05, ГОСТ 17.1.3.08.

Место и периодичность отбора проб устанавливают в соответствии с программой исследования в зависимости от водного объекта. Типы отбираемых проб приведены в приложении.

Объем взятой пробы должен соответствовать установленному в НД на метод определения конкретного показателя с учетом количества определяемых показателей и возможности проведения повторного исследования.

Метод отбора проб выбирают в зависимости от типа воды, глубины пробоотбора, цели исследований и перечня определяемых показателей с таким расчетом, чтобы исключить (свести к минимуму) возможные изменения определяемого показателя в процессе отбора.

Пробы воды должны быть подвергнуты исследованию в течение сроков, указанных в ГОСТ 17.1.3.07-82 (не более 14 суток), с соблюдением условий хранения. Выбранный метод подготовки отобранных проб к хранению должен быть совместим с методом определения конкретного показателя, установленного в НД, при этом если в НД на метод определения указаны условия хранения проб, то соблюдают условия хранения проб, регламентированные в НД. О длительности хранения пробы воды делают отметку в протоколе испытаний. При нарушении условий транспортирования или хранения исследование пробы проводить не рекомендуется.

Все процедуры отбора проб должны быть строго документированы. Записи должны быть четкими и осуществлены надежным способом, позволяющим провести идентификацию пробы в лаборатории без затруднений.

При отборе проб должны строго соблюдаться требования безопасности, отвечающие действующим нормам и правилам.

Чаще всего на водоеме отбираются так называемые разовые пробы. Отбирают пробу воды объемом 1 л, как правило, на глубине примерно 30 см от зеркала водоема, однако при обследовании водоема может возникнуть необходимость отбора и серий периодических и регулярных проб – из поверхностного, глубинного, придонного слоев вод и т. д.

Пробы отбирают сначала с поверхности и далее к глубине. Самой последней является придонная проба – 1 м ото дна. Необходимо помнить о вероятности повреждения пробы, так как у самого дна пробоотборник

может взмучивать донные отложения. Поэтому самая глубинная проба всегда контролируется визуально.

Пробоотборник опускается в воду без рывков, плавно и равномерно. Приближаясь к исследуемому горизонту, последние метры троса опускают медленно. Перед закрытием батометра его выдерживают на горизонте без движения в течение 15 с. Подъем батометра вызывает направленные вверх потоки воды. Поэтому первые 2 м трос выбирают медленно, без рывков сильных возмущений воды. Когда батометр оказывается в руках, сразу считывают показания термометра. Отсчет сразу записывают в полевой журнал. В случае отбора с одного горизонта нескольких проб их сравнимость контролируют с помощью показаний термометра. Посуду для проб наполняют сразу после снятия показаний термометра. Небольшое количество воды, которое находится в шланге батометра, сливают в сторону. Отбор проб воды завершают, выполняя записи в полевом журнале и в бланках отбора проб воды, где фиксируют все природные явления и другие факторы, оказывающие влияние на конечный результат.

Общую глубину на станции измеряют с помощью эхолота, груза на веревке или тросе. Зимой измерение глубины следует выполнять из отдельной лунки. После измерения глубины пробу отбирают на удалении не менее 5 м и всегда выше по течению.

Во время отбора проб батометр и трос не должны касаться загрязненных поверхностей. При работе с посудой и пробоотборником необходимо уделять внимание чистоте рук, перчаток и рукавиц. Последовательность отбора проб всегда должна быть одной и той же. Сначала из полного батометра отбирают пробы на растворенные газы (кислород, сульфиды и углекислый газ), затем – на другие параметры.

При отборе проб на растворенные газы патрубок батометра помещают на дно бутылки или колбы, затем из батометра выливают примерно 2–3 объема колбы, в которую не должен попадать воздух. Воду выливают в колбу постепенно, затем аккуратно вынимают патрубок.

Отбор проб зимой происходит в условиях низких температур, при возможном влиянии льда и снега. Принцип работы, тем не менее, не должен изменяться. Во время отбора проб лишняя вода из батометра должна выливаться на лед как можно дальше от лунки, только тогда она не попадет в другую пробу. Зимой часто используют снегоходы, поэтому

первый раз работая на станции, следует запомнить характерные ориентиры, которые помогут в поиске станции зимой и летом.

Работу на снегоходе можно сравнить с работой на лодке (рис. 1.1). При работе на станции следует помнить о том, что работающий двигатель является источником загрязнения пробы. Пробы нельзя отбирать рядом со снегоходом, с его подветренной стороны. Посуду с пробами следует защищать от замерзания. Заметим, что лунку нельзя очищать ото льда, используя бур и выполняя им резкие движения вверх и вниз. Это приводит к перемешиванию верхнего горизонта воды, которое нарушает его структуру. Для очистки лунки применяют специальный черпак. Окрашенные поверхности бура должны быть без изъянов и без мест нарушения краски. Для предупреждения коррозии ножи бура никогда не следует смазывать маслом или другими материалами. В летнее время бур хранят в чистом и сухом помещении. Бур, черпак и лопаты – это оборудование для отбора проб, и их чистота должна соответствовать чистоте батометра и троса.

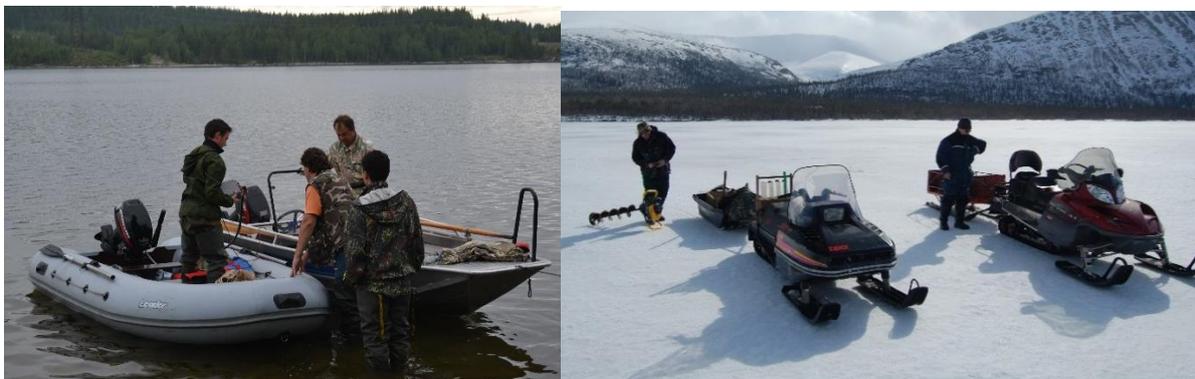


Рис. 1.1. Технические средства для отбора проб

Пробы могут быть отобраны также из подземных источников, водопровода и т. п. Усредненные данные о составе вод дают смешанные пробы. Репрезентативной считается такая проба, которая в максимальной степени характеризует качество воды по данному показателю, является типичной и не искаженной вследствие концентрационных и других факторов.

Различные виды водоемов обуславливают некоторые особенности отбора проб в каждом случае. Пробы из рек и водных потоков отбирают, чтобы определить качество воды в бассейне реки, ее пригодность для пищевого использования, рыборазведения или чтобы установить источники ее загрязнения.

Для определения влияния места сброса сточных вод (рис. 1.2) и вод притоков пробы отбирают выше по течению и точке, где произошло полное смешение вод. Следует иметь в виду, что загрязнения могут быть неравномерно распространены по потоку реки, поэтому обычно пробы отбирают в местах максимально бурного течения, где потоки хорошо перемешиваются. Пробоотборники помещают вниз по течению потока, располагая на нужной глубине.



Рис. 1.2. Сброс сточных вод

Пробы из природных и искусственных озер (прудов). Учитывая длительность существования озер, на первый план выступает мониторинг качества воды в течение длительного периода времени – нескольких лет, а также установление последствий антропогенных загрязнений воды (мониторинг ее состава и свойств). Качество воды в водоемах (как озерах, так и реках) носит циклический характер, причем наблюдается суточная и сезонная цикличность. По этой причине ежедневные пробы следует отбирать в одно и то же время суток, а продолжительность сезонных исследований должны быть не менее 1 года, включая исследования серий проб, отобранных в течение каждого времени года.

Пробы влажных осадков (дождя и снега) чрезвычайно чувствительны к загрязнениям, которые могут возникнуть при использовании недостаточно чистой посуды, попадании инородных (не атмосферного происхождения) частиц и др. Считается, что пробы влажных осадков не следует отбирать вблизи источников значительных загрязнений атмосферы, например, котельных или ТЭЦ, открытых складов материалов и удобрений, транспортных узлов и др. В подобных случаях проба будет испытывать значительное влияние указанных локальных источников антропогенных загрязнений.

Образцы осадков собирают в специальные емкости, приготовленные из нейтральных материалов. Дождевая вода собирается при помощи воронки (диаметром не менее 20 см) в мерный цилиндр (или непосредственно в ведро).

Отбор проб снега обычно проводят, вырезая керны на всю глубину (до земли), причем делать это целесообразно в конце периода обильных снегопадов (для Мурманской области в конце марта – начале апреля) (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Отбор проб снега

Пробы грунтовых вод отбирают для определения их пригодности в качестве источника питьевой воды, а также для технических или сельскохозяйственных целей, для определения влияния на качество грунтовых вод потенциально опасных хозяйственных объектов, при проведении мониторинга загрязнителей грунтовых вод.

Грунтовые воды изучают, отбирая пробы из артезианских скважин, колодцев, родников. Следует иметь в виду, что качество воды в различных водоносных горизонтах может значительно различаться, поэтому при отборе пробы грунтовых вод следует оценить доступными способами глубину горизонта, из которого отобрана проба, возможные градиенты подземных потоков, информацию о составе подземных пород, через которые пролегает горизонт. Поскольку в точке отбора пробы могут создаваться концентрации различных примесей, отличные от их концентраций в водоносном слое, необходимо откачивать из скважины (или из родника, делая в нем углубление) воду в количестве, достаточном для обновления воды в скважине, водопроводе, углублении и т. п.

Пробы воды из водопроводных сетей отбирают в целях определения общего уровня качества водопроводной воды, поиска причин загрязнения

распределительной системы, контроля степени возможного загрязнения питьевой воды продуктами коррозии и др.

Для получения репрезентативных проб при отборе проб воды из водопроводных сетей соблюдают следующие правила:

1. Отбор проб проводят после спуска воды в течение 10–15 мин – времени, обычно достаточного для обновления воды с накопившимися загрязнителями.

2. Для отбора не используют концевые участки водопроводных сетей, а также участки с трубами малого диаметра – менее 1,2 см.

3. Для отбора используют, по возможности, участки с турбулентным потоком – краны вблизи клапанов, изгибов.

4. При отборе проб вода должна медленно течь в пробоотборную емкость до ее переполнения.

При отборе проб следует обращать внимание (фиксировать в протоколе) на сопровождавшие отбор проб гидрологические и климатические условия, такие как осадки и их обилие, паводки, застойность водоема и др.

Посуда для отбора проб должна быть чистой. Чистота посуды обеспечивается предварительным мытьем ее горячей мыльной водой (стиральные порошки и хромовую смесь не использовать!), многократным споласкиванием чистой теплой водой. В дальнейшем для отбора проб желательно использовать одну и ту же посуду. Сосуды, предназначенные для отбора проб, предварительно тщательно моют, ополаскивают не менее трех раз отбираемой водой и закупоривают стеклянными или пластмассовыми пробками, прокипяченными в дистиллированной воде. Между пробкой и отобранной пробой в сосуде оставляют воздух объемом 5–10 мл. В общую посуду отбирают пробу на анализ только тех компонентов, которые имеют одинаковые условия консервации и хранения.

1.4. Требования к оборудованию для отбора проб

Для отбора точечных проб воды на заданной глубине применяют батометры (рис. 1.4).

Среди современных батометров выделяют:

- сериальные – имеют боковой подвес, позволяющий легко укрепить их на тросе или снять с троса, вытравленного за борт и натянутого грузом нижних батометров;
- малые – имеют компактную конструкцию. Первый малый батометр был предложен в 1935 г. и изготовлен для дрейфующей станции "Северный полюс";
- концевые – применяются, чтобы избавиться от подъема и спуска излишней тяжести груза при спуске нескольких батометров. Проба воды из концевого батометра, в котором используется стеклянный или другой химически стойкий сосуд, более надежна (является контрольной). Вес батометра Международной гидрографической лаборатории – 12 кг, полная емкость – 1700 см³, емкость внутреннего сосуда – 450 см³;
- донные – предназначены для получения проб воды из слоя, непосредственно прилегающего ко дну. Строятся как одиночные (по типу концевых) и закрываются автоматически от прикосновения ко дну (без посыльного груза), первый донный батометр создан в 1870 г.;
- промерные – употребляются для добывания придонных проб воды во время глубоководного промера, такой батометр легкий (около 3 кг) и закрывается автоматически при начале подъема лотлиня (провода);
- специального назначения – применяются, когда необходимо с одной глубины получить большое количество воды (для полного химического анализа, гидробиологических работ), имеют большой объем (10 л и более).



батометр Молчанова ГР-18

батометр Рутнера

Рис. 1.4. Батометры для отбора проб воды

Батометры также можно классифицировать и по другим признакам. С учетом потребности во времени наполнения батометры могут быть быстрого (мгновенного) или длительного наполнения объема. Батометр быстрого (мгновенного) наполнения имеет крышку, которая закрывается на заданной глубине в результате переворачивания батометра, происходящего под воздействием посылаемого по тросу груза. Одновременно установленным на батометре термометром регистрируется и температура воды. Сходное устройство имеет речной батометр Жуковского, но он опускается в водоем в горизонтальном положении. В батометр длительного наполнения вода поступает со скоростью течения воды в исследуемой точке.

Допускается отбор проб воды бутылкой (рис. 1.5). Бутылку закрывают пробкой, к которой прикреплен шнур, и вставляют в тяжелую оправу или к ней подвешивают груз на тросе (шнуре, веревке). Бутылку опускают в воду на заранее выбранную глубину, затем пробку вынимают при помощи шнура, бутылка заполняется водой до верха, после чего вынимается. Перед закрытием бутылки пробкой слой воды сливается так, чтобы под пробкой оставался небольшой слой воздуха.



Рис. 1.5. Бутылки для отбора проб воды

Целесообразно применять специальные бутылки для отбора проб, например, бутылки с откачанным воздухом.

Пробу воды с небольшой глубины (особенно зимой) отбирают бутылкой, прикрепленной к шесту.

Для исследования вертикального профиля воды при ее слоистой структуре допускается применять стакан с делениями, пластмассовый

цилиндр или цилиндр из нержавеющей стали, открытый с обоих концов. В точке отбора проб цилиндр перед поднятием на поверхность закрывают с обоих концов специальным устройством (управляющим тросом).

Емкости для отбора проб должны быть тщательно промыты, чтобы свести к минимуму возможные загрязнения пробы. Тип применяемого для промывки вещества выбирают в зависимости от определяемых показателей и материала емкости.

Новую стеклянную посуду ополаскивают раствором моющего средства для удаления пыли и следов упаковочного материала с последующей промывкой дистиллированной или деионизованной водой. Посуду заполняют 1 моль/дм³ раствора азотной или соляной кислоты и выдерживают не менее 1 сут, затем тщательно ополаскивают дистиллированной или деионизованной водой.

При определении фосфатов, кремния, бора и поверхностно-активных веществ для промывки емкостей не допускается использовать растворы моющих средств.

Ранее использованные стеклянные емкости моют хромовой смесью, тщательно ополаскивают водой, обрабатывают водяным паром, затем ополаскивают дистиллированной или деионизованной водой и сушат струей осушенного воздуха. Допускается использовать вместо хромовой смеси концентрированную серную кислоту. Не допускается применять хромовую смесь для емкостей, используемых для отбора и хранения проб, предназначенных для определения хрома.

Пластмассовые емкости ополаскивают ацетоном, разбавленной соляной кислотой, тщательно промывают водой, ополаскивают дистиллированной или деионизованной водой и сушат струей воздуха.

Для отбора проб, предназначенных для определения органических веществ, применяют только стеклянные емкости предпочтительно коричневого стекла. Емкости моют раствором моющего средства, тщательно ополаскивают дистиллированной или деионизованной водой, сушат в сушильном шкафу при 105 °С в течение 2 ч и охлаждают, затем ополаскивают дистиллированной или деионизованной водой и окончательно сушат деионизованной струей очищенного воздуха или азота.

Критериями для выбора емкости, используемой для отбора и хранения проб, являются:

- предохранение состава пробы от потерь определяемых показателей или от загрязнения другими веществами,
- устойчивость к экстремальным температурам и разрушению; способность легко и плотно закрываться, необходимые размеры, форма, масса, пригодность к повторному использованию;
- светопроницаемость;
- химическая (биологическая) инертность материала, использованного для изготовления емкости и ее пробки (например, емкости из боросиликатного или известково-натриевого стекла могут увеличить содержание в пробе кремния или натрия);
- возможность проведения очистки и обработки стенок, устранения поверхностного загрязнения тяжелыми металлами и радионуклидами.

Допускается применение одноразовых емкостей для отбора проб.

Для отбора твердых и полужидких проб используют кружки или бутылки с широким горлом.

Емкости с закручивающимися крышками, узким и широким горлом должны быть снабжены инертными пластмассовыми (например, из политетрафторэтилена) или стеклянными пробками. Не допускается применять резиновые прокладки и смазку, если емкость предназначена для отбора проб с целью определения органических и микробиологических показателей.

Для хранения проб, содержащих светочувствительные ингредиенты (включая морские водоросли), применяют емкости из светонепроницаемого или неактиночного стекла с последующим размещением их в светонепроницаемую тару на весь период хранения пробы.

Емкости для проб, предназначенных для определения микробиологических показателей, должны:

- выдерживать высокие температуры при стерилизации (в том числе пробки и защитные колпачки);
- предохранять от внесения загрязнений;
- изготавливаться из материалов, не влияющих на жизнедеятельность микроорганизмов;

- иметь плотно закрывающиеся пробки (силиконовые или из других материалов) и защитные колпачки (из алюминиевой фольги, плотной бумаги).

Пробоотборники должны:

- минимизировать время контакта между пробой и пробоотборником;
- изготавливаться из материалов, не загрязняющих пробу;
- иметь гладкие поверхности;
- быть сконструированы и изготовлены применительно к пробе воды для соответствующего анализа (химический, биологический или микробиологический).

Пробы отбирают вручную специальными приспособлениями или с применением автоматизированного оборудования.

При разработке и выборе автоматизированного оборудования для отбора проб воды учитывают следующие основные факторы с учетом программы отбора проб:

- прочность конструкции;
- устойчивость к коррозии и биоповреждениям в воде;
- простота эксплуатации и управления;
- возможность самопроизвольной очистки от засорения твердыми частицами;
- возможность измерения отобранного объема пробы;
- обеспечение корреляции аналитических данных с пробами, отобранными вручную;
- емкости для проб должны легко выниматься, очищаться и собираться;
- обеспечение минимального объема пробы 0,5 дм³;
- обеспечение хранения пробы в темноте и обеспечение хранения температуро- и времязависящих проб при температуре 4 °С на период не менее 24 ч при температуре окружающей среды до 40 °С;
- регулировка, при необходимости, скорости жидкости для предотвращения разделения фаз;
- наличие выпускного устройства с минимальным внутренним диаметром 12 мм и установленной заслонкой по потоку для предотвращения загрязнения и накопления твердых частиц;

- возможность повторных поступлений проб в отдельные емкости для отбора проб;
- защита конструкции пробоотборника от избыточной влажности (атмосферной и испарений исследуемой воды) и от обледенения в холодный период года.

Оборудование переносного пробоотборника должно быть легким, защищенным от воздействия атмосферных явлений и приспособленным к работе в широком диапазоне условий окружающей среды.

Общие требования к оборудованию для отбора проб приведены в ГОСТ 17.1.5.04-81.

1.5. Транспортирование проб

Вся процедура выполнения отбора проб начинается еще в помещениях лаборатории. Необходимое оборудование, пробоотборники, посуда для проб, реактивы для фиксации, ящики для перевозки, полевые журналы и бланки – все должно быть на определенных местах. Во время упаковки оборудования, при работе с посудой и во время транспортировки следует постоянно помнить о чистоте. Кроме того, необходимо постоянно заботиться о чистоте автомобилей, лодок, снегоходов и любых других транспортных средств.

Емкости с пробами упаковывают таким образом, чтобы упаковка не влияла на состав пробы и не приводила к потерям определяемых показателей при транспортировании, а также защищала емкости от возможного внешнего загрязнения и поломки.

При транспортировании емкости размещают внутри тары (контейнера, ящика, футляра и т. п.), препятствующей загрязнению и повреждению емкостей с пробами. Тара должна быть сконструирована так, чтобы препятствовать самопроизвольному открытию пробок емкостей.

Пробы, подлежащие немедленному исследованию, группируют отдельно и отправляют в лабораторию.

Для биологических показателей пробы питьевых "чистых" и речных "грязных" вод должны доставляться в отдельных промаркированных контейнерах. После доставки проб контейнеры подлежат дезинфекционной обработке.

1.6. Приемка проб в лаборатории

Пробы, поступающие в лабораторию для исследования, должны быть зарегистрированы в журнале учета с обязательным указанием числа емкостей для каждой пробы.

Пробы хранят в условиях, исключаящих любое загрязнение емкостей для отбора проб и предотвращающих любое изменение в составе проб (например, рефрижераторные камеры, прохладные и темные помещения).

1.7. Подготовка проб к хранению

Для подготовки отобранной пробы к хранению в зависимости от определяемого показателя проводят при необходимости:

- фильтрацию (центрифугирование);
- охлаждение (замораживание);
- консервацию.

Фильтрация (центрифугирование) проб

Взвешенные вещества, осадки, морские водоросли и микроорганизмы удаляют при взятии пробы или тотчас после этого фильтрованием проб через фильтровальную бумагу (мембранный фильтр) или центрифугированием. Фильтрацию применяют также для разделения растворимых и нерастворимых форм, подлежащих определению. Фильтрацию не применяют, если фильтр задерживает один или более ингредиентов, подлежащих определению.

Фильтр должен быть тщательно промыт перед применением, а при необходимости стерилизован, быть совместимым с методом определения показателя и не должен вносить дополнительных загрязнений.

Охлаждение (замораживание) проб

Пробу охлаждают (замораживают) сразу после отбора. После охлаждения (замораживания) емкости с пробами размещают и транспортируют в охлаждающих ящиках или рефрижераторах. Охлаждение проводят в тающем льде или в рефрижераторе до температуры 2–5 °С с последующим размещением пробы в темном месте. Замораживание до температуры –20 °С применяют с целью увеличения продолжительности хранения пробы. При этом контролируют способ замораживания и оттаивания пробы для возврата ее к исходному состоянию после оттаивания.

При замораживании проб применяют емкости из полимерных материалов (например, из поливинилхлорида).

Пробы, предназначенные для микробиологических анализов и определения летучих органических веществ, замораживанию не подлежат.

Консервация проб

Для консервации проб применяют:

- кислоты;
- щелочные растворы;
- органические растворители;
- биоциды;
- специальные реактивы для определения некоторых показателей (например, кислорода, цианидов, сульфидов).

Не допускается применять для консервации хлорид и фенилацетат ртути, а также консерванты, содержащие вещества (ионы, элементы), подлежащие определению в отобранной пробе.

При консервации используемое вещество добавляют непосредственно в пробу после ее отбора или в пустую емкость до отбора проб.

Добавление консервантов учитывают при определении показателя и при обработке результатов определений. Для консервации проб предпочтительно применять концентрированные растворы консервантов с целью использования их в малых объемах. Если при добавлении консерванта изменение объема пробы не превышает 5 %, то при определениях можно пренебречь соответствующим разведением.

Консерванты предварительно испытывают на возможность дополнительного внесения ими загрязнений и сохраняют их в достаточном количестве для проведения контрольных испытаний. Предельная концентрация вносимых с консервантами загрязнений определяется требованиями методики определения соответствующих показателей.

Основные рекомендуемые методы консервации и хранения отобранных проб, предназначенных для проведения определений конкретных показателей, приведены:

- в табл. 1.2 – для обобщенных показателей;
- в табл. 1.3 – для химических показателей;
- в табл. 1.4 – для органолептических показателей.

Таблица 1.2

Методы хранения и консервации проб для определения обобщенных показателей

Показатель	Материал, из которого изготовлена емкость для отбора и хранения проб	Метод хранения и консервации	Максимально рекомендуемый срок хранения	Примечание
Водородный показатель	Полимерный материал или стекло	Транспортирование при температуре ниже температуры отбора проб	6 ч	Определение следует проводить как можно скорее и предпочтительнее на месте после отбора пробы
Общая минерализация, сухой остаток	То же	Охлаждение до температуры 2–5 °С	24 ч	–
Жесткость общая	«	–	24 ч	Допускается хранение в течение 48 ч, кроме проб с удельной электропроводностью более 70 мСм/м. Не допускается применять серную кислоту
Окисляемость перманганатная	Стекло	Подкисление серной кислотой до рН менее 2, охлаждение температуры 2–5 °С и хранение в темном месте	2 сут	Определение следует проводить как можно скорее
Фенольный индекс	Боросиликатное стекло	Добавление 1 г сульфата меди на 1 дм ³ пробы и подкисление фосфорной кислотой до рН менее 2, хранение в темном месте при температуре 5–10 °С	24 ч	Условия хранения выбирают в зависимости от метода определения показателя
Кислотность и щелочность	Полимерный материал или стекло	Охлаждение до температуры 2–5 °С	24 ч	Предпочтительно выполнение определений на месте отбора

				проб (особенно для проб с высокой концентрацией растворенных газов)
БПК (биохимическое потребление кислорода)	Стекло	–	24 ч	–
ХПК (химическое потребление кислорода)	То же	Подкисление серной кислотой до рН менее 2, охлаждение до температуры 2–5 °С и хранение в темном месте	5 сут	–
Удельная электропроводность	Полимерный материал или стекло	Охлаждение до температуры 2–5 °С	24 ч	Предпочтительно выполнение определений на месте отбора проб
Взвешенные и оседающие вещества	То же	–	24 ч	Определение следует проводить как можно скорее. Предпочтительно выполнение определений на месте отбора проб

Примечание. Место проведения определений показателя – лаборатория.

Таблица 1.3

Методы хранения и консервации проб для определения химических показателей

Показатель	Материал, из которого изготовлена емкость для отбора и хранения проб	Метод хранения и консервации	Максимально рекомендуемый срок хранения	Примечание
Аммиак и ионы аммония (суммарно)	Полимерный материал или стекло	Подкисление серной кислотой до рН менее 2, охлаждение до температуры 2–5 °С	24 ч	–
		Охлаждение до	6 ч	

		температуры 2–5 °С		
Азот органических соединений	Полимерный материал или боросиликатное стекло	Подкисление серной кислотой до pH менее 2, охлаждение до температуры 2–5 °С и хранение в темном месте	24 ч	Подкисление не проводят, если эта же проба будет использована для определения аммиака
Алюминий (суммарно)	Полимерный материал	Подкисление до pH менее 2	1 мес.	—
Алюминий (растворенный*)	То же	Фильтрация на месте отбора проб и подкисление фильтрата до pH менее 2	1 мес.	Растворенные* в воде формы алюминия и адсорбированный на взвешенных частицах алюминий допускается определять в одной и той же пробе
Барий (растворенный*)	Полимерный материал или боросиликатное стекло	Фильтрация на месте отбора проб и подкисление фильтрата до pH менее 2	1 мес.	Не допускается применять серную кислоту
Барий (суммарно)	То же	Подкисление до pH менее 2	1 мес.	Не допускается применять серную кислоту
Бензол	Стекло	Хранение при температуре 2–5 °С. При наличии активного хлора добавление 20 мг тиосульфата натрия на 1 дм ³ пробы	3 сут	Заполнение емкости без воздушного пространства и транспортирование при температуре 2–5 °С
Бенз(а)пирен	То же	Добавление растворителя, используемого для экстракции; хранение при температуре 2–5 °С. При наличии активного хлора добавление 20 мг тиосульфата натрия на 1	1 сут	Экстракцию пробы проводят не позднее 1 сут с момента отбора пробы

		дм ³ пробы		
Бериллий	Полимерный материал или стекло	Подкисление до pH менее 2	72 ч	–
Бор и его соединения (суммарно)	Полимерный материал или стекло, не содержащее бор	–	3 сут	–
Бромиды и неорганические соединения брома	Полимерный материал или стекло	Охлаждение до температуры 2–5 °С	24 ч	Пробы следует предохранять от прямого воздействия солнечных лучей
Гидразин	Стекло	Подкисление соляной кислотой и хранение в темном месте	24 ч	–
Гидрокарбонаты	Полимерный материал или стекло	Охлаждение до температуры 2–5 °С	24 ч	–
Диоксид углерода**	То же	–	–	–
Йодиды	Стекло	Охлаждение до температуры 2–5 °С	24 ч	Пробы следует предохранять от прямого воздействия солнечных лучей
Железо (суммарно)	Полимерный материал или боросиликатное стекло	Подкисление до pH менее 2	1 мес.	Рекомендуется определять сразу после определения неустойчивых показателей
Железо (II)***	То же	Подкисление до pH менее 2 соляной кислотой и удаление атмосферного кислорода	24 ч	Рекомендуется определять сразу после определения неустойчивых показателей
Жиры, масла, углеводороды	Стекло	Экстракция (по возможности) на месте отбора проб и охлаждение до температуры 2–5 °С	24 ч	Емкость перед отбором проб должна быть промыта веществом для экстракции. После отбора проб добавляют вещество, применяемое для

				экстракции в соответствии с методом определения показателя, или проводят экстракцию на месте отбора проб
Кадмий (суммарно)	Полимерный материал или боросиликатное стекло	Охлаждение до температуры 2–5 °С	1 мес.	–
Кадмий (растворенный*)	То же	Фильтрация на месте отбора проб и подкисление фильтрата до pH менее 2	1 мес.	Растворенные* в воде формы кадмия и адсорбированный на взвешенных частицах кадмий допускается определять в одной и той же пробе
Кальций	Полимерный материал или стекло	–	24 ч	Допускается хранение в течение 48 ч, кроме проб с удельной электропроводностью более 70 мСм/м
		Подкисление до pH менее 2	1 мес.	Не допускается применение серной кислоты
Калий	Полимерный материал	–	1 мес.	–
		Подкисление до pH менее 2	1 мес.	Подкисление позволяет определять калий в той же пробе, что и другие металлы
Кислород	Полимерный материал или стекло**	–	–	–
	Полимерный материал	Фиксация кислорода при отборе проб и хранение в темном месте	4 сут	Фиксацию кислорода проводят в соответствии с требованиями конкретных методов определения

				показателя
Кобальт (суммарно)	Полимерный материал или боросиликатное стекло	Подкисление до pH менее 2	1 мес.	–
Кобальт (растворенный*)	Полимерный материал	Фильтрация на месте отбора проб и подкисление фильтрата до pH менее 2	1 мес.	Растворенные* в воде формы кобальта и адсорбированный на взвешенных частицах кобальт допускается определять в одной и той же пробе
Кремний	То же	Охлаждение до температуры 2–5 °С	5 сут	При необходимости определения растворенных форм пробу при отборе фильтруют через мембранный фильтр
Литий	«	–	1 мес.	–
		Подкисление до pH менее 2	1 мес.	Подкисление позволяет определять литий в той же пробе, что и другие металлы
Магний	Полимерный материал или стекло	–	24 ч	Допускается хранение в течение 48 ч, кроме проб с удельной электропроводностью более 70 мСм/м
		Подкисление до pH менее 2	1 мес.	Не допускается применение серной кислоты
Марганец (суммарно)	Полимерный материал	Подкисление до pH менее 2	1 мес.	–
Марганец (растворенный*)	То же	Фильтрация на месте отбора проб и подкисление фильтрата до pH менее 2	1 мес.	Растворенные* в воде формы марганца и адсорбированный на взвешенных частицах

				марганец допускается определять в одной и той же пробе
Медь (суммарно)	Полимерный материал или боросиликатное стекло	Подкисление до pH менее 2	1 мес.	–
Медь (растворенная*)	То же	Фильтрация на месте отбора проб и подкисление фильтрата до pH менее 2	1 мес.	Растворенные* в воде формы меди и адсорбированную на взвешенных частицах медь допускается определять в одной и той же пробе
Молибден (суммарно)	Полимерный материал или стекло	Подкисление до pH менее 2	72 ч	-
Мышьяк (суммарно)	То же	Подкисление до pH менее 2	1 мес.	Используют соляную кислоту, если метод определения основан на восстановлении всех форм мышьяка до летучего мышьяковистого водорода
Нефть и нефтепродукты (суммарно)	Стекло	Экстракция (по возможности на месте) и охлаждение до температуры 2–5 °С	24 ч	Емкость перед отбором проб должна быть промыта веществом для экстракции. После отбора проб необходимо добавить вещество, применяемое для экстракции в соответствии с методом определения, или провести экстракцию на месте отбора проб
Никель (суммарно)	Полимерный материал	Подкисление до pH менее 2	1 мес.	–
Никель (растворенный*)	То же	Фильтрация на месте отбора проб и подкисление	1 мес.	Растворенные в воде формы* никеля и

		фильтрата до pH менее 2		адсорбированный на взвешенных частях никель допускается определять в одной и той же пробе
Нитраты	Полимерный материал или стекло	Подкисление до pH менее 2 или охлаждение до температуры 2–5 °С или добавление 2–4 см ³ хлороформа и охлаждение до температуры 2–5 °С	24 ч	Не допускается применение азотной кислоты
		Фильтрация через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм и охлаждение до температуры 2–5 °С	48 ч	Для грунтовых и поверхностных вод
Нитриты	То же	Охлаждение до температуры 2–5 °С	24 ч	Не допускается применение азотной кислоты
Олово (суммарно)	Полимерный материал или боросиликатное стекло	Подкисление до pH менее 2	14 сут	При наличии оловоорганических соединений применяют уксусную кислоту и пробу замораживают. В этом случае определение проводят как можно быстрее
Органические соединения хлора (хлорорганические соединения)	Стекло	Подкисление азотной кислотой до pH менее 2, охлаждение до температуры 2–5 °С, хранение в темном месте. При наличии активного хлора добавление 20 мг	3 сут	Определение следует проводить как можно скорее

		тиосульфата натрия на 1 дм ³ пробы		
Ртуть (суммарно)	Боросиликатное стекло	Подкисление до pH менее 2 и добавление двуххромовокислого калия	1 мес.	–
Селен	Стекло или боросиликатное стекло	Подкисление до pH менее 1, но если в пробе присутствуют селениды, то пробу подщелачивают гидрооксидом натрия до pH более 11	1 мес.	–
Свинец (суммарно)	Полимерный материал или боросиликатное стекло	Подкисление до pH менее 2	1 мес.	Не допускается применять серную кислоту
Свинец (растворенный*)	То же	Фильтрация на месте отбора проб и подкисление фильтрата до pH менее 2	1 мес.	Не допускается применять серную кислоту
Соли ортофосфорной кислоты (суммарно)	Стекло или боросиликатное стекло	Охлаждение до температуры 2–5 °С	24 ч	Определение следует проводить как можно скорее
Соли ортофосфорной кислоты (растворенные)	То же	Фильтрация на месте при отборе проб. Охлаждение до 2-5°С	24 ч	Определение следует проводить как можно скорее
Серебро (суммарно)	Полимерный материал или боросиликатное стекло	Подкисление до pH менее 2	1 мес.	Не допускается применять серную кислоту. Для некоторых видов серебра добавляют цианид в соответствии с НД на метод определения показателя
Серебро (растворенное*)	То же	Фильтрация на месте отбора проб и подкисление до pH менее 2	1 мес.	Не допускается применять серную кислоту. Для некоторых видов серебра добавляют цианид в

				соответствии с НД на метод определения показателя
Стронций	Полимерный материал или стекло	Подкисление 10 %-м раствором азотной кислоты до рН менее 2	72 ч	Не допускается применять серную кислоту
Сульфаты	То же	Охлаждение до температуры 2–5 °С	7 сут	Для предотвращения возможного образования сероводорода в пробу сточной воды добавляют пероксид водорода. Для проб с БНК более 200 мг/дм ³ вместо пероксида водорода добавляют соляную кислоту
Углерод органический	Стекло	Подкисление серной кислотой до рН менее 2, охлаждение до температуры 2–5 °С и хранение в темном месте	7 сут	Метод хранения зависит от конкретного метода определения показателя
Фториды	Полимерный материал (за исключением полифторэтиленового)	–	1 мес.	–
Фосфор (растворенный*)	Стекло	Фильтрация на месте и охлаждение до температуры 2–5 °С	24 ч	При определении низких концентраций рекомендуется применение емкостей из йодинизированного стекла (бутыль можно йодинизировать, помещая несколько кристаллов йода в закрываемую емкость, которую затем нагревают

				до температуры 60 °С в течение 8 ч)
Фосфор (суммарно)	Стекло	Охлаждение до температуры 2–5 °С	24 ч	При определении низких концентраций рекомендуется применение емкостей из йодинизированного стекла (бутыль можно йодинизировать, помещая несколько кристаллов йода в закрываемую емкость, которую затем нагревают до температуры 60 °С в течение 8 ч). Следует учитывать, что йод может выщелачивать пробу и влиять на результаты определений
		Подкисление до pH менее 2 серной кислотой	1 мес.	
Хлориды	Полимерный материал или стекло	–	1 мес.	–
Хром (VI)	Полимерный материал или боросиликатное стекло	Охлаждение до температуры 2–5 °С	24 ч	–
Хром (суммарно)	То же	Подкисление до pH менее 2	1 мес.	–
Хлорофилл	Полимерный материал или стекло	Охлаждение до температуры 4 °С	24 ч	При транспортировании емкость размещают в темном месте
Цинк (суммарно)	Полимерный материал	Подкисление до pH менее 2	1 мес.	-
Цинк (растворенный*)	То же	Фильтрация на месте отбора проб и подкисление фильтрата до pH менее 2	1 мес.	Растворенные* в воде формы цинка и адсорбированный на взвешенных частицах цинк допускается определять и

				одной и той же пробе
--	--	--	--	----------------------

Примечания:

1. Растворенный* означает, что определяемый показатель проходит через фильтр размером пор 0,45 мкм.
2. Основное место проведения определений показателя – лаборатория, за исключением "***" – на месте отбора проб или "****" – на месте отбора проб или в лаборатории.
3. Если срок хранения не указан, то хранение не допускается.
4. Здесь и далее во всех таблицах стандарта к полимерным материалам относят полиэтилен, политетрафторэтилен, поливинилхлорид. Ограничения по применению конкретного полимерного материала устанавливают в НД на метод определения конкретного показателя.
5. При определении летучих органических веществ в воде, содержащей активный хлор, в пробу необходимо добавлять 20 мг тиосульфата натрия на 1 дм³ пробы.

Таблица 1.4

Методы хранения и консервации проб для определения органолептических показателей

Показатель	Материал, из которого изготовлена емкость для отбора и хранения проб	Метод хранения и консервации	Максимально рекомендуемый срок хранения	Место проведения определений показателя	Примечание
Запах	Стекло	Охлаждение до температуры 2–5 °С	6 ч	Лаборатория	Допускается определять на месте отбора проб
Привкус	Стекло	–	2 ч	Лаборатория	Определение проводят при отсутствии подозрений на бактериальное загрязнение и отсутствие веществ в опасных концентрациях
Цветность	Полимерный материал или стекло	–	–	На месте отбора проб	–
		Охлаждение до температуры 2–5 °С и хранение в	24 ч	Лаборатория	–

		темном месте			
Мутность	То же	–	24 ч	Лаборатория	Предпочтительно проводить определение на месте отбора проб

Пригодность метода хранения (консервации) для конкретных показателей приведена в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Пригодность метода хранения (консервации) для конкретных показателей

Метод хранения (консервации)	Определяемые показатели, для которых метод хранения (консервации)	
	пригоден	не пригоден
Консервация до pH менее 2 (подкисление)	Щелочные металлы Алюминий Аммиак (но не для анализов свободно выделяющегося и общего) Мышьяк Щелочно-земельные и редкоземельные металлы Нитраты Жесткость общая Фосфор общий Тяжелые металлы	Цианиды Сульфиды Карбонаты, бикарбонаты, углекислый газ Сульфиты, диоксид серы Тиосульфаты Нитриты Фосфонаты
Консервация до pH более 11 (подщелачивание)	Йодиды	Большинство органических соединений Тяжелые металлы, особенно многовалентные. Некоторые металлы из растворимых анионов при более высокой валентности Аммиак, аммоний Амины, амиды Фосфор общий
Охлаждение до температуры 2–5 °С	Кислотность Щелочность Аммоний Бромиды и соединения брома Хлорофилл Азот органических соединений Удельная электропроводность Нитраты Нитриты Запах Фосфаты, орто Фосфор Сульфаты Общий остаток Биологические показатели	

Замораживание до температуры $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$	Хлорофилл ХПК Биологические показатели Органический углерод Перманганатный индекс Испытания на токсичность	Бентос, если необходимо определять в его различных состояниях Растворенные газы Микроорганизмы для идентификации
--	---	--

Примечания:

1. Не допускается применять:

- серную кислоту – для консервации проб, предназначенных для определения кальция, стронция, бария, радия, свинца;
- соляную кислоту – для консервации проб, предназначенных для определения серебра, таллия, свинца, висмута, ртути, сурьмы;
- азотную кислоту – для консервации проб, предназначенных для определения оловоорганических соединений, нитратов и нитритов.

2. При замораживании проб многоатомные кислоты могут деполимеризоваться, поэтому необходимо уточнить пригодность метода до его применения.

3. При замораживании проб осадок и полимеризация могут повлиять на результаты определений.

4. Показатели, не перечисленные в таблице, не могут быть определены из проб, законсервированных данными методами.

1.8. Требования к оформлению результатов отбора проб

Сведения о месте отбора проб и условиях, при которых они были отобраны, указывают на этикетке, которую прикрепляют к емкости для отбора проб. Допускается кодировать данную информацию при помощи нанесения на емкость для отбора проб несмываемой краской шифра (кода).

Результаты определений, выполненных на месте, вносят в протокол испытаний, который заполняется и комплектуется на месте отбора пробы.

Результаты отбора проб заносят в акт об отборе, который должен содержать следующую информацию:

- расположение и наименование места отбора проб, с координатами и любой другой информацией о местонахождении;
- дату отбора;
- метод отбора;
- время отбора;
- климатические условия окружающей среды при отборе проб;
- температуру воды при отборе пробы (при необходимости);
- метод подготовки к хранению (при необходимости);
- цель исследования воды;
- другие данные в зависимости от цели отбора проб;
- должность, фамилию и подпись исполнителя.

Пробы аномальных материалов должны иметь описание наблюдаемой аномалии.

1.9. Техника безопасности при отборе проб

1. К работе по отбору проб для химического анализа допускаются лица не моложе 18 лет, усвоившие правила техники безопасности и производственной санитарии и успешно сдавшие экзамены квалификационной комиссии.

2. В связи с тем, что сточные воды могут содержать токсичные или воспламеняющиеся вещества и могут представлять опасность микробиологического или вирусного характера, при их отборе необходимо соблюдать особую осторожность, используя резиновые перчатки, респиратор, резиновые сапоги. После отбора проб необходимо тщательно вымыть руки с мылом и протереть спиртом.

3. Отбор радиоактивных и горячих сточных вод и проб из систем, находящихся под давлением, требует специального оборудования и спецодежды.

4. При взятии проб из больших емкостей (отстойники, накопители, усреднители) необходимо надевать спасательные жилеты и использовать страховочные канаты.

5. При проведении постоянных отборов проб воды место их отбора должно обеспечивать безопасный отбор проб в любое время года.

6. Лица, привлекаемые к отбору проб воды, обеспечиваются надувными спасательными жилетами, должны уметь грести, плавать, оказывать первую помощь при несчастных случаях, периодически проходить инструктаж по технике безопасности.

7. Отбор проб поверхностных и сточных вод должны производить не менее двух человек.

2. ОТБОР ПРОБ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОЕМОВ

2.1. Методологический подход к отбору проб донных отложений

Предпочтительность изучения донных отложений для определения интенсивности загрязнения и оценки экологического состояния пресноводных систем по сравнению с гидрохимическими исследованиями обусловлена следующим:

1) концентрации загрязняющих веществ в донных отложениях достаточно стабильны по сезонам года по сравнению с таковыми, например, в образцах воды;

2) вертикальное распределение загрязняющих веществ в толще донных отложений отражает изменение их нагрузки во времени на водосбор пресноводных систем;

3) образцы донных отложений сравнительно легко отбирать в экспедиционных условиях;

4) концентрации загрязняющих веществ в донных отложениях намного выше, чем в воде, и, анализируя их, можно получить более достоверные данные об интенсивности загрязнения.

Исследования Л. Хокансона (Håkanson, 1984a, b) показали, что для получения репрезентативной информации о степени загрязнения озера необходим отбор проб донных отложений только из зон аккумуляции (как правило, это акватории с самыми большими глубинами). В аккумуляционной зоне происходит непрерывная седиментация тончайших частиц (менее 0,01 мм) с высокой концентрацией загрязняющих веществ. В небольших мелких озерах аккумуляционная зона может достигать литорали, а в глубоких и больших озерах, подверженных воздействию ветра, зона аккумуляции донных отложений может достигать 30–40 м (Rognerud, 1985).

У. Фёрстнер и В. Саломонс (Förstner, Salomons, 1981) для обоснования использования донных отложений фракции менее 0,01 мм в условиях загрязнения водоемов приводят следующие аргументы:

- загрязняющие вещества присутствуют главным образом в глинистых и пылеватых частицах (менее 0,01 мм);

- эта фракция наиболее близка по размерам материалу, который переносится во взвешенном состоянии;
- просеивание через сито с ячейками диаметром 0,01 мм не приводит к удалению загрязняющих веществ из мелкодисперсных частиц донных отложений;
- накоплен большой экспериментальный материал по данной фракции.

Приведенных аргументов достаточно для заключения о том, что использование материала из транспортных и эрозионных зон некорректно и непригодно для интерпретации и все данные должны быть получены из территорий аккумуляции.

Необходимо избегать отбора донных отложений из следующих акваторий:

- 1) русел рек или других подобных высокоэнергетичных акваторий, где доминируют турбулентные или гидродинамически сложные условия;
- 2) акваторий между островами, где может существовать топографический эффект "горлышка бутылки";
- 3) акваторий, близких к устьям рек, где формирование донных отложений зависит от скорости течения в реках и где состав донных отложений изменчив во времени и в пространстве;
- 4) акваторий с наклоном более чем 4–5 % (высота к длине), где современный мелкодисперсный материал донных отложений может повторно перейти во взвешенную фракцию водной толщи.

Л. Хокансон (Håkanson, 1980) рекомендует два простых способа определения условий формирования донных отложений в месте отбора проб:

- ЭТА-диаграмма (эрозия – транспорт – аккумуляция), для работы с которой необходимо знать два параметра – глубину и эффективную зону разгона, определяемую как максимальное расстояние от одного из берегов (рис. 2.1);
- на основе определения влажности поверхностного сантиметрового слоя донных отложений (H_2O). Для большинства озер граница между эрозионной и транспортной зонами проходит при значении H_2O , равном 50 %, а между транспортной и аккумуляционной зонами – 75 %.



Рис. 2.1. ЭТА-диаграмма для мелкодисперсных (0–1 см) поверхностных осадков оз. Ванерн (Håkanson, 1976)

Толщина анализируемого слоя донных отложений является одним из важных параметров в силу следующих причин. С одной стороны, довольно сложно отобрать представительные и достаточные по массе для проведения химических анализов образцы, если используются слои менее 1 см, так как поверхностные слои донных отложений в зонах аккумуляции очень рыхлые и мягкие, а их влажность более 90 %. С другой стороны, по концентрациям элементов, определенным в более мощных слоях донных отложений, накопившихся за значительный период времени, измеряемый десятилетиями, довольно трудно определить состояние загрязнения современных донных отложений, особенно, если скорость седиментации низкая (для пресноводных систем севера Фенноскандии ~1 мм/год) (Norton et al., 1992, 1996) и существует вероятность интенсивного биологического перемешивания донных отложений донными организмами.

С теоретической точки зрения предпочтительнее было бы отбирать, анализировать и сравнивать донные отложения с известными и сравнимыми по времени седиментации отложениями. Однако для этого необходимо выполнение трудоемкой и дорогостоящей работы по определению скорости седиментации с использованием техники датирования донных отложений радиометрическим методом (например, Robbins, Edgington, 1975; Edgington, Robbins, 1976; Appleby et al., 1986) или с применением седиментоуловителей (Håkanson, 1976; Gardner, 1978). Экономически невыгодно проведение датирования с помощью радиометрического метода в каждой колонке. Слой донных отложений 0–1 см может быть использован как стандартный во всех последующих исследованиях для характеристики современной нагрузки загрязняющих

веществ на озеро. Самые глубокие (20–30 см) слои в колонках отражают природные или фоновые содержания веществ, так как эти слои образовались более 200 лет тому назад (Norton et al., 1992, 1996), т. е. до начала индустриального освоения северных регионов.

2.2. Методика отбора проб донных отложений

Здесь рассматриваются теоретические и практические аспекты отбора проб донных отложений при экологических исследованиях водоемов, преимущества и недостатки различных типов отборников донных отложений, сети отбора проб, методы пробоподготовки и, наконец, проводится краткий обзор использования (или ограничения применения) седиментоуловителей для оценки скорости образования донных отложений.

2.2.1. Оборудование для отбора проб донных отложений

Для оценки экологического состояния водных объектов сконструировано и применяется на практике большое количество отборников донных отложений. Эти устройства для отбора донных отложений могут быть разделены на две большие группы – дночерпатели (рис. 2.2) и отборники колонок донных отложений (гравитационные и ударные) (рис. 2.3).

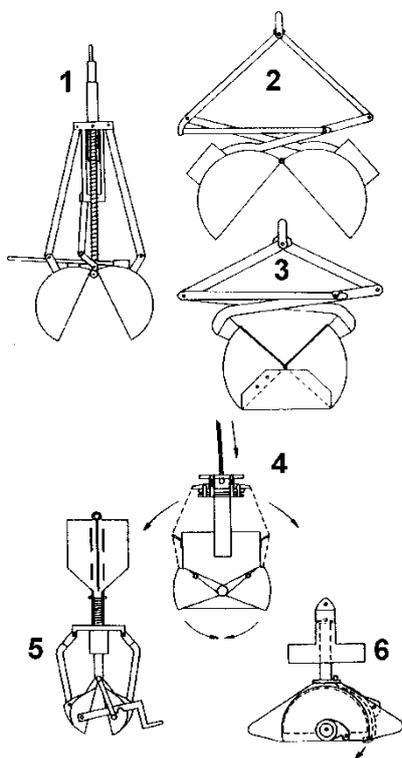


Рис. 2.2. Различные типы дночерпателей:

1 – Франклина – Андерсона; 2 – Ферста – Петерсона; 3 – Понара; 4 – Берджа – Екмана; 5 – Дитца – Лафонда; 6 – Шипека (Håkanson, Jansson, 1983)

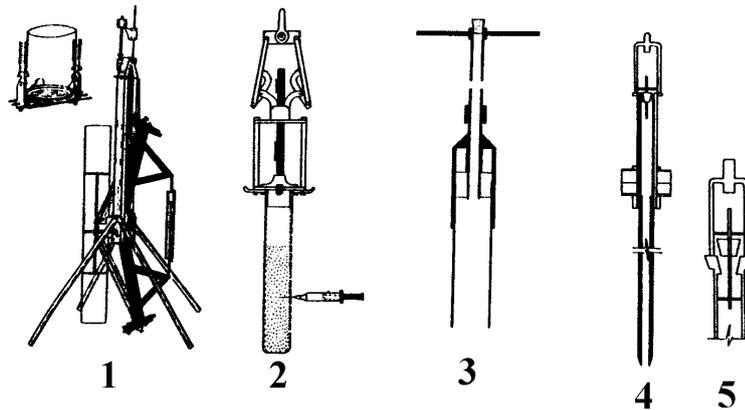


Рис. 2.3. Различные типы отборников колонок донных отложений:

1 – Дженкина; 2 – Кайака; 3 – Мейтланда; 4 – Флегера; 5 – Флегера модифицированный с клапанной системой (Håkanson, Jansson, 1983)

Отсутствие унифицированных методов отбора проб и пробоподготовки затрудняет интерпретацию и сравнение результатов исследования донных отложений водных объектов. Поэтому сначала должны быть выработаны основные требования сравнимости отбираемых проб донных отложений, а затем определены условия для отбора проб в различных водоемах (в том числе и в относительно удаленных и недостижимых озерах), которые ограничиваются техническими особенностями используемого оборудования.

Для того чтобы отобрать ненарушенные донные отложения, необходимо выполнять перечисленные ниже требования:

1. Для устранения нежелательной волны давления под отборником во время его погружения, оборудование должно разрешать свободный выход воды из пространства, предназначенного для донных отложений. Выполнение этого требования особенно важно при исследованиях донной фауны, а также в тех случаях, когда донные отложения представлены рыхлыми несвязными илами. Большинство из дночерпателей (рис. 2.2) не удовлетворяют требованиям свободного удаления воды во время погружения оборудования.

2. Для минимизации сопротивления трения, деформации и уплотнения донных отложений во время внедрения отборника в толщу донных отложений необходимо использовать трубки для отборников с относительно тонкими стенками по сравнению с площадью образца. Эти трубки должны иметь ровные гладкие внутренние поверхности и острые углы наконечников. Клапан должен позволять свободный

(неограниченный) ход отборника во время его внедрения в донные отложения, механизм клапана должен закрываться только после поступления донных отложений внутрь отборника и перед его подъемом на поверхность. Уплотнение донных отложений внутри отборника можно контролировать с помощью тряпичной ленты, помещенной на внешней стенке трубки отборника, – донные отложения внутри отборника должны быть на том же уровне, что и верхний край донных отложений на ленте. Площадь режущей кромки должна быть не более 10 % от площади отбираемого образца. Это требование не может быть выполнено при использовании трубок небольшого размера.

3. Для предотвращения выпадения материала из отборника во время его подъема отборник должен быть оборудован эффективным запирающим механизмом. Идеальный запирающий механизм должен еще до извлечения из толщи донных отложений (*in situ*) плотно закрыть трубку с обоих концов. Отборник Дженкина (рис. 2.3) достаточно хорошо закрывает концы трубок, но у него недостаточный внешний холостой ход. Трубки небольшого диаметра не требуют запираения нижнего конца, но, используя их, трудно следовать рекомендациям Хворслева, например: если толщина кромки трубки 0,1 см, то внутренний диаметр трубки должен быть 4,1 см; если толщина кромки трубки 0,2 см, то внутренний диаметр трубки должен быть 8,2 см. Но если внутренний диаметр трубки превышает 5 см, то рыхлые несвязные донные отложения могут быть потеряны во время подъема отборника на поверхность.

4. Для отбора определенных слоев донных отложений, необходимых для исследования, и для фотографирования донных отложений до извлечения из трубки желательно, чтобы отборник имел хотя бы одну прозрачную половину.

5. Для предотвращения деформации донных отложений (особенно рыхлых несвязных) во время извлечения из отборника конструкция последнего (особенно дночерпателя) должна позволять производить отбор нескольких повторных образцов, главным образом с поверхности донных отложений, при помощи, например, большой ложки или маленьких колонок. Этому требованию удовлетворяет большинство дночерпателей, изображенных на рис. 2.2. Практически невозможно получить ненарушенные донные отложения, особенно несколько повторных образцов, при открывании захлопывающих створок дночерпателя.

Материал в отборнике колонок донных отложений может быть послойно разделен на несколько образцов с помощью извлекающего штока, на верхнем конце которого крепится диск (или пробка). Шток с диском должен передвигаться в направлении, обратном внедрению донных отложений в трубку отборника.

6. Для работы с различными типами донных отложений (рыхлые несвязные, твердые пески, илы, глины и т. д.) конструкция должна предусматривать присоединение легко сменяемых грузов, например, с помощью хомута. Удобны в использовании легко сменяемые грузы на регулируемой раме, центр тяжести которых мог быть расположен низко, но не настолько, чтобы существенно увеличить внешний холостой ход.

7. Для использования отборника без какого-либо дополнительного оборудования (например, лебедки) при работе вручную (в том числе с лодки) максимальная масса отборника не должна превышать 20 кг.

8. Для выполнения различных видов анализов (физических, химических, биологических, биохимических) одного образца донных отложений необходимо достаточное по массе количество материала с одного места отбора проб, площадь и глубина отбора проб должны быть наибольшими, насколько это возможно. Это требование является обязательным при отборе проб донных отложений в полевых условиях. Однако оно идет вразрез с требованиями пунктов 2 и 7 и влечет за собой отбор более чем одного образца с одного места отбора проб.

9. Очень важно, чтобы с отборниками проб донных отложений было легко работать, даже не имея большого опыта полевых работ.

Следует признать, что ни один отборник проб донных отложений не может удовлетворять всем вышеперечисленным, иногда противоречащим друг другу требованиям.

Отборники колонок донных отложений (рис. 2.3) могут быть использованы для отбора рыхлых несвязных и тонкодисперсных донных отложений с влажностью поверхностных слоев более 50–60 %.

Дночерпатели предпочтительно использовать при отборе грубозернистых донных отложений, а также в тех случаях, когда на дне в большом количестве залегают раковины моллюсков или когда влажность донных отложений менее 50–60 %. Большинству из вышеперечисленных требований удовлетворяет отборник колонок донных отложений гравитационного типа (рис. 2.4).

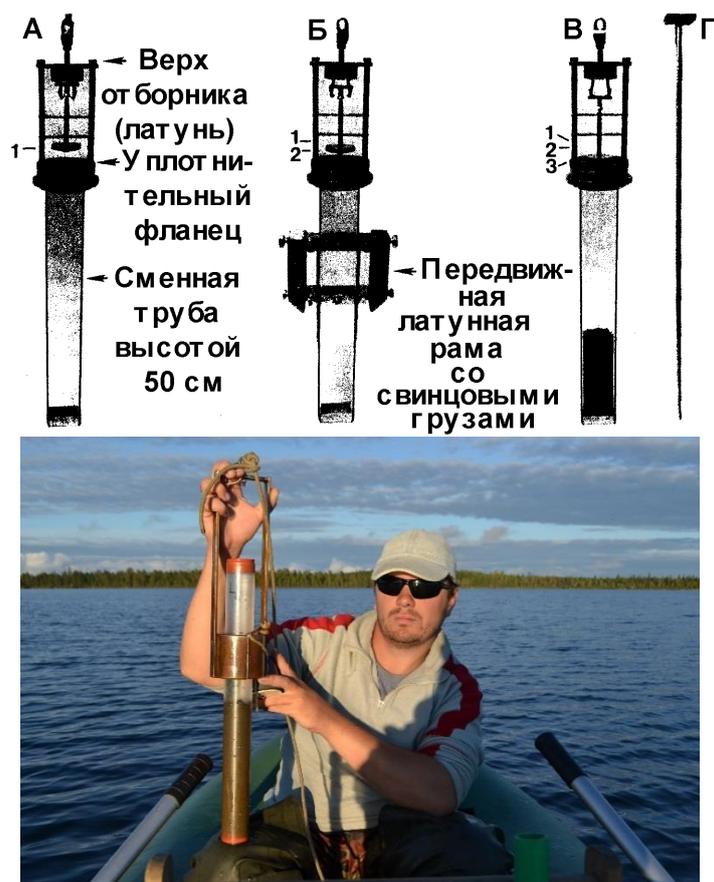


Рис. 2.4. Отборник колонок донных отложений гравитационного типа с клапаном в открытой позиции 1 (А), в открытой позиции 2 (Б) и закрытой позиции 3 (В); Г – извлекающий шток, оборудованный сверху плотно пригнанным диском (Axelsson, Håkanson, 1978)

2.2.2. Планирование сети отбора проб донных отложений

В этом пункте описаны различные типы сети отбора проб донных отложений, их преимущества и недостатки, а также приведены результаты обсуждения седиментологических и статистических факторов, которые определяют итоги разработанной программы исследований донных отложений.

Следует подчеркнуть, что при выборе сети отбора проб необходимо руководствоваться целью исследований. Главной целью большинства программ исследования состояния донных отложений водоемов является получение информации: по характерным для данного водоема средним и медианным значениям; по характеристике территориального распределения исследуемых параметров; по вертикальному распределению элементов и соединений в определенной акватории водоема.

Выделяют следующие системы отбора проб (Håkanson, Jansson, 1983).

Детерминистическая – основанная на какой-то исходной предпосылке, информации или цели. Такая сеть обычно гуще на акватории, представляющей специальный интерес, и реже – на других акваториях.

Стохастическая – основанная на произвольном отборе образцов.

Регулярная система отбора по определенной сетке, которая может быть наложена произвольно или детерминистически на акваторию данного озера.

До сих пор не опубликовано ни одного детального исследования, касающегося оценки вышеперечисленных типов систем отбора проб донных отложений. Регулярная система отбора по определенной сетке имеет определенные преимущества и является наиболее используемой системой. Достаточно просто применять эту систему при изучении как ранее исследованных, так и неисследованных озер. Пример использования такой системы представлен на рис. 2.5.

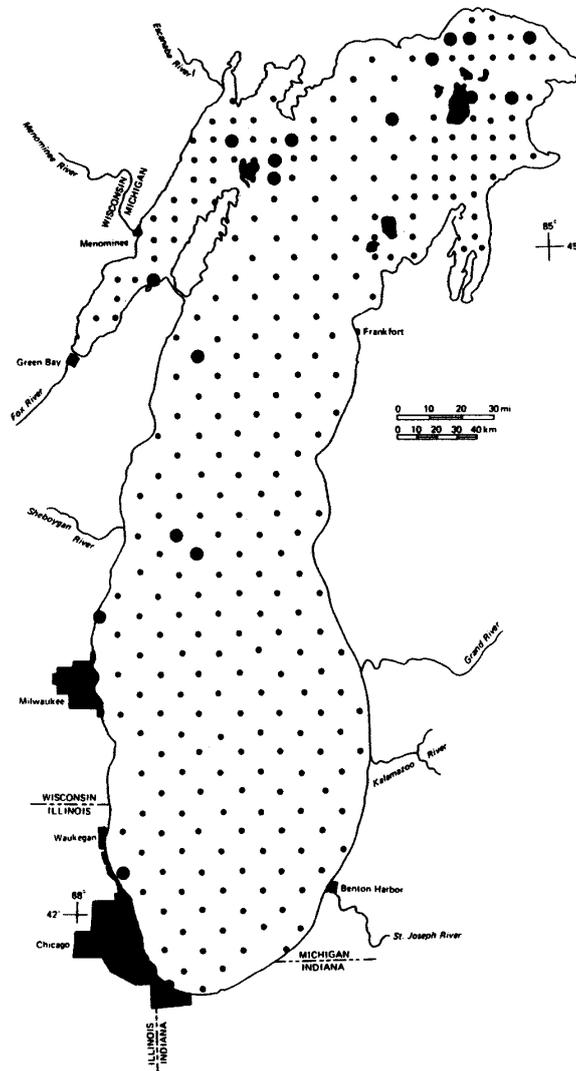


Рис. 2.5. Регулярная система отбора донных отложений по определенной сетке, примененная для оз. Мичиган (Axelsson, Håkanson, 1978)

Одним из главных при исследовании состояния донных отложений водоема является вопрос: сколько образцов и колонок необходимо для выявления реального геоэкологического состояния водоема и обеспечения достоверности полученных данных?

2.2.3. Планирование количества проб донных отложений

На планирование количества проб донных отложений влияют следующие факторы:

1. Водная система. В озерах и водохранилищах с акваториями аккумуляции или без них (например, продолжительное осаждение тонкодисперсного материала), в реках и заливах существуют различные исходные условия.

2. Преобладающая донная динамика (эрозия, транспорт, аккумуляция). Территория эрозии характеризуется твердыми или консолидированными осадками (выходы горных пород, гравий, песок, гляциальные глины). Территория транспорта (прерывистое осаждение частиц мельче среднего ила) часто очень разнородна. Территория аккумуляции почти всегда характеризуется рыхлыми несвязанными донными отложениями, иногда с высоким содержанием загрязняющих веществ.

3. Площадь озера. В больших озерах обычно необходимо отбирать большее количество образцов, чем в мелких, для получения представительной информации.

4. Шероховатость дна водоема (R , безразмерная величина). Для озер с большим значением R требуется большее количество образцов, чем в озерах с ровной поверхностью дна. Значение R для всего озера определяется по формуле (Håkanson, 1981):

$$R = \frac{0.165(l_c + 2) \sum_{i=0}^n l_i}{D_{50} \sqrt{a}}$$

где R – нормализованная шероховатость дна водоема;

l_c – интервал линии контура, м;

l_i – длина данной линии контура, км;

D_{50} – медиана глубины водоема, м;

a – площадь водоема, км²;

n – количество линий контура.

5. Шероховатость формы (R_f , безразмерная величина) может быть использована для количественного сравнения степени топографической шероховатости отдельных акваторий водоема:

$$R_f = \frac{0,165(l_c + 2)\sum_{i=0}^n l_i}{a'}$$

где a' – площадь отдельных акваторий водоема, км².

6. Антропогенный тип и факторы загрязнения. Различные загрязняющие вещества с таких источников часто дают подобную картину распределения веществ (снижение концентраций с увеличением расстояния источника загрязнения), которая отличается от картины распределения незагрязняющих или консервативных параметров, коррелирующих с такими физическими параметрами донных отложений, как влажность и плотность.

7. Физико-химическая обстановка в донных отложениях. Распределение в донных отложениях определенных элементов (P, Fe, Mn) чутко реагирует на изменения величин таких параметров физико-химической обстановки, как pH, Eh (редокс-потенциал), содержание растворенного кислорода в водной толще и донных отложениях. Поведение других элементов, например Pb, в меньшей степени зависит от физико-химической обстановки, хотя резкое изменение этой обстановки может сказаться на содержании и поведении практически всех элементов и соединений.

8. Физическое состояние донных отложений и деятельность живых организмов. Физические параметры (например, влажность, плотность, гранулометрический состав, содержание органического материала, пористость) зависят не только от количества и качества осажденного материала (геологических, геохимических и геоэкологических особенностей территории водосбора), но и в большой степени от деятельности живых организмов, например, от биоперемешивания донных отложений бентосными организмами.

9. Необходимая для корректного анализа масса образцов.

10. Тип сети отбора проб донных отложений (детерминистическая, стохастическая, регулярная сетка и т. д.).

11. Тип оборудования для отбора проб донных отложений, например, возможность отбора ненарушенных колонок донных отложений.

12. Отбор нескольких проб и выполнение нескольких видов анализов для одного образца, пробоподготовка.

13. Достоверность лабораторных анализов.

Все эти факторы влияют на представительность результатов исследований донных отложений. До сих пор не было проведено систематических исследований по определению рационального количества проб донных отложений, которые учитывали бы хотя бы половину из вышперечисленных факторов, поэтому и не существует достоверно установленной и проверенной формулы для расчета количества образцов донных отложений.

2.2.4. Формула количества проб донных отложений

Пока еще не разработана научно обоснованная формула количества образцов донных отложений, описывающая, по крайней мере, главные причинно-следственные связи. Поэтому может быть использована следующая формула, эмпирически выведенная Л. Хокансоном (Håkanson, 1981):

$$n = 2,5 + 0,5 \cdot \sqrt{aF} .$$

Эта формула требует знания только двух стандартных морфометрических параметров: a – площадь водной поверхности, км² (из большого озера необходимо отбирать больше образцов, чем из маленького) и F – береговое развитие, которое используется как косвенный показатель шероховатости дна.

Существует значительная положительная связь между береговым развитием (F) и шероховатостью дна (R) (Håkanson, 1981), которая становится понятной по морфологическим соображениям, поэтому в озерах с высокими значениями F необходимо отбирать больше образцов, чем в озерах со значениями F , близкими к 1.

Береговое развитие

$$F = \frac{l_0}{2\sqrt{\pi A}},$$

где l_0 – нормализованная длина береговой линии, км;

A – общая площадь озера, км² (т. е. площадь водной поверхности a , плюс площадь островов).

Значение F иллюстрирует взаимосвязь между длиной береговой

линии и длиной окружности, у которой площадь круга равна общей площади озера. Совершенно круглый бассейн имеет значение F , равное 1. Значение F больше 10 встречается редко. Для северных озер значение F обычно лежит в пределах от 2 до 4. Эта формула предполагает, что образцы должны покрывать равномерно всю площадь озера, например, согласно редкой определенной (рис. 2.5) или по квадратной сетке (рис. 2.6).

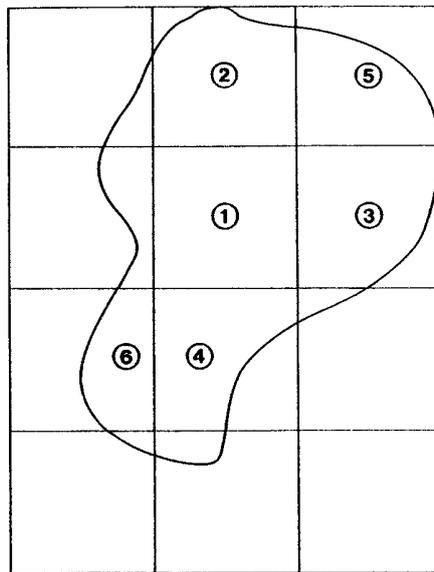


Рис. 2.6. Пример сетки отбора проб при использовании прозрачной палетки с квадратной сеткой, наложенной на карту озера. В данном примере – шесть образцов, распределенных по всей площади озера (Håkanson, Jansson, 1983)

В случае, приведенном на рис. 2.6, допускается, что $F = 2$ и $A = a = 20$, т. е. $n = 2,5 + 0,5 \sqrt{20 \cdot 2} = 5,7$, или, после округления, $n = 6$. Эти шесть образцов должны быть распределены равномерно по всей площади озера. Каждая станция должна представлять около $20/6$, или $3,3 \text{ км}^2$ поверхности, которая соответствует стороне квадратной сетки, равной $\sqrt{3,3} = 1,8 \text{ км}$. В этом примере предполагается, что масштаб карты и размер квадратной сетки приведены в соответствии с исходной предпосылкой. Затем сетка случайным образом накладывается на карту озера. Первое место отбора пробы выбирается в центральном квадрате, который полностью приходится на водную поверхность озера. Остальные места выбираются по убыванию площади, занимаемой квадратом и береговой линией. Необходимо подчеркнуть, что это только один пример систематизированного отбора проб для равномерного покрытия площади

озера сетью станций систематическим и объективным образом. Альтернативные варианты, например, секции или станции, выбранные субъективно без использования квадратной сетки, часто дают очень хороший результат.

Согласно формуле, количество проб должно быть не менее трех на озеро. Очевидно также, что не существует линейной зависимости между количеством образцов (n) и переменными (F и a). Линейная зависимость означает, что 300 образцов в принципе достаточно для озера площадью 100 км², и 3 образца – для озера площадью 1 км². Формула количества проб основана на предположении, что n увеличивается не линейно, как F и a , а в значительно меньшей степени.

На рис. 2.7 формула количества проб изображена графически; из номограммы видно, что n всегда больше 3. Необходимо подчеркнуть, что должно уделяться особое внимание точному определению площади исследуемого водоема.

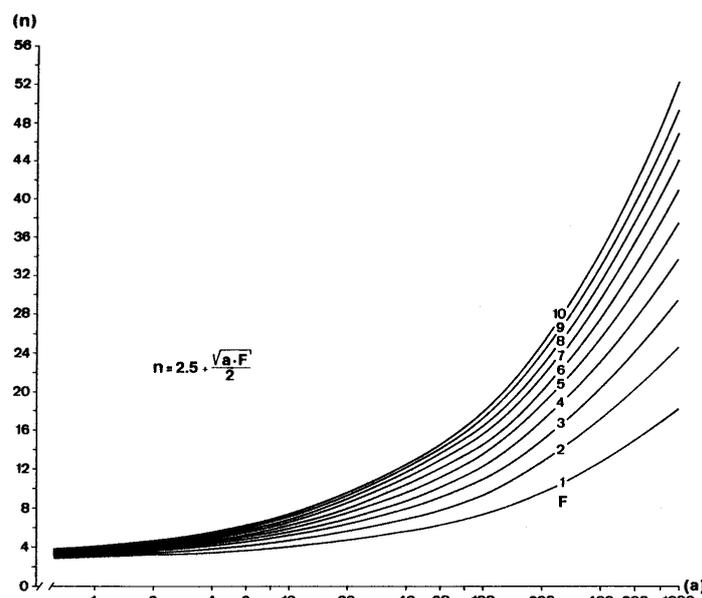


Рис. 2.7. Номограмма-формула количества образцов (Håkanson, Jansson, 1983):
 a – площадь озера, км²; n – количество образцов донных отложений;
 F – береговое развитие

2.2.5. Разделение колонки донных отложений на слои

Методика пробоподготовки донных отложений должна определяться целью исследований, т. е. тем, какие анализы затем будут проводиться. Главная задача – минимизировать время от отбора проб до анализа и обеспечить хранение отобранного материала в подобных условиях до и

после отбора, например, при той же температуре, в эксикаторе, без доступа света и кислорода и т.д.

Общая схема пробоподготовки и проведения анализа донных отложений показана на рис. 2.8.



Рис. 2.8. Общая схема пробоподготовки и проведения анализа донных отложений (Förstner, Wittmann, 1979, с изм. и доп.)

Существуют следующие альтернативные принципы разделения колонки донных отложений на слои.

Единообразное разделение. Образцы отбираются с уровней, определенных до проведения исследований, например, каждый 2-й сантиметр (0–1, 2–3, 4–5 см и т. д.) или 3-сантиметровые слои (0–3, 3–6, 6–9 см и т. д.). Указанный тип разделения не учитывает структуру донных отложений, а это означает, что может быть потеряна важная информация. Единообразное разделение может практически применяться в программах мониторинга окружающей среды или в программах больших территориальных съемок, где недостатки, связанные с потерей важной информации при исследовании конкретного озера, могут

компенсироваться простотой, меньшими материальными затратами и выигрышем во времени.

Структурное разделение. Образцы отбираются согласно видимой структуре донных отложений, их слоистости – сезонной или появившейся в результате смены условий осадконакопления, в том числе и в результате антропогенного влияния. Структурные различия могут быть невидимы до высушивания или рентгеновского анализа образцов.

Разделение на тонкие слои (<1 см) требует специального оборудования, особенно если донные отложения рыхлые, несвязные. Для такого разделения используются различные приспособления, например, *электроосмотический нож* (гильотина). Его принцип действия основан на электроосмотическом поведении глин (Håkanson, Jansson, 1983). Если глины поместить в электрическое поле, то поровые (внутренние) воды потекут к отрицательному электроду. Электроосмотический нож очень простой инструмент, гильотина технически устроена более сложно (рис. 2.9).

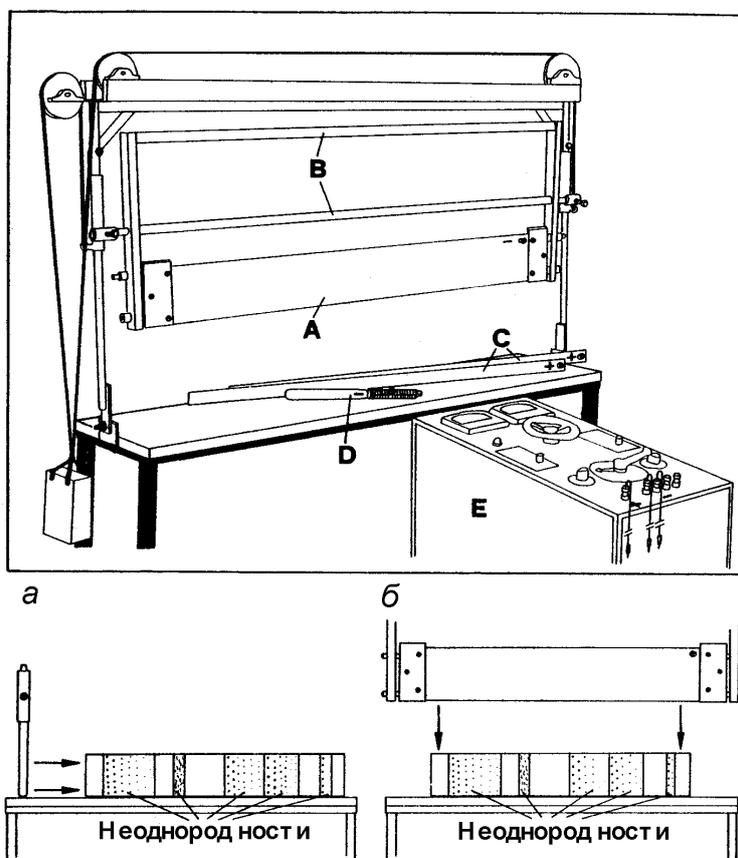


Рис. 2.9. Специальное оборудование для разделения колонки Д на тонкие слои.

Верхний рисунок: электроосмотическая гильотина:

А – режущее лезвие; В – внутренняя рамка; С – положительный электрод;

Д – электроосмотический нож; Е – выпрямитель.

Нижний рисунок: *a* – разрезание колонки донных отложений с помощью электроосмотического ножа, начиная с одного конца (указано стрелками);
б – параллельное разрезание колонки с помощью электроосмотической гильотины
(Håkanson and Jansson, 1983)

Лезвие гильотины служит отрицательным электродом, а лопаточка, помещаемая в колонку донных отложений, – положительным. Электроосмотический эффект создает на лезвии тонкую водную смазочную пленку, которая препятствует слипанию частичек донных отложений. Лезвие хорошо работает с гомогенизированными глинами и рыхлыми, несвязными донными отложениями, которые могут быть быстро разрезаны при напряжении 20–30 В и силе тока 1–3 А. Для песка необходимо большее напряжение – 40–80 В. Электроосмотический нож не может быть применен при исследовании химического состава поровых внутренних вод, поскольку действие положительного заряда электрода приводит к высвобождению ионов металлов.

Приспособление для разрезания колонки донных отложений на тонкие слои, которое представляет собой плексигласовый пенал заданной толщины с отверстием в центре для образца донных отложений (рис. 2.10). Две скользящие покровные пластинки предохраняют разрезаемый образец от воздушного загрязнения.

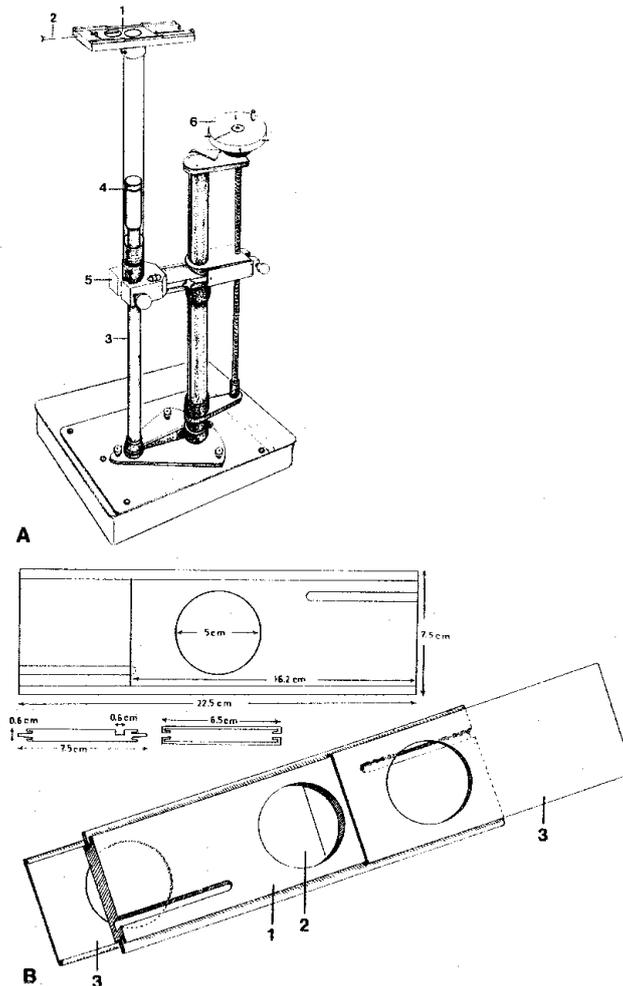


Рис. 2.10. Приспособление для разрезания колонки донных отложений на тонкие слои.

А: 1 – плексигласовый пенал, 2 – кювета; 3 – поршень; 4 – наконечник поршня с уплотнительным кольцом; 5 – зажим; 6 – колесо регулировки усилия вытеснения колонки донных отложений.

В: 1 – плексигласовый пенал; 2 – отверстие для образца; 3 – скользящие покрывные пластинки (Håkanson, Jansson, 1983)

Метод замораживания сухим льдом (Renberg, 1981). Морозильную камеру (рис. 2.11), заполненную сухим льдом и этанолом (спиртом) на тросе опускают в донные отложения, которые примерзают к передней стенке примерно в течение получаса (толщина 2–4 см в зависимости от характера донных отложений). Различия в цвете лучше просматриваются в свежих донных отложениях. Слоистая структура становится более четко выраженной после высушивания в течение 1–2 недель. Когда образец начнет таять, слои легко отделяются с помощью ножа.

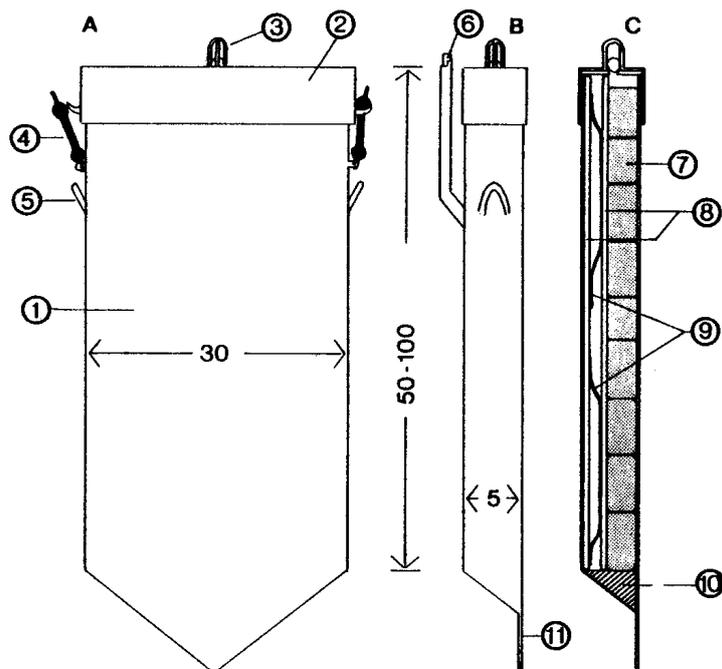


Рис. 2.11. Схематичное изображение морозильной камеры (размеры даны в сантиметрах) (Håkanson, Jansson, 1983).

Вид спереди (А): 1 – панель для намерзания донных отложений; 2 – крышка; 3 – сферический клапан; 4 – резиновые застежки; 5 – ручки. Вид сбоку (В): 6 – патрубок. Разрез вида сбоку (С): 7 – кубики сухого льда; 8 – лоток из двойной фанеры; 9 – пружина, сделанная из стального листа; 10 – свинцовый утяжелитель, 11 – киль

На слои толще 1 см колонка донных отложений в большинстве случаев может быть разделена без использования специального оборудования. Важно, чтобы слои были достаточно тонкими, в противном случае может быть потеряна важная информация. В озерах севера Фенноскандии, например, скорость осадконакопления равна ~ 1 мм/год (Norton et al., 1992, 1996), и, если разделять колонку донных отложений на 3, 5, а тем более 10 см, это будут пробы донных отложений, которые накапливались в течение 30, 50 или 100 лет. Такие пробы не приемлемы для большинства программ по исследованию загрязнения и оценке геоэкологического состояния водных объектов.

В Институте проблем промышленной экологии Севера (ИППЭС) Кольского научного центра РАН для характеристики современной нагрузки загрязняющих веществ на водные объекты во всех исследованиях в качестве стандартного используется верхний сантиметровый слой (0–1 см). Для последующего разделения используются сантиметровые слои. Самые глубокие слои в колонках (обычно в интервале 20–30 см) отражают природные фоновые содержания веществ, так как эти слои образовались

более 200 лет тому назад (Norton et al., 1992, 1996), т. е. до начала индустриального освоения северных регионов.

Для разделения колонки используется извлекающий шток, состоящий из стального прута диаметром 5 мм, на который сверху крепится плотно пригнанный диск (рис. 2.4Г), и цилиндр (т. е. обрезок трубки, из которой изготовлена сама трубка для отбора колонки донных отложений) высотой 20 мм, на который нанесена риска 10 мм. Перед выдавливанием колонки донных отложений из верхней части трубки при помощи силиконового шланга удаляют вышележащую воду. Колонка донных отложений из трубки выдавливается штоком с диском. При этом цилиндром отмеряют 1 см выдвигаемой колонки. Затем отсекателем, изготовленным из пластинки толщиной 1–2 мм из любого полимерного материала (например, полихлорвинила), отрезают поступивший в цилиндр образец и переносят его в полиэтиленовый пакет, если образец будут анализировать на содержание металлов, или в стеклянную, металлическую, фарфоровую посуду, если образец необходимо проанализировать на содержание органических соединений.

2.2.6. Седиментоуловители

Седиментоуловители – это относительно простые устройства, использующиеся в основном для определения потока оседающего на дно водоема материала, который затем служит основой для образования донных отложений, а также в программах мониторинга окружающей среды. Существуют следующие типы седиментоуловителей.

Донные седиментоуловители (рис. 2.12) представляют собой емкости для улавливания осаждающихся частиц и устанавливаются: а) на дне или близко ко дну; б) выше дна водоема, в водной толще.

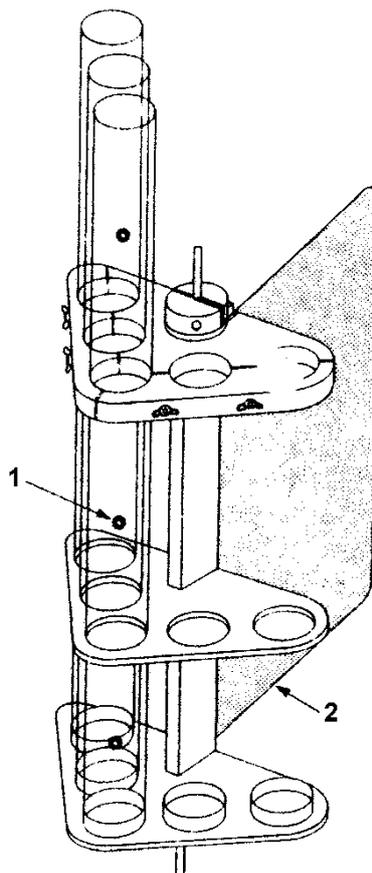


Рис. 2.12. Донный седиментоуловитель с пятью трубками:
1 – дренажные отверстия; 2 – стабилизатор (Håkanson, Jansson, 1983)

Донные седиментоуловители устанавливаются в зонах аккумуляции тонкодисперсного материала, где они позволяют получить информацию о накоплении материала с высокой достоверностью.

Седиментоуловители, прикрепленные к буям, бывают двух видов – заякоренные и свободноплавающие.

Седиментоуловитель представляет собой аппарат с различным количеством емкостей для улавливания осаждающихся частиц, таких, например, как воронка, цилиндр и бутылка. В водоемах существует постоянный вертикальный поток осаждающихся частиц. Скорость вертикального осаждения частиц в несколько раз меньше скорости их горизонтального перемещения. В озерах мелкие частицы оседают очень медленно и под действием силы тяжести заносятся внутрь емкостей седиментоуловителей, где исчезает горизонтальное течение и существуют условия только для вертикального перемещения частиц, что и приводит к осаждению частиц на дно сосуда. Факторами, определяющими осаждение, являются: гидродинамические условия вокруг емкостей (ламинарное или

турбулентное течение), форма емкости и концентрация частиц в емкости.

Наиболее часто используются заякоренные седиментоуловители, прикрепленные к буюм (рис. 2.13). Они устанавливаются на якорь и прикрепляются к тросу, растянутому между якорем и поверхностным или подповерхностным буюм. Подповерхностный буй должен быть помещен на глубину ниже влияния волн. Одна или несколько емкостей прикрепляются к тросу на заданной глубине на раме. Необходимо, чтобы емкость находилась в вертикальном положении, что достигается, например, с помощью стабилизатора.

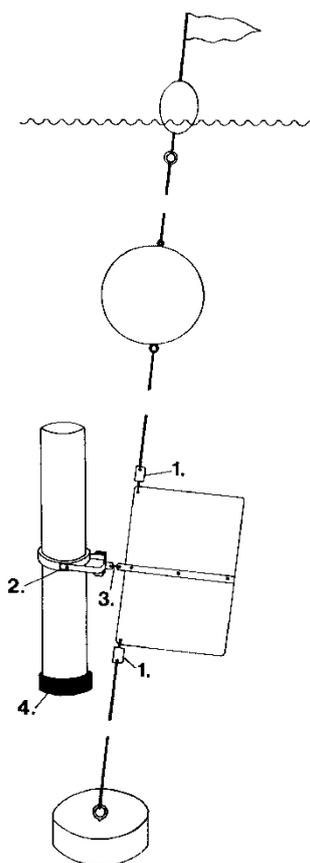


Рис. 2.13. Заякоренный седиментоуловитель, прикрепленный к бую
(Håkanson, Jansson, 1983):

1 – вертлюг; 2 – карданная подвеска; 3 – вращающаяся ось; 4 – утяжелитель

Донные седиментоуловители (рис. 2.12) следует устанавливать в зоне аккумуляции на глубине ниже влияния волн. Обращаться с седиментоуловителями следует очень осторожно. Емкости после подъема седиментоуловителя обязательно проверяются на предмет ненарушенности донных отложений. Если нарушения визуально не наблюдаются (вода над осевшим материалом не мутная), воду над седиментами можно слить через сифон. Если во время подъема седиментоуловителя донные отложения

были нарушены, то образец в целом представляет собой общую массу воды и взвешенных частиц. Даже в тех случаях, когда седиментоуловитель поднят с ненарушенными донными отложениями, существует несколько специфических проблем, связанных с методикой исследования с помощью седиментоуловителей.

1. Проблема сохранения исходных концентраций элементов и веществ, сохранения (консервации) и экспозиции (времени выдержки) накопленного в седиментоуловителе материала. Установлено, что потеря материала за две недели может достигать 10 %. Это касается таких параметров, как сухой вес, содержание углерода, азота, фосфора. Эта потеря материала может расти с увеличением времени выдержки (Håkanson and Jansson, 1983). Проблема сохранности накопленного в седиментоуловителе материала до сих пор полностью не решена. Если время постановки седиментоуловителя менее 10 дней, то сохранения не требуется, если этот срок больше, то могут возникнуть большие проблемы, поскольку для предотвращения потери материала потребуется применение фиксаторов, например, HgCl_2 , NaCl , формалина, люголя и др. Существует, однако, мнение, что следует избегать применения любых фиксаторов.

2. До настоящего времени не решены и, вероятно, еще долгое время не будут решены проблемы, касающиеся расстановки седиментоуловителей, их маркировки, жесткого фиксирования в месте установки. Остаются проблемы и в отношении излишне любознательных людей, которые достают седиментоуловители и тем самым нарушают процесс накопления материала в них.

Последние две проблемы не связаны с методикой и конструкцией седиментоуловителей, с ними приходится сталкиваться при проведении долговременных полевых исследований.

2.2.7. Отбор проб поровых вод

Влажность поверхностных донных отложений находится в пределах от 30 до 50 % в минеральных донных отложениях территории эрозии, а в зонах аккумуляции тонкодисперсного материала с высоким содержанием органики она увеличивается до 95–99 %. Часть воды в донных отложениях входит в состав кристаллической решетки минералов или находится в виде тончайшей пленки, адсорбированной на поверхности частиц донных отложений. Остальная часть составляет мобильную жидкую среду, которая

окружает частицы донных отложений и участвует в обменных процессах между взвешенной и растворенной фазами, между донными отложениями и водной толщей. Отбор и анализ этих так называемых *поровых*, или промежуточных, вод очень важен при исследованиях, касающихся реакций превращения в донных отложениях, и в изучении обмена элементов или соединений через границу раздела вода – донные отложения.

Методы отбора проб поровых вод и растворенных в них веществ из донных отложений подразделяют на три группы: центрифугирование; отжим при высоком давлении, или вакуумная фильтрация; диализ.

Необходимо подчеркнуть, что в зависимости от методики отбора проб можно получить только 25–50 % от общего содержания воды и что результат в отношении химического состава может быть совершенно разным. Кроме того, результаты химического анализа поровых вод зависят, главным образом, от правильной подготовки их к проведению анализа.

Таким образом, характеристика поровых вод определяется методом отбора проб и пробоподготовки, а интерпретация результатов различных исследований и их сравнительный анализ должны быть проведены с соблюдением необходимых предварительных условий.

Как было отмечено выше, существуют следующие методы извлечения поровых вод из донных отложений.

Центрифугирование – один из самых простых методов получения поровых вод. Он используется для быстрой обработки образца, когда требования к точности и сходимости результатов не очень высокие. Центрифугирование часто вызывает перемешивание тонкого взвешенного нерастворимого материала (что, однако, может быть минимизировано последующей фильтрацией) и химические изменения вследствие, например, окисления образца или изменения газового равновесия.

Фильтрация – наиболее часто используемый метод получения образцов поровых вод. Разработано несколько типов лабораторных устройств и приборов для работы *in situ*.

Современное лабораторное оборудование для фильтрации под давлением работает обычно в условиях азотной газовой камеры, что позволяет избежать окисления образца в процессе отделения поровых вод. Материал, отделяемый из донных отложений, определяется пористостью фильтра; для фильтрации поровых вод часто используются мембранные

фильтры с размером пор 0,45 мкм.

Одним из типов оборудования для фильтрации под давлением являются пресс-формы. На рис. 2.14 приведено схематическое изображение пресс-формы, оборудованной впускным отверстием для газа. Высокое давление действует через резиновую мембрану на образец донных отложений, который изолируется от съемной кассеты. Поровые воды вначале проходят через первый грубый вспомогательный фильтр, затем – через тонкий мембранный. Главный недостаток этой пресс-формы – перемешивание проб поровых вод, которое может возникнуть при изменении температуры и давления при транспортировке пробы от водоема до лаборатории. Чтобы минимизировать этот недостаток, отбирают пробы поровых вод *in situ*, для чего обычно используется зонд, внедренный в донные отложения.

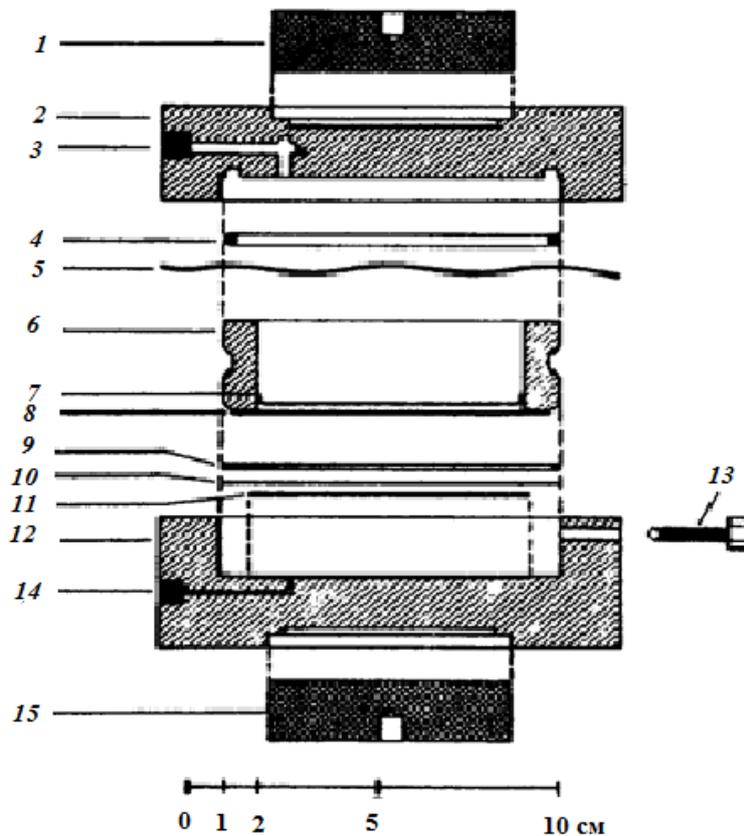


Рис. 2.14. Схематическое изображение пресс-формы для получения проб поровых вод (Håkanson, Jansson, 1983):

1 – верхняя зажимная плита; 2 – крышка; 3 – впускное отверстие для газа; 4 – кольцо; 5 – резиновая диафрагма; 6 – кассета для донных отложений; 7 – первый вспомогательный фильтр; 8 – второй вспомогательный фильтр, наклеенный на кассету эпоксидным клеем; 9 – кольцо; 10 – мембранный фильтр; 11 – удерживающий экран; 12 – база; 13 – один из установочных винтов; 14 – сток поровых вод; 15 – нижняя зажимная плита

Зонд, в котором проба поровых вод поступает в трубку после прохождения через фильтр, показан на рис. 2.15. Давление, необходимое для прохождения поровых вод через фильтр, создается под действием статического давления на дне водоема или при помощи вакуумного оборудования, связанного с отборником. Для предотвращения окисления аппарат заполняется азотом до установки на дно. Аппарат разработан для работы на мелководных акваториях (до 10 м).

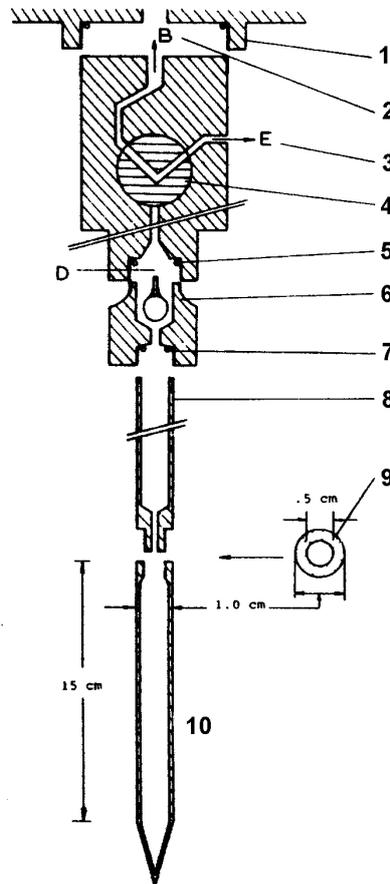


Рис. 2.15. Схематическое изображение отборника проб поровых вод in situ (Håkanson, Jansson, 1983):

1 – корпус с кольцевым сальником; 2В – вакуумная линия корпуса; 3Е – выпуск; 4 – ручной трехнаправляющий вентиль; 5 – кольцевой сальник; 6 – винт, связующий с поплавком; 7 – кольцевой сальник; 8 – трубка, длина которой регулируется в зависимости от изменения глубины внедрения в донные отложения; 9 – фильтр, 10 – трубка

Диализ – основанный на законах диффузии метод очистки коллоидных растворов от примесей веществ, находящихся в состоянии истинного раствора. Диализ осуществляется с помощью мембраны, поры которой проницаемы для молекулярно-растворенных веществ (электролитов), но не пропускают коллоидные частицы. Диализ значительно ускоряется в постоянном электрическом поле и называется в

этом случае электродиализом.

Отборник, основанный на диализе, представляет собой камеру, заполненную дистиллированной водой. Его устанавливают *in situ* на поверхность донных отложений, как показано на рис. 2.16, и оставляют на время, необходимое для достижения равновесия, т. е. до тех пор, пока концентрация растворенных составных частей в камере диализа не станет равной их концентрации в окружающей поровой воде (обычно бывает достаточно одной недели).

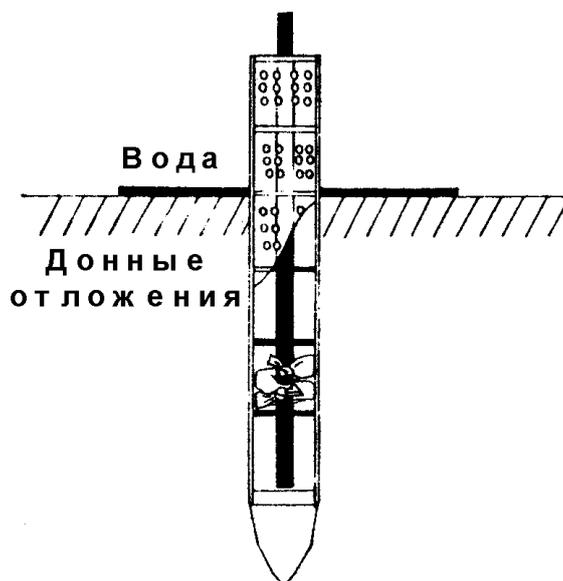


Рис. 2.16. Схематическое изображение отборника проб поровых вод с помощью диализа (Håkanson, Jansson, 1983)

С использованием этого метода можно получить очень чистые образцы, свободные, например, от коллоидного материала. После некоторой модификации отборник можно использовать для отбора растворенных веществ в поровых водах одновременно из нескольких слоев донных отложений. Применение этого метода предпочтительно, если необходимо опробование довольно большого интервала донных отложений, а также при анализе концентрации растворенных газов в поровых водах.

2.2.8. Пример отбора проб поровых вод, взвешенных частиц и донных отложений в оз.Имандра (Кольский полуостров)

В качестве примера можно привести методику отбора проб поровых вод, взвешенных частиц и донных отложений, применявшуюся при комплексном исследовании геохимической миграции элементов в субарктическом оз. Имандра (Моисеенко и др., 1997а, б).

Пробы воды на станции мониторинга оз. Имандра с фиксированной глубины отбирались силиконовыми шлангами с помощью портативного перистальтического насоса фирмы Masterflex[®] в 25-литровые полиэтиленовые контейнеры и транспортировались на биостанцию ИППЭС КНЦ РАН, расположенную в 4 км северо-восточнее от станции отбора проб. Вода фильтровалась в течение одного часа с момента отбора через четыре фильтра фирмы Millipore[®]. Фильтры, имеющие диаметр 142 мм и поры размером 0,45 мкм, устанавливались в полиуглеродный держатель фирмы Geotech[®]. До анализа фильтры хранились в пластиковых контейнерах в холодильнике. Для определения содержания взвешенных частиц пробу воды объемом 1,5 л с каждого уровня фильтровали через фильтры диаметром 46 мм с порами размером 0,45 мкм. После фильтрации воду собирали в полиэтиленовые бутылки фирмы Nalgene[®] объемом 1 л и 60 мл, которые до отбора пробы были обработаны кислотой и дважды ополоснуты озерной водой. Пробы воды до анализа хранились в холодильнике при температуре 4 °С.

Колонки донных отложений на станции мониторинга оз. Имандра взяты отборником колонок донных отложений открытого гравитационного типа (внутренний диаметр 44 мм) с автоматически закрывающейся диафрагмой. Отборник, изготовленный из плексигласа по образцу, разработанному Скогхеймом (Skogheim, 1979), позволил транспортировать колонки в ИППЭС или в расположение полевой базы ненарушенными для дальнейшего послойного разделения. Колонки были разделены на слои по 1 см, помещены в полиэтиленовые контейнеры и отправлены в химико-аналитическую лабораторию, где до анализа они хранились при температуре 4 °С.

Пробы поровых вод из слоев 0–2, 4–6 и 8–10 см отбирались немедленно после подъема специально отобранной колонки донных отложений на поверхность. Поровые воды были отжаты из донных отложений через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм при помощи полиуглеродного держателя фильтров фирмы Millipore[®] и собраны в бутылочки объемом 50 мл фирмы Nalgene[®], которые предварительно были подвергнуты кислотной обработке.

3. МЕТОДИКА ПРОБОПОДГОТОВКИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ К ДИАТОМОВОМУ АНАЛИЗУ

Важнейшим "архивом", содержащим сведения о развитии озерных экосистем, являются донные отложения (ДО), один из наиболее надежных и широко используемых методов изучения которых – диатомовый анализ (ДА) (Диатомовые водоросли..., 1974). Эффективность использования диатомового анализа при оценке современного состояния водоемов обусловлена тем, что диатомовые комплексы, аккумулирующиеся в поверхностном слое донных отложений, представляют интегрированную характеристику состояния водного объекта за определенный период.

В связи с ростом потребностей в данных диатомового анализа, специалистам приходится обрабатывать значительное количество материала (ДО). В настоящее время широко применяется традиционная технология обработки проб (Диатомовый анализ, 1949). Одной из наиболее длительных по времени стадий этой обработки является удаление органической составляющей ДО путем кипячения в сильных окислителях (H_2O_2 , концентрированных кислотах и др.).

Методика, применяемая в ИППЭС, основана на совмещении с подготовкой проб ДО к химическому анализу на содержание различных элементов (Малышева, Денисов, 2007; Косова и др., 2011).

Основные этапы проведения процедуры

Методика обработки проб для диатомового анализа включает комплекс последовательных этапов, целью которых является выделение створок диатомей из вмещающего материала (донных отложений) в максимально чистом виде для последующего заключения в постоянные препараты. Классическая методика (Диатомовый анализ, 1949) включает длительный этап кипячения проб в концентрированных окислителях, причем в ходе процедуры требуется практически постоянное присутствие и контроль специалиста. Новая методика имеет ряд выгодных технологических отличий.

Основные этапы осуществления процедуры сводятся к следующему.

Извлечение органики.

1. Пробы высушить в сушильном шкафу в керамических тиглях при температуре $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ до постоянного веса (в течение ночи) (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Керамические тигли с просушенными пробами в эксикаторе

2. Прокалить пробы в муфельной печи (2 ч при температуре 200 °С, чтобы пробы не запеклись, и 5 ч при температуре 550 °С) до постоянного веса. На этом этапе происходит удаление органических веществ (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Прокаливание проб в муфельной печи

3. Протереть прокаленные пробы донных отложений в яшмовой ступке до однородного состояния, не применяя сильного давления. Песчинки, если возможно, удалить пинцетом, чтобы при растирании не повредить створки (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Яшмовая ступка и пестик для растирания прокаленных проб

4. Навеску прокаленной пробы весом 0,4 г поместить в тефлоновую "бомбу" (рис. 3.4). Оставшийся прокаленный материал хранится в пакетиках из кальки, промаркированных в точном соответствии с данными журнала проб донных отложений на диатомовый анализ (порядковый номер, название водоема, слой, дата отбора, длина колонки, глубина).



Рис. 3.4. Тефлоновая "бомба"

5. Добавить в тефлоновые "бомбы" 1 мл перекиси водорода (30–33 %), оставить прореагировать примерно на 30 мин, затем прилить 3 мл концентрированной HNO_3 .

6. Плотнo закpутить дюралюминиевые крышки и поставить тефлоновые "бомбы" в сушильный шкаф при температуре 140 °C на 4 ч (рис. 3.5). Продолжается процесс удаления органики.



Рис. 3.5. Тефлоновые "бомбы" в сушильном шкафу

7. После остывания содержимого тефлоновой "бомбы" отцентрифугировать пробы в центрифуге при 5000 об/мин в течение 20 мин для осаждения неразложившегося минерального остатка.

8. Автоматической пипеткой аккуратно отобрать надосадочную жидкость. Осадок разбавить деионизированной водой и количественно перенести его в пробирку с притертой крышкой (рис. 3.6).



Рис. 3.6. Осадок из тефлоновых "бомб" в пробирках

9. После полного осаждения слить прозрачную надосадочную жидкость, добавить 10 мл 6%-й перекиси водорода, тщательно перемешать. Операцию повторять до полного прекращения выделения газов из осадка.

Отмучивание. В дальнейшем проводится отмучивание проб для удаления взвешенных минеральных частиц по стандартной методике. Если в пробах не содержится песок, можно использовать другой способ.

Из пробирок слить прозрачную надосадочную жидкость, прилить 10 мл дистиллированной воды, перемешать. Через 4 ч слить примерно 6 мл жидкости, снова прилить дистиллированную воду. Операцию повторять до того момента, когда надосадочная жидкость станет прозрачной.

Заключение в препараты. В дальнейшем полученный материал заключается в постоянные препараты. Для их изготовления используют покровные стекла толщиной не более 0,018–0,020 мм, размером 18×18 мм, после предварительного обезжиривания в спирте. В качестве среды используют канадский бальзам (показатель преломления 1,53) и другие оптические среды. Готовый препарат хранят в кальке, маркируют в точном соответствии с маркировкой пробы (рис. 3.7).



Рис. 3.7. Концентрат диатомовых створок хранится в промаркированных пакетиках из кальки

После предварительного просмотра препаратов, материал переводят в тигли и высушивают в сушильном шкафу при температуре 80 °С, концентрат диатомовых створок взвешивают на аналитических весах, помещают в пакетики из кальки, соблюдая чистоту материала, маркируют в соответствии с данными журнала проб донных отложений на диатомовый анализ, указывают вес.

На всех этапах обработки проб донных отложений нужно соблюдать максимальную осторожность и аккуратность, чтобы гарантировать чистоту проб.

4. МЕТОДЫ ОТБОРА ПРОБ ФИТОПЛАНКТОНА

4.1. Краткая характеристика водорослевых сообществ

Фитопланктон представляет собой альгоценозы (сообщества водорослей), находящиеся во взвешенном состоянии в водной толще. Водоросли – низшие растения, характеризующиеся отсутствием дифференцировки тела на основные органы – стебель, лист и корень, характерные для высших растений. Фитопланктон – первое звено трофической цепи водных объектов, играет значительную роль в мониторинге пресноводных экосистем.

В пресных водоемах европейской части России чаще всего встречаются представители следующих крупных таксономических групп:

Отдел Ochrophyta:

класс Bacillariophyceae – диатомовые водоросли;

класс Chrysophyceae – золотистые водоросли;

класс Xanthophyceae – желто-зеленые водоросли.

Отдел Chlorophyta – зеленые водоросли.

Отдел Cryptophyta – криптофитовые водоросли.

Отдел Charophyta – харовые водоросли.

Отдел Dinophyta – динофитовые водоросли.

Отдел Cyanobacteria – цианобактерии (синезеленые водоросли).

Отдел Euglenozoa:

класс Euglenophyceae – эвгленовые водоросли.

Класс Bacillariophyceae включает около 15 тыс. видов, распространенных в пресных водоемах и морях. Играют большую роль в планктоне, где часто количественно преобладают над всеми другими организмами и вызывают желтоватую окраску воды (диатомовое цветение). Широко распространены в субарктических пресных водах. Диатомовые водоросли представлены одноклеточными и колониальными организмами светло-желтого или бурого цвета. Жесткая оболочка диатомовых состоит из кремнеземного панциря, благодаря которому они хорошо сохраняются в виде ископаемых. Панцирь состоит из двух частей – эпитеки и гипотеки. Эпитека – большая часть – надвигается на гипотеку, как крышка на коробку. Экологически главные места обитания диатомовых – планктон, бентос и перифитон. Диатомовые делятся на два подкласса: центрические (Centricae) и пеннатные (Pennatae). В планктоне

преобладают представители центрических, в бентосе и перифитоне – пениатных. Бентосные диатомовые живут на дне водоемов, населяют илы, песчаные и каменистые грунты, часто образуют обрастания на твердых субстратах.

Класс *Chrysophyceae* включает около 800 видов. Встречаются одноклеточные, колониальные и многоклеточные формы. Хроматофоры окрашены в золотистый цвет. Широко распространены по всему земному шару, часто встречаются в умеренных и высоких широтах. Развиваются преимущественно в чистых пресных водах, особенно характерны для кислых вод сфагновых болот. Максимальное развитие приурочено к холодному периоду гидробиологического лета.

Класс *Xanthophyceae* насчитывает около 600 видов. Желто-зеленые водоросли – преимущественно обитатели чистых пресных водоемов умеренных широт. Желто-зеленые водоросли входят в различные экологические группы – планктон, реже в перифитон и бентос. Подавляющее большинство из них – свободноживущие формы, но встречаются и внутриклеточные симбионты – зооксантеллы в клетках простейших.

Отдел *Chlorophyta* включает около 5700 видов, преимущественно пресноводных. Многие представители зеленых водорослей – колониальные, многоклеточные организмы с хроматофорами яркого зеленого цвета. Колонии представляют собой рыхлое соединение клеток. В одних случаях колонии могут долго нарастать в результате многочисленных делений слагающих их клеток, располагающихся беспорядочно. В других случаях все клетки колонии образуются одновременно из одной производящей клетки и далее в течение всей вегетативной жизни не делятся, а только растут. Такие колонии имеют определенную форму, клетки в них более прочно соединены друг с другом, называются они ценобиями.

Отдел *Cryptophyta* насчитывает около 100 видов. Это одноклеточные водоросли, отличающиеся особым строением клеток: дорсовентральной структурой, наличием глотки, усыпанной специфическими элементами – стрекательными трихоцистами. Клетка снабжена двумя жгутиками почти равными, прикрепленными несколько сбоку апикальной части; одноподъядерная, лишена мембраны, роль которой выполняет поверхностный уплотненный слой протопласта, называемый пелликулой или перипластом.

В клетке два массивных хроматофора в виде согнутой пластинки. Цвет хроматофоров определяется набором фотосинтезирующих пигментов: хлорофиллов "a" и "c" и α , β – каротина, фикоцианина и фикоэритрина. Структура таллома монадная. Тип питания – автотрофный. Продуктом ассимиляции является крахмал, хризоламинарин, растительные масла. Размножаются путем продольного деления клеток в подвижном состоянии. Предпочитают мелкие стоячие водоемы, вода в которых содержит растворимые органические вещества. Иногда зимой в таких водоемах вызывают подледное цветение воды.

Отдел Charophyta включает более 2000 видов. Это формы преимущественно с нитчатым талломом. Нередко таллом вертикальный, расчлененный и несет органы полового размножения сложного строения. Некоторые харовые водоросли достигают высоты 1–2 м, а формой таллома и расположением ветвей напоминают высшие растения – хвощи и роголистники. Клеточные оболочки состоят из целлюлозы, в наружных слоях клеточной стенки откладывается известь. Имеют особенности строения, сближающие их с мохообразными растениями. Одноклеточные формы встречаются в планктоне, особенно широко распространены десмидиевые водоросли (пор. Desmidiaceae).

Отдел Dinophyta объединяет более 2000 видов. Это одноклеточные формы монадной организации с ассиметричными клетками. Редко встречаются коккоидные и трихальные формы. Клетки снабжены двумя жгутиками разной длины. Длинный – с мастигонемами, короткий – гладкий. Хлоропласты содержат хлорофилл "a" и "c". У немногих видов имеется только хлорофилл "a". Имеют желто-бурую и красноватую окраску, реже голубовато-зеленую, что обусловлено дополнительными пигментами: бета-каротином и различными ксантофиллами, из которых главным является перидинин. Главный ассимиляционный продукт – крахмал, который откладывается в виде зерен вне хлоропластов. Наряду с ним накапливаются и маслоподобные вещества. Стенки клеток имеют разнообразные тонкие поры, под ними в мешковидных углублениях находятся трихоцисты – стрекательные структуры. Они выбрасывают при раздражении протеиновые нити через поры. Стенка клетки (тека) у многих динофитовых построена из полигональных целлюлозных щитков, которые образуют панцирь с поперечными и продольными бороздками. На пересечении продольных и поперечных бороздок возникают оба жгутика,

по одному в каждой бороздке. Характеризуются различными типами питания: авто-, миксо- и гетеротрофный.

Плавающие клетки динофитовых способны к вертикальной миграции (миграция в столбе воды в течение суток). Они могут скапливаться на определенной глубине, которая может меняться в течение дня. Обычно скорость этих вертикальных миграций равна 1 м/час. Такое поведение дает им преимущество перед другими неподвижными фитопланктонными организмами, позволяя быстрее реагировать на изменение освещенности и наличие источников питания в среде.

Уникальной особенностью динофитовых водорослей является биолюминесценция. Это тип свечения живых организмов, при котором энергия химических реакций превращается в световую энергию. Она обнаружена примерно у 30 морских фотосинтезирующих видов динофлагеллат. Полагают, что биолюминесценция является приспособлением динофитовых против выедания их беспозвоночными животными.

Вероятно, большинство динофит имеют всесветное распространение. Они найдены в северных, умеренных и южных широтах, но большего развития достигают в теплых водах, где обильны в течение всего года. В умеренных областях динофитовые достигают максимума развития только поздней весной и летом. Как в морях, так и в пресных водах массовому развитию динофлагеллат предшествует массовое развитие диатомей. Среди них известны и криофильные формы, обитающие в снегу и придающие последнему красную окраску. Эпифитных и типично бентосных форм значительно меньше, чем планктонных.

В прибрежных водах в летнее время динофлагелляты составляют основу видового разнообразия фитопланктона и являются кормом для животных-планктонофагов. Некоторые виды развиваются в массовых количествах и вызывают "красные приливы", токсичные для большинства гидробионтов и вызывающие пищевые расстройства и отравления у людей. Во время этого явления накапливается большая биомасса водорослей и их пигменты придают воде коричневатый, розовый или красный цвет. Случаи "красных приливов" описаны еще в Библии. О них во время своих экспедиций упоминали Чарлз Дарвин, капитаны Кук и Ванкувер. По современным данным, "красные" приливы вызываются как токсичными, так и нетоксичными видами. В то же время многие виды

динофитовых формируют токсичные приливы, при которых не происходит изменения окраски воды.

Токсичные приливы, вызванные массовым развитием динофитовых, приводят к отравлению моллюсков и рыб. Такие приливы приносят значительный ущерб хозяйствам, занимающимся разведением морских животных, приводят к массовому отравлению нередко со смертельным исходом у людей, вызывают гибель млекопитающих, птиц и рыб. Водорастворимые или жирорастворимые токсины цитолитического, гепато- или нейротоксичного действия образуют около 60 видов динофлагеллат, большинство из которых фильтруется из воды моллюсками при питании. Токсины накапливаются в моллюсках до уровня, летального для людей и животных, поедающих таких моллюсков. Паралитическое отравление моллюсками – это наиболее широко распространенное заболевание. Токсины группы сакситоксинов образуют представители родов Александриум, Гимнодиниум, Карения и др. Помимо динофит такие токсины образуют синезеленые водоросли и бактерии. Сакситоксины являются сильнодействующими ядами: они в 1000 раз более ядовиты, чем цианистый калий, и в 50 раз сильнее яда кураре.

Отдел Cyanobacteria включает около 1400 видов, преимущественно пресноводных. Цианобактерии обладают полноценным фотосинтетическим аппаратом, характерным для кислородвыделяющих фотосинтетиков. Развиваясь массами летом, вызывают цветение воды. Синезеленые водоросли относятся к прокариотам (безъядерным) организмам. Синезеленые – колониальные и многоклеточные организмы, содержащие хлорофилл, но благодаря наличию дополнительных пигментов они имеют сине-зеленую окраску. Среди пигментов – зеленый хлорофилл, желто-оранжевый каротин, синий фикоциан, красный фикоэритрин. Клетки делятся в одном направлении, в результате получается ряд клеток – трихом. Большое систематическое значение имеет присутствие или отсутствие пограничных клеток или гетероцист. Так называются более крупные клетки желтоватого цвета, лишенные в развитом состоянии живого содержимого. Наличие гетероцист – отличительный признак некоторых семейств. Многие синезеленые положительно реагируют на присутствие азотистых органических соединений и обильно развиваются в местах таких загрязнений. Некоторые

синезеленые водоросли выделяют токсичные вещества – цианотоксины. Некоторые цианеи способны к фиксации азота.

Азотфиксация обеспечивается ферментом нитрогеназой, который отличается высокой чувствительностью к молекулярному кислороду. Поскольку кислород выделяется при фотосинтезе, в эволюции цианобактерий реализованы две стратегии – пространственного и временного разобщения этих процессов. У одноклеточных цианобактерий пик фотосинтетической активности наблюдается в светлое, а пик нитрогеназной активности – в темное время суток. Процесс регулируется генетически на уровне транскрипции, цианобактерии являются единственными прокариотами, у которых доказано существование циркадных ритмов (причем продолжительность суточного цикла может превышать продолжительность жизненного цикла). У нитчатых цианобактерий процесс азотфиксации локализован в специализированных терминально-дифференцированных клетках – гетероцистах, отличающихся толстыми покровами, которые препятствуют проникновению кислорода. При недостатке связанного азота в питательной среде в колонии насчитывается 5–15 % гетероцист.

Особенности фитопланктона Кольского Севера описаны в ряде работ (Шаров, 2004; Денисов, 2010; 2011а, с; 2014; Вандыш и др., 2013; Денисов, Кашулин, 2013; Кашулин и др., 2012; 2013).

4.2. Отбор проб фитопланктона

Благодаря высокой чувствительности к условиям окружающей среды водоросли играют важную роль в биологическом анализе воды. Качество или степень загрязнения воды по составу водорослей оценивается двумя способами:

- 1) по индикаторным водорослям,
- 2) по результатам сравнения структуры сообщества на участках с различной степенью загрязнения и контрольном.

В первом случае по присутствию или отсутствию индикаторных видов или групп и их относительному количеству, пользуясь разработанными системами индикаторных организмов, относят водоем или его участок к определенному классу вод. Во втором случае заключение делают по результатам сопоставления состава водорослей на

разных станциях или участках водоема, в разной мере подверженных загрязнению.

Пункты наблюдений.

Выбор пунктов наблюдений за состоянием растительного планктона проводится в соответствии с общими принципами размещения пунктов наблюдений и контроля в системе мониторинга состояния окружающей среды. Местоположение станций, т. е. пунктов отбора проб на водном объекте, зависит прежде всего от расположения источников загрязнения на его водосборной площади. Отбор проб осуществляется на участках до и после этих источников (крупных населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных комплексов). Количество проб, отбираемых на участке реки, расположенном ниже источника загрязнения, должно значительно превышать количество проб, взятых выше источника.

Учитывая, что влияние промышленных и бытовых стоков на фитопланктон сказывается только через 2–3 сут, по скорости течения реки рассчитывают место размещения станций и створов. Так, при скорости реки у исследуемого пункта в 0,5 м/с первый створ (трансекту) целесообразно заложить через 43 км, второй – через 86 км, а третий – через 130 км, что соответствует расстоянию, пройденному водной массой соответственно за 1, 2, 3 сут.

При исследовании влияния сточных вод в малопроточных или непроточных водоемах трансекты закладываются с учетом ветровых сгонов, так как ветровые течения здесь превосходят склоновые. При работе на озерах и водохранилищах необходимо исследовать устья впадающих рек и наиболее крупных ручьев, а также основные заливы. На крупных водоемах такого типа число станций на трансектах должно быть пропорционально площади обследуемых заливов и плесов.

При работе на водохранилищах, озерах, глубоководных прудах отбор проб осуществляется из слоя, где возможен фотосинтез (из трофогенного слоя), глубина которого равна утроенному значению прозрачности, измеренной по белому диску Секки, например, при прозрачности 5 м глубина составит 15 м. Стандартные горизонты отбора проб: 0, 1, 2,5, 5, 10 и 20 м. Таким образом, на станции с каждого из перечисленных горизонтов (до глубины утроенной прозрачности) отбирают из батометра по 1 л воды, сливают в один сосуд (чистое эмалированное ведро с крышкой), тщательно перемешивают и в зависимости от степени развития фитопланктона,

заполняют полулитровые или литровые бутылки и консервируют. В реках вертикальное распределение фитопланктона относительно равномерное, поэтому отбор проб обычно производят с горизонта 0,2–1 м батометром или простым зачерпыванием определенного объема воды (в зависимости от степени развития фитопланктона 0,2, 0,5 или 1 л).

Для водоемов Субарктики, где степень развития фитопланктона сравнительно невысока, возможно осуществлять отбор фитопланктона планктонной сетью с ячейей менее 20 мкм. При этом вода из батометра, взятая с нужного горизонта, процеживается через сеть, после чего концентрируется в небольших пластиковых баночках объемом 50 мл, где производится консервация материала (рис. 5.6, см. раздел 5, рассказывающий о методах отбора проб зоопланктона). Этот способ позволяет получать пробы со всеми группами планктонных организмов, за исключением нанопланктона, и позволяет в полной мере оценить биологическое разнообразие сообществ. Для оценки вертикального распределения водорослей в водяном столбе можно использовать интервалы глубин, аналогичные зоопланктонным пробам (0–2, 2–5, 5–10, 10–20 м), что позволяет подробнее изучить бедные в отношении фитопланктона глубинные слои воды.

Методы сбора и орудия лова фитопланктона.

Использование планктонной сети представляется наиболее эффективным способом отбора, особенно когда тот или иной вид представлен в незначительном количестве и может быть собран только в результате процеживания большого объема воды. Для выявления видового состава фитопланктона лучше использовать планктонную сеть Джели, изготовленную из очень мелкого (№ 70 и еще больших номеров) мельничного сита шелковой или капроновой нити (рис. 5.1, 5.2). Материал, отобранный сетью, может быть рассмотрен в живом состоянии в полевых условиях.

Одинаково применим для качественного и количественного сбора материала батометрический метод отбора проб фитопланктона. Системы существующих батометров весьма разнообразны. Опыт работы показал, что батометры типа батометра Рутнера (рис. 5.3) ограниченно пригодны для сбора проб фитопланктона, так как, погружаясь в водоем, они своим нижним диском разбивают поверхностную пленку и перемешивают организмы водной толщи в районе действия прибора. Необходимо

пользоваться приборами, у которых при погружении обе створки находятся в вертикальном положении и не мешают вырезанию определенного столба воды, например, 6-литровый гидробиологический батометр (рис. 5.3).

Наиболее прост в изготовлении и удобен в работе батометр А. В. Францева. Его способность вырезать метровый слой жидкости особенно ценна при исследовании вертикального распределения водорослей. При комплексных работах, когда необходимо получить одновременно воду для биологического и химического анализов, следует применять батометры большего рабочего объема. К таким приборам относится планктобатометр ДК (Дьяченко – Кожевниковой), емкость которого у большой модели равна 10, а у малой – 5 л. Еще более удобен батометр Молчанова ГР-18. Он предназначен для взятия проб воды с различных глубин водоема и одновременного измерения температуры воды исследуемого слоя (от 1 до 40 °С). Батометр ГР-18 имеет два цилиндра из органического стекла, емкость которых не менее 4 л.

В быстротекущих водах отбор проб этими приборами осложнен из-за эффекта сноса. Для таких водоемов применяются батометры Жуковского или Фридингера, а также батометр, сконструированный Яагом, Амбюлем и Циммерманом. В воду батометры указанных конструкций опускаются с горизонтально открытыми крышками, вода при этом свободно проходит насквозь.

Этикетирование проб.

Каждая проба снабжается этикеткой, на которой указывается название водного объекта, номер станции, глубина, дата и время отбора. Иногда на этикетке ставится просто номер, который соответствует номеру, записанному в журнале или полевом дневнике. В дневник заносят дополнительные сведения о погоде, температуре, цветности, прозрачности воды, глубине станции, а также визуальные наблюдения о качестве воды. На баночках с фиксированными пробами указывается дата, название водоема, станция, интервал глубин (или глубина) с которой был произведен отбор. Наиболее удобны баночки, снабженные специальным полем для записи. Для нанесения записей на баночках целесообразно использовать водостойкий маркер.

Камеральная обработка фитопланктона. Количественный анализ.

Метод микроскопирования является очень трудоемким, но пока и единственным методом, позволяющим точно определить виды, подсчитать их численность. Для видовой идентификации следует пользоваться определителями. Список определителей, необходимых для работы, приведен в списке литературы*. Определение основной массы организмов фитопланктона следует производить до вида. Это необходимо для выявления организмов-индикаторов, развитие которых, прежде всего, позволяет судить о качестве исследуемых вод. При этом всегда необходимо указывать источник, по которому проведено определение вида. Все определенные виды заносятся в учетный лист, где также ведется подсчет численности обнаруженных видов.

1. Методы подсчета водорослей планктона.

Для подсчета численности водорослей используются счетные камеры. Наиболее применимы камеры Горяева и Нажотта (рис. 4.1).

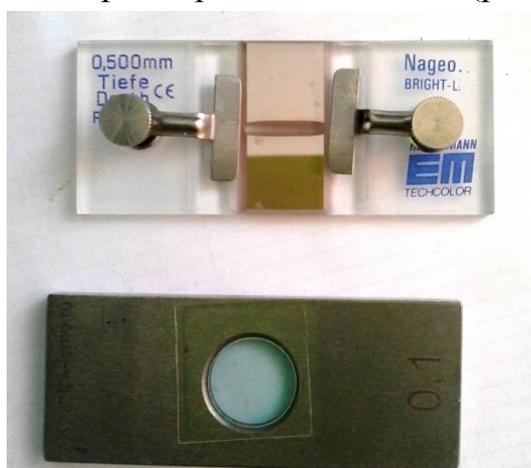


Рис. 4.1. Камеры Нажотта различного типа и объема

Перед счетом пробу тщательно перемешивают и одну каплю вносят в камеру. Очень важно хорошо перемешать пробу, так как этим достигается равномерное распределение водорослей. Это необходимо для уменьшения ошибки выборки, обусловленной тем, что рассчитывается не вся проба, а ее часть. Камеру закрывают покровным стеклом и проводят определение и подсчет всех встреченных водорослей. Из каждой пробы просчитывается 3 камеры с последующим определением среднего арифметического. Подсчет в камере следует вести последовательно, исследуя содержимое полос. За счетную единицу принимается клетка. Подсчитывается количество клеток

* Определение видового состава проводилось по: Определитель пресноводных..., 1951–1986; Tikkanen, 1986; Krammer, Lange-Bertalot, 1986; 1988; 1991a, b; Барينو́ва, Медведева, 1996; Krammer, 2000; 2002; 2003; Lange-Bertalot, 2001.

каждого вида водорослей в каждой камере и отмечается в графе карточки с помощью точек по схеме, представленной на рис. 4.2.

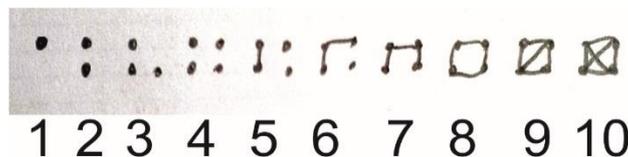


Рис. 4.2. Метод ведения записи при подсчете количества экземпляров

Фитопланктон подсчитывают обычно при объективе с 40-кратным увеличением и окуляре с 10–16-кратным увеличением, важный момент при этом количество подсчитанных полос камеры. К. А. Гусева считает, что в камере объемом 0,06 мл при количестве водорослей несколько сотен и десятков тысяч в 1 мл можно ограничиться подсчетом двух полос из 40 имеющихся в ней, при нескольких тысячах клеток в 1 мл необходимо рассчитать всю камеру. В камере же объемом 0,01 мл только при количестве нескольких сотен тысяч можно подсчитать две полосы, при нескольких десятках тысяч – пять полос и при нескольких тысячах – всю камеру. Г. В. Кузьмин советует рассчитывать каждую пятую полосу указанных камер, а при высокой численности – каждую десятую. Определение численности водорослей лучше проводить в камерах разных объемов. Так, крупные и колониальные формы планктона подсчитывают в камерах большого размера (не менее 0,05–0,1 см³), для остальных видов подходят и более мелкие (0,01 и 0,02 см³) (рис. 4.1).

Пересчет общей численности фитопланктона производится по формуле:

$$N = \frac{nv_1 \cdot 1000}{V_2 V_3},$$

где N – число клеток в 1 л воды исследуемого водного объекта;

n – число клеток, обнаруженных в просчитанных полосах камеры;

v_1 – объем концентрата пробы, см³;

V_2 – объем воды в подсчитанных полосах камеры, см³;

V_3 – объем профильтрованной пробы, см³.

Так, например, если при просмотре 10 мл концентрата пробы объемом 500 мл в 10 полосах камеры Нажотта объемом 0,01 см³ встречено 10 клеток, то в 1 л будет содержаться 80 000 клеток.

Практика показывает, что для оценки видового разнообразия фитопланктона вполне достаточным является даже то количество планктона, которое содержится в одной камере объемом 0,01 см³.

Размеры клеток водорослей могут быть важным систематическим признаком. Клетки измеряют с помощью окуляр-микрометра. Цену делений окуляр-микрометра находят, сопоставляя их с уже известными делениями объект-микрометра. Последний представляет собой предметное стекло с 1-миллиметровой шкалой и единичными делениями ценой 0,01 мм.

Наиболее удобно использование микроскопов, оснащенных цифровой фотокамерой, позволяющей с помощью соответствующего программного обеспечения измерять размеры клеток (рис. 4.3).

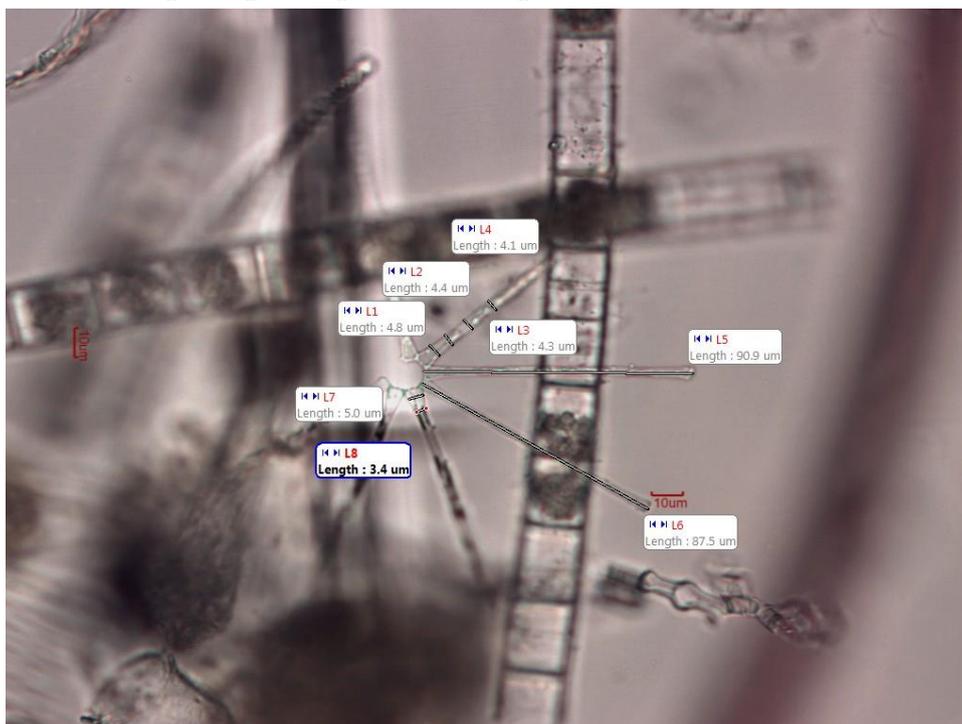


Рис. 4.3. Пример измерений размерных характеристик клеток с помощью микроскопа Motic VA300 с цифровой фотокамерой и программой Motic Image Plus 2.0

Фитопланктон подсчитывают обычно при объективе с 40-кратным увеличением и окуляре с 7-кратным увеличением (можно использовать окуляры и с более сильным увеличением).

2. Методы вычисления биомассы.

В основе вычисления биомассы фитопланктона лежит определение объема клеток различных видов водорослей. Форма клеток приравнивается к близкому геометрическому телу, и по формулам, известным из стереометрии, вычисляют их объем. Плотность (удельный вес) водорослей при расчете биомассы условно принимают равной единице, поэтому общая биомасса фитопланктона численно равна его общему объему.

В литературе имеются таблицы объемов и весов (масс) различных видов планктона для некоторых районов страны, однако распространять эти данные на любые географические районы нельзя в связи с зависимостью размеров клеток от климатической зоны, сезона, типа водоема. Эти данные можно использовать только как ориентировочные.

Большинство массовых видов водорослей имеет форму шара, цилиндра, эллипсоида или двух конусов. Для вычисления объемов этих тел нетрудно составить таблицу формул и постоянно пользоваться ею. Приведем ряд формул для вычисления объема геометрических тел, которым обычно подобны клетки планктонных водорослей.

Шар:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3.$$

Цилиндр с очень маленькой высотой:

$$V = \pi r^2 h.$$

Цилиндр, в основании которого лежит эллипс:

$$V = \pi abh.$$

Эллипсоид:

$$V = \frac{4}{3} \pi abc.$$

Параллелепипед:

$$V = a'b'c'.$$

Клин:

$$V = \frac{(c' + 2b')a'h}{6}.$$

В приведенных формулах приняты следующие обозначения:

r – радиус;

h – высота;

a, b, c – полуоси эллипсоида;

a', b', c' – стороны клина и параллелепипеда.

Несомненно, всякое приравнивание к геометрическим фигурам условно, в связи с чем возможны ошибки в определении объема клеток, а в конечном счете – и биомассы. Поэтому выбранная фигура должна как можно лучше соответствовать форме исследуемой клетки.

3. Методы сгущения и консервации фитопланктона.

Наиболее распространенными методами концентрирования планктона являются седиментация и фильтрация пробы воды через мелкопористые мембранные фильтры. Седиментационный (осадочный или отстойный) метод, предложенный Р. Г. Гринбергом еще в 1915 г. и модифицированный П. И. Усачевым, распространен и в настоящее время. Метод заключается в отстаивании законсервированной исследуемой пробы воды в темном прохладном месте. Объем пробы зависит от степени развития фитопланктона; обычно он составляет 0,5 л, а для олиготрофных водоемов – 1 л. Пробу следует отстаивать не менее 10 дней.

Для фиксации проб отдельными гидробиологами до сих пор применяется формалин, но он разрушает нежные флагеллаты и не ликвидирует газовые вакуоли у синезеленых, что мешает их осаждению. Уже в 1926 г. Усачевым было предложено перейти на фиксацию проб йодистым калием. Были введены в эксплуатацию раствор Люголя и его аналоги. Позднее Утермель рекомендовал рецепт еще одного фиксатора, трех капель которого вполне достаточно для фиксации 100 мл планктонной пробы. На основании этого раствора в Институте биологии внутренних вод РАН разработан фиксатор, состоящий из двух растворов (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Растворы для консервирования проб фитопланктона

Раствор I		Раствор II	
KI	10 г	Хромовая кислота 1 %-я	5 см ³
H ₂ O	50 см ³	Ледяная уксусная кислота	10 см ³
I	5 г	Формалин 40 %-й	80 см ³

Оба раствора сливаются и хранятся в темном месте. При использовании йодных фиксаторов в клетках водорослей хорошо обнаруживаются пиреноиды, жгутики, окрашивается слизь, исчезают вакуоли у большинства имеющих их синезеленых. Наличие формалина в составе консерванта, позволяет хранить пробу длительное время.

Фиксированная проба после отстаивания концентрируется отсасыванием воды с помощью трубки-сифона с загнутым на 2 см вверх концом, затянутым газом № 70-76, или с помощью устройства для автоматического концентрирования фитопланктонных проб. Устройство состоит из двух расположенных на разных уровнях штативов (на верхний штатив устанавливается сосуд с концентрируемой водой, на нижний –

мерный цилиндр, в который отсасывается вода), сифона, трубок и двух вентилях (обычного и соленоидного). Это устройство позволяет создать стандартные условия концентрирования, а также отрегулировать скорость отсасывания воды таким образом, чтобы исключить возможность попадания в фильтрат мелких видов фитопланктона.

После отсасывания остаток пробы в 30–80 мл переливают в склянку (типа аптечной плевательницы). Туда же сливают воду после ополаскивания стенок сосуда, в котором происходило осаждение. Широкое применение в гидробиологии получил метод мембранной фильтрации, который способствует быстрой концентрации проб и дает возможность просматривать фитопланктон в живом состоянии. Отечественное производство мембранных фильтров было начато в 1931–1932 гг. Для сгущения фитопланктона пригодны фильтры № 6 и № 5 с диаметром пор 2–5 и 1,2 мкм соответственно. Фильтр № 6 рекомендуется использовать как предварительный при обильных пробах для ускорения процесса фильтрации, а также для разделения крупно- и мелкомерной фракций фитопланктона. После фильтрации на фильтре № 6 полученный фильтрат, содержащий вторую фракцию, следует пропустить повторно через фильтр № 5.

В 1980-х гг. был налажен выпуск мембранных фильтров "Владипор", из которых для концентрирования фитопланктона пригоден фильтр № 10 с диаметром пор около 1 мкм. В упаковках имеются фильтры-подложки войлочного типа, на которые укладывается сам мембранный фильтр, что предотвращает его разрыв и способствует равномерному распределению осадка.

Сухие фильтры содержат в своих порах воздух, который закупоривает их и затрудняет фильтрацию. Для удаления воздуха фильтры нужно прокипятить в дистиллированной воде в течение 20–30 мин. Воду следует нагревать медленно, а кипячение должно быть спокойным, так как при бурном нагревании и кипячении фильтры скручиваются и становятся непригодными к употреблению. Кроме того, для удаления воздуха из пор фильтров можно рекомендовать длительное содержание фильтров в дистиллированной воде (перед помещением на такое хранение фильтры необходимо несколько раз промыть в дистиллированной воде).

Фильтрацию проводят под вакуумом в воронке с пористым или сетчатым дном, на которое укладывают мембранный фильтр. Воронку

укрепляют на колбе Бунзена, которую через верхний тубус шлангом соединяют с вакуумным насосом. Возможно соединение нескольких воронок одной трубкой или системой гибких шлангов, что позволяет фильтровать сразу несколько проб.

И. М. Балонов предложил портативный прибор, очень удобный в экспедиционных условиях, где колба Бунзена заменена дюралевым стаканом, в котором при транспортировке переворачивается и фиксируется модифицированная фильтрационная воронка из органического стекла. Для создания вакуума он использует насос от мотороллера или велосипеда. Масса прибора вместе с насосом не превышает 1260 г.

Пробу фильтруют до определенного объема, оставляя над фильтром столбик воды высотой 1 см, или до момента, когда воды над осадком уже нет, но фильтр еще остается влажным. Затем планктон осторожно смывают с фильтра мягкой кисточкой и подсчитывают в счетной камере. Желательно сразу после фильтрации посмотреть живой материал, что позволяет не только обнаружить нежные формы водорослей, но и определить общее состояние фитопланктона.

Если нет необходимости просматривать живую пробу, фильтр помещают в пенициллиновую склянку объемом 20 мл, заливают 5–10 мл фильтрата и консервируют до слабо желтого цвета. В этом случае за 30 мин до фильтрации можно провести предварительную консервацию пробы несколькими каплями фиксатора, что предотвратит деформацию водорослей на фильтре, которая может иметь место при фильтрации живой пробы.

Оценка точности осадочного и фильтрационного методов, проведенная К. А. Гусевой, показала, что довольно близкие результаты с отстойным концентрированием получаются только в случае двойной фильтрации пробы. Причина состоит в том, что при обильных пробах только такая двойная фильтрация обеспечивает равномерное распределение отфильтрованных водорослей по площади фильтра. При одноразовой фильтрации происходит сбивание организмов фитопланктона в кучи или даже склеивание их на фильтре. Поэтому результаты подсчета фитопланктона непосредственно на таких фильтрах (особенно при большом увеличении микроскопа) обычно выше результатов, полученных с помощью отстойного (седиментационного) метода.

Несмотря на определенные достоинства метода мембранной фильтрации (это прежде всего возможность анализа живого материала, а также быстрота сгущения проб при малом исходном объеме), многие гидробиологи предпочитают использовать отстойный метод, как более простой и не требующий специальных установок.

Изучать организмы в живом состоянии можно и в случае применения метода центрифугирования, который позволяет быстро осадить водоросли. Однако применять его при количественном учете фитопланктона не следует, так как центрифуга не осаждает синезеленые водоросли, содержащие газовые вакуоли, и организмы с меньшей плотностью, чем вода.

Необходимость в концентрировании проб отпадает, если проба уже была сконцентрирована при отборе с помощью планктонной сети.

4. Оценка биоразнообразия.

Существует несколько путей оценки биоразнообразия, применимых как при работе с фитопланктоном, так и с другими гидробионтами. Одно из направлений – подсчет числа видов, находящихся в пробах, обитающих в данной экосистеме или ее пространственной единице. Видовое разнообразие, выраженное числом видов (или таксонов, включая внутривидовые категории), отражает лишь степень *видового богатства*, то есть числа особей, причисленных к одному таксону, обитающих на анализируемой территории. Число видов не всегда может рассматриваться как критерий биоразнообразия, так как зависит как от особенностей постановки задачи исследования, так и множества разнообразных факторов, связанных с выбором объекта.

Тем не менее, число видов как показатель общего числа организмов, которые могут быть обнаружены в данном местообитании, представляет собой наиболее простой критерий биоразнообразия, который не зависит от численности и соотношения организмов. Видовое богатство, или плотность видов, а также *выравненность*, по мнению Ю. Одума, является одним из компонентов видового разнообразия (Одум, 1975). Выравненность представляет собой показатель, основанный на значимости отдельного таксона. Значимость отражает "участие" вида в сообществах относительно обилии, биомассе положению в структуре доминирования и пр. Формальное определение биоразнообразия было предложено В. К. Шитиковым и Г. С. Розенбергом (2005):

$$R = \Psi[S, \Omega (F_s(p))],$$

где R – биоразнообразие,

Ω – некоторая наиболее подходящая выборочная статистика,

S – множество характеристически обособленных групп,

$F_s(p)$ – выборочная функция распределения изучаемого показателя по этим группам.

Расчетные показатели, получаемые на основе различных формул модификаций мер дисперсии и энтропии, в экологии принято называть *индексами видового разнообразия*.

Индекс Симпсона. Основан на формуле дисперсии, другие названия: мера доминирования, индекс доминирования, концентрация доминирования (Simpson, 1949).

$$D = \sum \left[\frac{n_i (n_i - 1)}{N(N - 1)} \right],$$

где N – сумма фактической значимости всех видов;

n – значимость какого-либо одного вида, например, число особей, биомасса, относительное обилие.

В качестве значимости чаще всего выступает численность экземпляров. По мнению А. Ф. Алимова, индекс Симпсона выражает отношение числа степеней свободы внутривидовых взаимодействий к общему числу степеней свободы внутренних элементов экосистемы, обеспечивающих ее единство и функционирование (Алимов, 2000). Значение данного индекса слабо зависит от числа таксонов, поэтому область его применения ограничена индикацией доминирования. Величина "индекс Симпсона" зависит и от видового богатства, и от равномерности в соотношении обилий разных видов. Индекс Симпсона более чувствителен к изменению обилия самых массовых видов. При постоянном числе видов индекс возрастает с увеличением выравненности в количественном соотношении разных видов, а при постоянной равномерности – с ростом видового богатства. При помощи индекса Симпсона можно количественно оценить равномерность распределения (выравненность) – доля максимально возможной величины D достигается при одинаковой численности всех видов. По сути, этот индекс описывает вероятность принадлежности любых двух особей, случайно отобранных из неопределенно большого сообщества к одному и тому же виду.

Существует тесная связь между индексом Симпсона и дисперсией объема таксонов.

Увеличение индекса Симпсона означает уменьшение разнообразия и рост степени доминирования одного вида, поэтому на практике часто используют модификацию – *обратный индекс Симпсона*, или "индекс полидоминантности":

$$D^{-1} = \frac{1}{D} = \sum_{i=1}^s \frac{1}{p_i^2}.$$

Пример использования индекса Симпсона и индекса полидоминантности представлен на рис. 4.4.

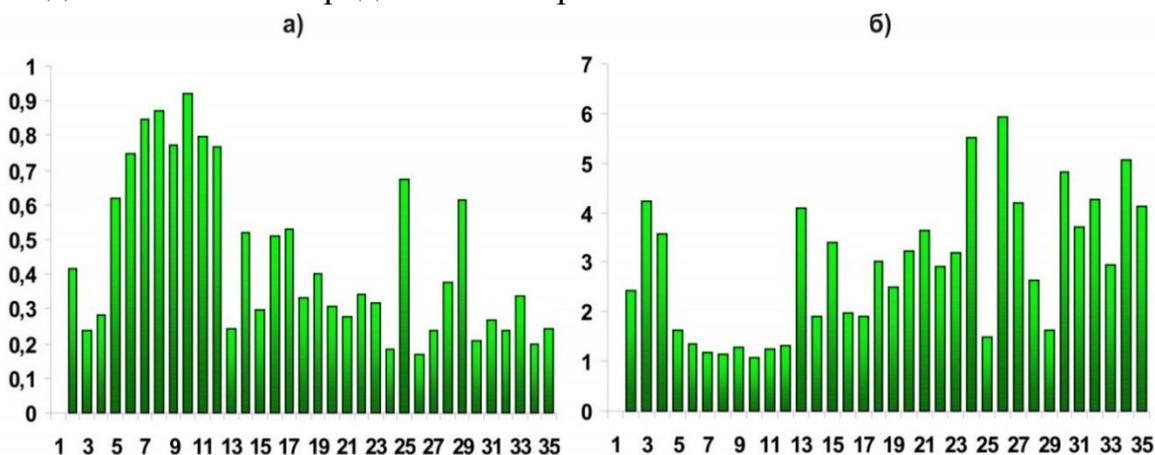


Рис. 4.4. Видовое разнообразие фитопланктона (июль 2012 г.) различных участков оз. Имандра, оцененное с помощью индексов Симпсона (а) и полидоминантности (б)

Индекс Шеннона. В литературе встречается множество названий данного индекса, но в данной работе, вслед за А. Ф. Алимовым (2000), принято название «индекс Шеннона». Это один из самых распространенных и повсеместно применяемых индексов, основанных на формуле энтропии. С точки зрения теории информации интерпретация энтропийного индекса Шеннона состоит в том, что биологическое разнообразие трактуется как приходящееся на одну особь количество информации, заключенной в распределении по видам, особям или энергии по трофическим связям (McArthur, 1971; Алимов, 2000). Для оценки гомогенности распределения и возможности выбора применяется величина энтропии, которая представляет собой количественную меру степени неопределенности исхода случайного опыта, зависящую от распределения плотности вероятностей. Энтропия дискретного множества вероятностей (энтропия дискретной случайной величины, средняя собственная

информация), соответствующая общей неопределенности всех S возможных исходов, определяется по формуле Шеннона:

$$H = -\sum_i^s p_i \cdot \log_a p_i,$$

где $p_i = \frac{x_i}{\sum_{i=1}^n x_i}$ и соответствует числу признаков (например, особей) определенного объекта (например, вида) в выборке (например, в сообществе, в пробе и т. п.);

$p_i \log_a p_i$ – среднее количество информации, приносимое исходом i при многократном осуществлении испытания;

a – основание логарифма, выбранное для оценки величины энтропии (обычно, равное 2 или числу e).

Теоретически H принимает максимальное значение тогда, когда имеет место полная выравненность распределения $\log_2 S$, (где S – общее число объектов (например, видов в сообществе, пробе)), что соответствует наибольшему разнообразию системы, а минимальное равно 0. Значение индекса Шеннона измеряется в битах на экземпляр – бит/экз. Иногда, чтобы не использовать единицу измерения «бит» производится нормирование индекса Шеннона по следующей схеме: H/H_{\max} . В литературе встречается также обозначение индекса Шеннона – H' .

Индекс Шеннона также называется информационным, но следует отметить, что информация о внутренней организации экосистемы, присутствующая в структурах организмов и потоках между этими структурами, не сводится только лишь к разнообразию (Розенберг, 2010). Поэтому этот индекс несет информационную нагрузку для исследователей, но не для экосистемы (Алимов, 2000). Для понимания и оценки информационных процессов и потоков информации в экосистеме, информацию следует рассматривать как характеристику внутренней организации системы, которая проявляется при воздействии объектов и процессов.

Достоинством индекса разнообразия является его полная независимость от биоценотического сходства сравниваемых сообществ и возможность оценки степени разнообразия каждого местообитания (или пробы) в отдельности, так как между числом таксонов и индексом Шеннона существует прямая функциональная связь (Баканов, 2000; Розенберг, 2010). "Индекс почти не зависит от величины пробы и

характеризуется нормальным распределением; это обстоятельство позволяет использовать обычные статистические методы для проверки значимости различий между средним" (Одум, 1986). Если число видов в анализируемом местообитании сравнительно невелико ($S < 30$), то на величину H преимущественно влияет видовое богатство – количество таксонов. С увеличением видового богатства влияние числа видов на величину индекса существенно ослабевает. Это ярко проявляется при анализе сообществ, характеризующихся значительным видовым богатством, например, альгоценозов или комплексов диатомовых водорослей донных отложений, где число таксонов измеряется сотнями.

Величина индекса Шеннона зависит от видовой плотности и выравненности, что позволяет характеризовать его как комплексный индекс, что объясняет его популярность. В то же время по значению индекса Шеннона сложно оценить, что именно определяет биоразнообразие – число таксонов или выравненность. Для расчетов на практике применяют величину численности организмов, или их биомассу.

Индекс Шеннона служит для сравнения биоразнообразия различных экосистем как в пространственном, так и во временном отношении в связи с тем, что значение H само по себе исключает учет каких-либо данных о количестве организмов или их биомассе. Например, можно получить одинаковое значение индекса, сравнивая малочисленные сообщества водорослей в аквариуме с континентальной альгофлорой: одинаковые значения p_i получаются как при больших (2000/10000), так и при малых (2/10) численностях особей. В интерпретациях индекса можно говорить только об относительном характере распределения информационных связей, вещества и энергии по отдельным таксонам, не затрагивая отдельный организм. Поэтому корректность сравнения индексов Шеннона для различных биоценозов определяется примерно одинаковой соразмерностью видового пространства сравниваемых структурных комплексов (Розенберг, 2010). Индекс Шеннона мало "чувствителен" к редким видам.

Индекс Бергера – Паркера – еще один индекс, позволяющий анализировать степень доминирования (Berger, Parker, 1970). В качестве меры гетерогенности выступает относительная значимость наиболее обильного вида:

$$d = \frac{N_{\max}}{N},$$

где N_{\max} – число особей самого обильного таксона;

N – общее число экземпляров.

Индекс выражает относительную значимость наиболее обильного таксона. Увеличение индекса Бергера – Паркера, как и индекса Симпсона, означает уменьшение разнообразия и увеличение степени доминирования одного вида, поэтому на практике часто используется величина, обратная индексу Бергера – Паркера – $1/d$.

Индекс Маргалефа. Важнейшими характеристиками биоразнообразия является видовое богатство (число таксонов), или плотность видов. Число таксонов может быть отнесено к площади (объему) или к числу особей. Р. Маргалефом предложен следующий индекс видового разнообразия (Margalef, 1958):

$$I_{\text{Mgf}} = \frac{1}{Q} \log_2 \frac{Q!}{q_1! \cdot q_2! \cdot \dots \cdot q_N!},$$

где $Q!$ – факториальная величина всех исследуемых видов,

$q_1!, q_2!, \dots, q_N!$ – факториальная величина числа особей какого-либо вида.

Р. Маргалеф, исходя из того, что число видов пропорционально логарифму изученной площади, и считая, что общее число особей пропорционально площади, предложил в качестве меры биоразнообразия следующее соотношение (Margalef, 1958):

$$d = \frac{(s-1)}{\ln N},$$

где s – число видов;

N – число особей.

Достоинство этого индекса – простота расчетов. Большая величина индекса соответствует большему видовому разнообразию.

Индекс Менхиника. Е. Ф. Менхиникк (предложил рассчитывать видовое богатство, используя в знаменателе функцию квадратного корня:

$$d_{\text{Mn}} = \frac{(s-1)}{\sqrt{N}},$$

где s – число видов;

N – число особей.

Индексы Менхиника и Маргалефа отличаются от всех остальных широко используемых индексов тем, что для их расчета применяется абсолютная величина – численность (N), а не относительная – доля i -го

вида (p_i) в сообществе. В результате этого данные индексы очень чувствительны к размеру выборки и точности расчетов. При изучении сообществ организмов, выборки которых могут носить случайный характер (например, водоросли планктона), применение этих индексов для оценки таксономического разнообразия несколько ограничено. Следует отметить, что низкое значение индекса Менхиника характерно для сообществ, где один-два вида обеспечивают более 70 % общей численности.

Представленные индексы видового разнообразия являются широко распространенными в мировой и отечественной экологической практике, их повсеместное применение открывает широкие возможности для сравнительного анализа.

Использование рассмотренных выше индексов при различных экологических исследованиях и для задач биоиндикации во многом обусловлено традицией. Если разнообразие определенных сообществ организмов исторически (в традициях данной научной школы) принято оценивать с помощью определенного индекса (набора индексов), то это же входит в практику будущих исследований. Например, чрезвычайно широкое распространение имеет индекс Шеннона, хотя исследователь не всего может четко объяснить, по каким причинам он использует именно этот критерий оценки таксономического разнообразия, а не какой-либо другой. Использование одних и тех же ставших "традиционными" индексов позволяет проводить сравнительный анализ многолетней динамики биоразнообразия исследуемых групп организмов, сравнение с данными предыдущих исследований, а также сопоставлять видовое разнообразие в различных регионах и местообитаниях. Повсеместное использование одного и того же индекса обуславливает сопоставимость выводов, сделанных разными исследователями при изучении одной группы организмов различных местообитаний. При таком подходе зачастую отсутствует какой-либо творческий поиск новых, может быть, более адекватных критериев оценки биологического разнообразия в угоду "универсальности" и "традиции".

Проблемы при использовании индексов могут быть вызваны отсутствием у исследователя информации о сути, базовых принципах расчета индекса, который в данном случае используется как инструмент, позволяющий получить некую цифру. Выбор индекса для конкретных

задач оценки биоразнообразия должен базироваться на знании принципов расчета и физическом (математическом) смысле используемого показателя с учетом особенностей биологических объектов: сложности структуры сообществ, набора групп организмов, объема выборок, их случайности и пр.

По мнению Г. С. Розенберга (2010), оценка биоразнообразия в пространстве видов в значительной мере является некорректной процедурой в силу того, что при этом не учитывается морфологическое, функциональное, экологическое сходство/различие между самими видами. Каждый вид представляется как изолированный таксон, информационно равно удаленный от всех остальных.

Для расчета индекса Шеннона в качестве эталона принимается экосистема с равными обилиями всех видов, когда данный показатель принимает максимальное значение, что не вполне соответствует структуре реальных природных сообществ и должно учитываться при проведении биоиндикации качества среды на базе данного критерия.

Применение индексов Маргалефа и Менхиника для оценки видового разнообразия сообществ организмов, выборки которых могут носить случайный характер, ограничено. Так, сложно на практике получить репрезентативную выборку планктонных организмов из водоема, ибо их видовое богатство сравнительно велико, а в пробы попадает лишь некий набор таксонов, не всегда отражающий реальную картину видового разнообразия данного водоема. До настоящего времени продолжают споры о методике количественных подходов, необходимом и достаточном количестве биологической информации (числа инвентаризированных таксонов, проб, повторностей) для адекватной оценки биологического разнообразия. Исследователи расходятся во мнениях, сколько, например, следует посчитать клеток водорослей под микроскопом, чтобы этого было достаточно для оценки видового разнообразия.

Исследования в области биологического разнообразия приобретают все большую актуальность. Наиболее разнообразное сообщество является "стратегическим запасом" биологической эволюции, следовательно, количественное определение таких сообществ позволяет обеспечить таким уникальным сообществам охранный статус. Важнейшим направлением количественной оценки является определение доли редких и обильных таксонов, а также их влияния на структуру сообществ в целом; близким

направлением является оценка доминирования видов, в рамках концепции которой используется понятие значимости вида.

Стратегия анализа биологического разнообразия требует, прежде всего, количественной и сравнительной оценки его в природных экосистемах различного уровня. Комплексная оценка всех критериев биоразнообразия позволяет понять степень устойчивости изучаемой экосистемы, уровень антропогенного воздействия на ее структуру, роль и место редких видов растений и животных в данной экосистеме. Перспективным направлением в разработке новых и применении существующих критериев оценки биологического разнообразия является междисциплинарный подход, когда математический аппарат корректно используется в экологических исследованиях.

Исследования сообществ организмов и экосистем на основе математического моделирования показывают, что биоразнообразие является одним из основных критериев их стабильности и устойчивости. Формализация понятия "биоразнообразие" до уровня математического выражения упрощает разработку моделей и их анализ в вычислительном эксперименте, что может служить не только эффективным методом исследования роли биологического образования в эволюции и функционировании экосистем, но и позволяет разрабатывать элементы экологического нормирования для задач мониторинга и оценки качества окружающей среды.

4.3. Подходы оценки качества среды на основе показателей водорослевых сообществ

Формирование водной экосистемы происходит под действием и в результате процессов, протекающих на бассейне водосбора и на протяжении всего русла реки. Даже весьма подробный химический анализ при оценке среды обитания может лишь косвенно указывать факторы, оказывающие влияние на экосистему или являющиеся результатом ее жизнедеятельности. С помощью химических оценок можно определить трофическую базу для развития биоты – формы азота и фосфора, растворенные в воде. Таким образом, мы видим, что для оценки состояния водной экосистемы необходимо знать не только ее гидрохимические параметры, но и параметры ее биотической части (Барина и др., 2006).

При оценке состояния биоты на экосистемном уровне, наряду с интегральными показателями, характеризующими экосистему как самостоятельную единицу иерархической структуры всего живого, довольно часто приходится выделять показатели функциональных элементов, разделяя ее биотическую часть на составные части, такие как продуценты, консументы и редуценты, и нередко в каждой из них отыскивать наиболее чувствительные звенья, по которым можно судить о состоянии всей экосистемы.

На популяционно-биоценотическом уровне для характеристики состояния автотрофного звена экосистемы используются как структурные, так и функциональные показатели. К структурным показателям, характеризующим состояние продуцентов, относятся: число особей, список видов в сообществе, биотическое разнообразие, содержание фотосинтетических пигментов, биомасса и их изменчивость в пространстве и во времени.

Биотическая часть экосистемы организована в виде трофической пирамиды, основу которой составляют первичные продуценты. В водной экосистеме это водоросли, которые дают органическое вещество для формирования второго трофического уровня – беспозвоночных консументов, которые, в свою очередь, являются базисом для рыб – верхнего звена трофической пирамиды в водных объектах (Алимов, 1989).

По состоянию первого трофического звена возможна оценка состояния всей биотической составляющей водной экосистемы. Способность поверхностных вод к самоочищению также определяется эффективностью функционирования биотической составляющей экосистемы. Оценка состояния первого трофического звена возможна с помощью показателей численности и биомассы, биохимического потребления кислорода, насыщенности воды кислородом, прозрачности воды и связанной с прозрачностью первичной продукции, а также индекса сапробности. Эти показатели меняются в экосистеме поверхностных вод закономерно и могут быть проклассифицированы по системе В. Сладечека (Сладечек, 1967; Sladecsek, 1973). Однако монотонность изменения гидрохимических показателей с ростом классности воды не дает возможности выделить какие-либо критические уровни, значения, интервалы, что подтверждает необходимость привлечения показателей, более тесно связанных с биотической частью экосистемы.

Одним из компонентов в оценке состояния водных экосистем является совокупность организмов и результатов проявления их жизнедеятельности. Качество вод по обитающим в них организмам определяется уже в течение сотни лет и метод носит название "биоиндикация". Его следует отличать от биотестирования как метода оценки реакции тест-организма на среду, в которую его поместили.

Наиболее близко к проблеме оценки состояния водных экосистем подошел В. А. Абакумов и коллектив его единомышленников (Абакумов, 1987). Его представления о водной экосистеме включают показатели среды, показатели биоты и данные биоиндикации. Состояние водной экосистемы определяется по соотношению экологического и метаболического прогресса и/или регресса. Видно, что применяемые для оценок четыре комбинации этих показателей охватывают экосистемы в максимальных пределах показателей. Эта система дает только оценки в качественных классах "хорошо"/"плохо", но не дает возможности установить какие-либо пределы или конкретные пороговые величины показателей водной экосистемы, которые можно было бы использовать для разработки новой системы оценки состояния.

По мнению С. С. Бариновой с соавторами (2006), пока не выработано достаточно четкого и схематичного представления о едином механизме функционирования водной экосистемы, а для оценки ее состояния необходимо понимание функционирования экосистемы в целом как взаимозависимого единства среды и обитающей в ней биоты и выявление тех показателей, которые изменяются не монотонно и позволяют определить емкость экосистемы и пределы ее восстановительных способностей.

Биоиндикационные методы на основе видового состава сообществ и обилия водорослей дают интегральную оценку результатов всех природных и антропогенных процессов, протекавших в водном объекте. Кроме того, биоиндикация по сообществам водорослей – дешевый экспресс-метод, в то время как химические анализы дорогостоящи. Преимуществом автотрофов является то, что они первыми в трофической цепи реагируют на загрязнители, не успевая их значительно накапливать. Реакцией на изменение условий среды является изменение состава и обилия водных организмов, причем смена сообщества водорослей может произойти за несколько часов при изменении условий среды.

Экосистемный биоиндикационный подход к оценке качества среды обитания, по существу, аналогичен антропоцентрическому (приоритетному в большинстве западных стран), так как человек реагирует на среду в целом, а не на отдельные ее факторы. Методы биоиндикации по высшему трофическому звену наземных экосистем бассейна водосбора еще недостаточно разработаны.

Самым существенным звеном в методах биоиндикации является видовой состав сообществ водорослей. Система биоиндикации развивалась таким образом, что сначала было замечено появление или исчезновение определенных видов в конкретных условиях среды. То есть, в качестве индикатора условий использовалась система "вид-индикатор: есть/нет". Система развивалась по направлению расширения списка видов-индикаторов, которые позднее стали группироваться по наиболее ярко выраженным характеристикам условий (Барина и др., 2006).

Для оценки степени органического загрязнения водоемов и водотоков в России и странах ближнего зарубежья наиболее широко применяется метод Пантле – Бука (Pantle, Buck, 1955) в модификации Сладечека (1967) по результатам ряда исследований, где проводился сравнительный анализ чувствительности разных индексов (Leynaud, 1975; Lafont, 1988). Расчет индекса органического загрязнения по сообществам водорослей приводится по формуле

$$S = \frac{\sum sh}{\sum h},$$

где S – степень сапробности сообщества водорослей;

s – сапробное значение организма-сапробионта;

h – частота встречаемости сапробионта в пробе.

Сапробные значения водорослей-сапробионтов (s) систематизированы в обновляемой базе данных, созданной проф. С. С. Бариновой с соавторами, которая содержит 7616 записей об экологических характеристиках различных водорослей, включая их отношение к местообитанию, биогеографической приуроченности, галобности, рН, интенсивности водообмена и др.

Частоту встречаемости в баллах можно заменить количественными характеристиками водорослей. Индекс S меняется от 0 до 4, соответствует пяти классам качества вод и четырем зонам самоочищения. Этот

показатель является основным при оценке класса качества воды согласно ГОСТ 17.1.3.07-82 (табл. 4.2).

Таблица 4.2

**Классификация качества воды водоемов и водотоков
по гидробиологическим показателям согласно ГОСТ 17.1.3.07-82**

Класс качества воды	Степень загрязненности воды	По фитопланктону, зоопланктону, перифитону
		Индекс сапробности по Пантле и Букку (в модификации Сладечека)
I	Очень чистые	Менее 100
II	Чистые	1,00-1,50
III	Умеренно загрязненные	1,51-2,50
IV	Загрязненные	2,51-3,50
V	Грязные	3,51-4,00
VI	Очень грязные	Более 4,00

**4.4. Проблематика оценки состояния водных экосистем
на основе альгоценозов**

Можно выделить целый спектр взаимосвязанных проблем оценки качества вод на основе биоиндикации водорослями, представляющих особую актуальность при проведении исследований в условиях Арктики (Денисов, 2011b). Основными из них являются следующие.

1. Разовый отбор проб. В силу различных причин в ходе экспедиционных работ может быть проведен однократный отбор первичного материала в течение сезона. Так как "гидробиологические лето" в северных регионах является очень коротким периодом, то в результате таких разовых отборов можно получить достаточно сложные для анализа данные. Особенно это актуально для малых горных и горно-тундровых водоемов и водотоков.

2. Труднодоступность некоторых районов. В связи с удаленностью исследуемых водоемов от транспортной инфраструктуры, сложностью ландшафтно-географических особенностей территории и пр. на таких объектах крайне затруднены систематические мониторинговые наблюдения, оценка сезонной динамики. Этим продиктована необходимость поиска наиболее информативных биологических критериев

оценки качества вод, которые могут быть получены в ходе однократного сбора материала. Для субарктических озер хорошие результаты для подобных случаев демонстрирует использование показателей диатомовых комплексов верхнего слоя (1 см) донных отложений как интегрирующего суммарного оценочного критерия состояние экосистемы.

3. Сложность учета количественных характеристик. Особенно эта проблема актуальна при количественном анализе сообществ обрастателей. Традиционно считается, что для водотоков наилучшие результаты дает анализ водорослевых сообществ, формирующихся на порогах и перекатах (Комулайнен, 2003). В то же время в отдельных случаях фитоперифитон может быть крайне неравномерно распределен по субстрату: на одном и том же порожистом участке могут быть существенные отличия как по структуре и мощности оброста, так и по видовому составу. Это в значительной степени затрудняет как оценку покрытия (%), так и учет количества (или биомассы) водорослей на единицу площади. Практически невозможно сделать выводы о количестве фитоперифитона, развивающегося в реках, где отсутствуют порожистые участки. В этом случае основным типом субстрата являются погруженные части прибрежной растительности, где, как правило, формируются неплотные обрастания, количество которых напрямую зависит от динамики скорости течения и уровня воды. Особенно это актуально для малых северо-таежных рек Кольского полуострова, текущих по заболоченной территории. Еще более сложные ситуации возникают при количественной оценке литорального фитоперифитона озер. Водоросли литорали могут различаться в различных ее участках в зависимости от степени развития береговой линии, особенностей субстрата, впадающих водотоков и пр.

4. Сложность анализа системы регулирующих факторов. Водорослевые сообщества, как одни из самых чувствительных биоиндикаторов, способны реагировать даже на незначительные изменения в системе регулирующих состояние экосистемы факторов, при этом выделение основных лимитирующих условий представляется непростой задачей. В настоящее время для водоемов Евро-Арктического региона зафиксированы явления, причины которых не очевидны. Так, впервые были зарегистрированы эффекты массового развития нитчатых зеленых водорослей с последующей вспышкой численности зоопланктона

в субарктических горных ультраолиготрофных озерах (Хибинский горный массив). Массовые виды водорослей перифитона, обитающие в реках Хибин (*Zygnema sp.*, *Oedogonium sp.*, *Spirogyra sp.*, *Draparnaldia mutabilis* (Roth) Bory de Saint-Vincent), активно развивались в толще воды, не прикрепляясь к субстрату. Это явление было отмечено не только в озерах, в питающих реках которых развиваются нитчатые водоросли указанных видов, но и в непроточных озерах, расположенных в ледниковых карах на высоте около 400 м над ур. м.

Переход обрастателей в планктон зачастую является свидетельством эвтрофирования водоема. В то же время отмеченные таксоны были типичными представителями субарктической альгофлоры, которые предпочитают холодноводные олиго- и ультраолиготрофные условия, низкие значения минерализации, высокое содержание кислорода. Массовое развитие водорослей привело к увеличению численности и биомассы зоопланктона, что является важным фактором формирования кормовой базы рыб, особенно перед периодом ледостава и нерестом некоторых видов рыб (арктический голец). Анализ гидрохимических параметров разнотипных водоемов Хибин, не подверженных непосредственному антропогенному загрязнению, показал, что содержание нитратов в горных озерах может резко различаться в разное время. В норме содержание NO_3 в этих озерах составляет 8–40 мкгN/л, но в отдельные кратковременные периоды может достигать 220–290 мкгN/л, что, скорее всего, обусловлено аэротехногенным загрязнением региона. Подобные явления, вероятно, требуют определенного пересмотра существующих представлений о функционировании и продукционных особенностях субарктических водоемов, а также методических подходов к их исследованиям. В то же время подобные явления, наряду с массовым цветением цианопрокариот при антропогенном эвтрофировании северных водоемов, свидетельствуют о глобальных масштабах происходящих изменений.

5. Отсутствие комплексности в исследованиях. Корректная оценка состояния водных экосистем на основе биоиндикации водорослевыми сообществами возможна только при сравнительном анализе полученных данных с результатами других исследований. В идеальном случае это должны быть результаты биоиндикации другими группами организмов (зоопланктон, бентос, ихтиофауна и др.) гидрохимического анализа,

метеорологических данных. Хорошие результаты дает сопоставление результатов биоиндикации водорослевыми сообществами с данными палеоэкологических реконструкций на основе диатомового анализа.

6. Критерии оценки качества среды. Наиболее сложная проблема – выбор и использование для анализа информативных и показательных критериев. Не всегда использование существующих стандартов и нормативов дает корректные результаты. В рамках реализации программ мониторинга состояния окружающей среды при проведении инженерно-экологических изысканий, процедуры ОВОС и др., для оценки качества вод по гидробиологическим показателям используются нормативы, закрепленные ГОСТ 17.1.3.07-82 и ряд других нормативных документов. Для определения качества вод и степени их загрязнения рекомендован индекс сапробности (S). По опыту исследования водоемов, развивающихся под воздействием сложного комплекса факторов, сочетающих эвтрофирование и токсическую нагрузку, можно утверждать, что индексы сапробности, рассчитанные по водорослевым сообществам, могут принимать сравнительно низкие значения (0,8–1,2) даже в непосредственной близости от источников доступных биогенных элементов, например, городских очистных сооружений. На современном этапе, очевидно, требуется не только отбирать и использовать для оценки состояния водных экосистем определенный набор показателей, применимых для исследуемого водного объекта, но и разрабатывать новые и адаптировать существующие критерии оценки.

5. МЕТОДЫ ОТБОРА ПРОБ ЗООПЛАНКТОНА

Индикаторной роли зоопланктона как системы биоценотического уровня дается оценка в диагностике состояния озерных экосистем, которая может использоваться в разработке и решении актуальных проблем современной лимнологии и гидробиологии – для типизации водоемов, диагностического мониторинга и экологического прогнозирования.

Зоопланктон играет важную роль в процессах самоочищения и формирования качества воды. Изменения в сообществах имеют немалое значение и отражают особенности динамики качества воды и эколого-санитарного состояния водоема в целом. Ответная реакция сообществ на загрязнение водной среды определяется многочисленными факторами, в частности, природно-климатическими условиями, интенсивностью и составом поступающих в водоем загрязняющих веществ (Яковлев, 1998).

Одной из важных функций зоопланктона является его участие в процессах самоочищения. Основная роль принадлежит организмам-фильтраторам, изымающим из толщи огромное количество взвешенного органического вещества (ВОВ) и действующим, таким образом, как естественный биофильтр. Морфофункциональные особенности фильтрационного аппарата ракообразных позволяют условно разделить их на "тонких" и "грубых" фильтраторов, использующих в пищу взвеси различных размерных фракций.

Эвтрофирование водоема приводит к снижению фильтрационной активности первичных консументов. Наиболее чувствительная к эвтрофированию группа *Calanoida* является активным фильтратором, способным изымать крупные частицы ВОВ. Роль коловраток как естественного биофильтра по своей мощности не сравнима с ракообразными, отсюда в целом интенсивность процесса самоочищения за счет функционирования зоопланктона в высокопродуктивных водоемах уменьшается.

5.1. Понятие зоопланктонного сообщества

Термин "планктон" в научный язык ввел немецкий физиолог В. Гензен в 1887 г. со следующей трактовкой: "все, что в воде носимо, наверху или в глубине, мертвое или живое". Позднее термин "планктон»

ученый определял как "все то, что пассивно дрейфует, не имея силы ускользнуть от улова сетью".

Сообщество – это совокупность совместно обитающих организмов разных видов, представляющих собой определенное экологическое единство. Сообщество характеризуется количественным развитием (биомасса, продукция) и упорядоченностью строения – структурой (Биологический..., 1986). С позиций экологии сообщество можно рассматривать как биологическую систему, находящуюся на более высоком иерархическом уровне, чем популяция (Одум, 1986).

Зоопланктонное сообщество – это совокупность беспозвоночных животных, населяющих толщу воды. Как и любое сообщество экосистемы, оно характеризуется постоянством видового состава, динамической устойчивостью, определенной организацией.

Роль зоопланктона заключается в участии в трансформации энергии и биотическом круговороте веществ, определяющих продуктивность водоемов. Организмы зоопланктона – преимущественно микроскопические формы.

В зависимости от линейных размеров пресноводный планктон принято делить на следующие группы:

1) мезопланктон – наиболее крупные организмы, видимые невооруженным глазом, их размеры достигают нескольких миллиметров (большинство представителей подотряда Calanoida; многие представители подотряда Cyclopoida: *Eucyclops serrulatus*, *Cyclops scutifer*, *C. strenuous*, *Acanthocyclops gigas* и др.; крупные представители подотряда Cladocera: роды *Sida*, *Limnospira*, некоторые виды из родов *Daphnia*, *Bythotrephes* и др.);

2) микропланктон – организмы микроскопические, их размеры от 50 до 1000 мкм (*Mesocyclops oithonoides*, науплиальные стадии отряда Copepoda, многие представители подотряда Cladocera: роды *Chydorus*, *Alona*, *Alonella*, большинство из рода *Bosmina* и др.);

3) наннопланктон – организмы, длина тела которых меньше 50 мкм (мелкие формы класса Rotatoria, представители родов *Ascomorpha*, *Colurella*;

4) ультрапланктон – крайне мелкие организмы размером менее 20 мкм.

Зоопланктон пресных вод представлен в основном простейшими (тип Protozoa), коловратками (класс Rotatoria) и ракообразными (класс Crustacea), включающими ветвистоусых (отряд Cladocera) и веслоногих (отряд Copepoda) раков. Эти же таксоны беспозвоночных присутствуют и в бентосе, но из-за специфики общепринятого отбора бентосных проб коловратки в донных сообществах, как правило, не учитываются. Большинство видов ракообразных обитают и в водной толще, являясь составляющей частью зоопланктона, и на дне водоемов, в бентосе. Так большинство каляноид (Calanoida, Copepoda) в течение всей жизни, кроме стадии покоящихся яиц, ведет планктонный образ жизни; циклопы (Cyclopida, Copepoda) населяют и водную толщу, и являются компонентом микрозообентоса; гарпактициды (Harpacticoida, Copepoda) считаются исключительно бентическими животными, но достаточно часто встречаются в планктоне. Поэтому, если речь идет о биоразнообразии зоопланктонных организмов и их изученности, подразумевается разнообразие и изученность планктонных и бентосных коловраток, ветвистоусых и веслоногих раков.

5.2. Структурные показатели зоопланктонного сообщества

На основе литературных и собственных данных составлены сводные таблицы структурных и функциональных показателей зоопланктона (табл. 5.1). Для разных типов структуры эта основа оказалась не одинаковой, различия были в числе рассматриваемых показателей и функциональных характеристик.

Таблица 5.1

Показатели структуры зоопланктоценозов (по И. Н. Андрониковой, 1996)

Символы, формализация	Содержание
I. Тип структуры: таксономическая, размерная. Характеристика структуры: статистическая	
V	Число доминант (встречаемость)
I_p	Индекс плотности
I_d	Индекс доминантности
P_K	Популяционный коэффициент
n_i/N	Функция рангового распределения
N, B для Cladocera: Copepoda: Rotatoria	Соотношения количественных показателей основных таксономических групп
N_{Clad}/N_{Cop}	Отношение численности Cladocera и

	Copepoda
B_{Cycl}/B_{Cal}	Отношение биомасс Cyclopoida и Calanoida
B_{Cr}/B_{Rot}	Отношение биомасс Crustacea и Rotatoria
$H_{\text{бит}} = -\sum_{i=1}^s \frac{N_i}{N} \log_2 \frac{N_i}{N}$	Информационный индекс видового (таксономического) разнообразия по численности
$H_{\text{бит}} = -\sum_{i=1}^s \frac{B_i}{B} \log_2 \frac{B_i}{B}$	Информационный индекс видового (таксономического) разнообразия по биомассе
$D' = \frac{S-1}{\ln N}$	Информационный индекс видового (таксономического) разнообразия по численности
$E = \frac{K(x+1)}{(A+V)(y+1)}$	Коэффициент трофии
E/O	Показатель трофии
$Q_{B/T}$	Отношение числа видов рода <i>Brachionus</i> к числу видов рода <i>Trichocerca</i>
N_j/N_{tot}	Доля молоди в общей величине численности
$N_{L1}:N_{L2}:N_{L3}: \dots : N_{Lad}$	Соотношение размерно-возрастных групп
$\bar{w} = \frac{B}{N}$	Средняя индивидуальная масса зоопланктона в сообществе
II. Тип структуры: сезонная, пространственная. Характеристика структуры: динамическая (перераспределение вещества и энергии, заключенных в зоопланктоне, в годовом лимнологическом цикле)	
N, B	Сезонная динамика численности и биомассы
$N_{\text{max}}/N_{\text{min}}$	Внутригодовые колебания численности
$B_{\text{летн}}/B_{\text{зимн}}$	Внутригодовые колебания биомассы
$\log \frac{1}{B_{\text{летн}}/B_{\text{зимн}}}$	Логарифмическое выражение амплитуды внутригодовых показателей биомассы
$D = \frac{\sigma^2}{m}$	Коэффициент дисперсии
$\frac{m^*}{m}$, где $m^* = m + \frac{\sigma^2}{m} - 1$	Индекс "пятнистости"
$K_A = \frac{\bar{m}}{m^*}$ или $K_A = \frac{\sigma^2 - \bar{m}^2}{m^2 + \sigma^2 - m}$	Коэффициент агрегированности
$C = \frac{\sigma^2 - \bar{m}^2}{\bar{m}^2}$	Индекс агрегированности
N, B	Изопланкты численности или биомассы Графическое изображение сезонных пространственных миграций
III. Тип структуры: трофическая. Характеристика структуры: функциональная (результат потоков энергии)	

в пищевых цепях)	
C, P	Качественная схема трофических связей
$\sigma^2 = \frac{\sum \left(b - \frac{100}{n} \right)^2}{n}$	Дисперсия значений биомассы отдельных пищевых группировок (характеризует сложность трофической структуры биоценоза)
$\text{ИО} = \frac{\sigma_i^2}{\sigma_{\min}^2}$	Индекс однообразия пищевой структуры
$H_{\text{бит}} = - \sum_{i=1}^s \frac{C_i}{C} \log_2 \frac{C_i}{C}$	Информационный индекс трофического разнообразия
$B_3/B_2, P_n/P_{n-1}$	Соотношение величин биомассы и продукции смежных трофических уровней
$C_2, C_3, C_i/C_2, C_i/C_3, C_i/P_1, C_3/P_2$ или C_n/P_{n-1}	Величина трофических ниш: рационы смежных трофических уровней; доля рационов различных экологических групп (C) в общей величине рациона определенного трофического уровня; отношение рационов n-го трофического уровня к продукции (n-1)-го трофического уровня
C_2/P_z	Эффективность использования поступившей в сообщество энергии по отношению к чистой продукции сообщества
Интегральные показатели	
$Z = 1 - \frac{D \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)}{\sum_{i=1}^n (D(X_i))^2}$	Коэффициент компенсации, оценивающий стабильность сообщества по структурным показателям N и B
R_z/B_z	Оценка энергии, необходимой для поддержания структуры системы, т. е. энергии, заключенной в единице биомассы
$S = \frac{\sum_i S_i}{N}, S_i = \frac{\sum_1^n \left(\frac{\sum k_j}{n} \right)}{\sum k_j}$	Индекс стабильности
$V_i = \frac{S_i}{x_i}$	Индекс вариабельности

5.3. Показатели таксономической (видовой) структуры

Видовая структура – это набор видов и количество особей каждого вида, слагающих сообщества (по определению А. П. Левича (1980)). Ее можно рассматривать как своеобразную систему отсчета, так как по

изменениям в численности видов можно судить о проявлениях многообразных факторов, определяющих жизнь сообщества.

Список видового состава – то, с чего начинается анализ структурной организованности сообщества.

Благодаря выявленным видам-индикаторам можно получить информацию о типе водоема даже с неполным видовым составом зоопланктона (табл. 5.2). Виды-индикаторы степени сапробности, могут быть использованы для определения трофического статуса водоема, например, ксеноолигосапробные виды являются индикаторами олиготрофных условий, β - и α -мезосапробные – индикаторами процессов эвтрофикации. Исследования озерного зоопланктона в течение длительного периода позволяют выделить виды-индикаторы трофического типа водоемов.

Таблица 5.2

Виды-индикаторы озер разных трофических типов

Олиготрофный тип	Эвтрофный тип
<i>Asplanchna herricki</i>	<i>Pod Brachionus</i>
<i>Synchaeta grandis</i>	<i>Brachionus diversicornis</i>
<i>Ploesoma hudsoni</i>	<i>Anuraeopsis fissa</i>
<i>Conochilus hippocrepis</i>	<i>Hexarthra mira</i>
<i>Gastropus stylifer</i>	<i>Polyarthra euryptera</i>
<i>Limnosida frontosa</i>	<i>Filinia longiseta</i>
<i>Holopedium gibberum</i>	<i>Keratella quadrata</i>
<i>Daphnia longispina</i>	<i>Keratella cochlearis tecta</i>
<i>Daphnia hyaline</i>	<i>Trichocerca cylindrical</i>
<i>Bosmina longispina</i>	<i>Pompholyx sulcata</i>
<i>Bosmina obtusirostris lacustris</i>	<i>Daphnia pulex</i>
<i>Bythotrephes longimanus</i>	<i>Daphnia cucullata</i>
<i>Bythotrephes cederstroemii</i>	<i>Ceriodaphnia pulchella</i>
<i>Limnocalanus macrurus</i>	<i>Bosmina longirostris</i>
<i>Heterocope appendiculata</i>	<i>Bosmina coregoni thersites</i>
<i>Cyclops abyssorum</i>	<i>Chydorus sphaericus</i>
<i>Cyclops scutifer</i>	<i>Cyclops kolensis</i>
	<i>Cyclops strenuus</i>
	<i>Mesocyclops crassus</i>

На этапе изучения характеристик организации планктонного сообщества важно выделить доминирующие или структурообразующие виды. Критериями являются следующие показатели встречаемости организмов в пробах:

- доминанты – выше 50 %;

- субдоминанты – 25–50 %;
- редкие или случайные виды – менее 25 %.

Далее при оценке доминирующий вид составляет более 20 % от общей численности (или биомассы), обильный – 15–20 %, вид, встречаемость которого средняя, – 10–15 %, малая – 5–10 %, редкая – менее 5 % (Хаберман, 1978).

Для оценки видовой структуры используются показатели встречаемости (V , %), индекс плотности (I_p), индекс доминантности (I_d), популяционный коэффициент (P_K).

Что касается соотношений более высокого, чем вид, ранга (класс Rotatoria, отряд Copepoda, подотряд Cladocera), то для них известно, что с повышением трофического уровня водоема закономерно происходит увеличение количественных показателей Rotatoria и Cladocera и уменьшение численности и биомассы Copepoda.

Также используются такие показатели таксономической структуры зоопланктона, как отношение численностей Cladocera и Copepoda (N_{Clad}/N_{Cop}), которое резко возрастает с повышением трофического уровня водоема. Для олиготрофного озера этот показатель равен 0,4, для мезотрофного озера – 0,7 и для эвтрофного – 1,8.

Польскими авторами (Weglenska et al., 1983) предложен еще один показатель таксономической структуры – отношение биомасс Cyclopoidea и Calanoida (B_{Cycl}/B_{Cal}). Виды подотряда Calanoida в эвтрофных условиях раньше других начинают сокращать свою численность, а поскольку они являются более крупными организмами пресноводного зоопланктона, чем остальные, то соотношение биомасс изменяется в пользу Cyclopoidea и величина названного отношения возрастает. Многие исследователи считают группу Calanoida наиболее чувствительной среди Copepoda к процессу эвтрофирования.

В качестве показателей таксономической структуры зоопланктона рядом авторов (Петрович, 1971; Хаберман, 1978; Мязметс, 1958, 1980) предлагаются соотношения числа таксонов или величин биомасс ракообразных и коловраток (B_{Crust}/B_{Rot}). Однако средние величины B_{Crust}/B_{Rot} (при практически одинаковых n -выборках) в эвтрофных озерах почти в 3,5 раза ниже, чем в олиготрофных. Это свидетельствует о меньшей доле ракообразных по сравнению с коловратками и,

следовательно, меньшей кормовой ценности более мелкого в целом зоопланктона эвтрофных озер по сравнению с олиготрофными.

Одним из наиболее информативных показателей структуры сообщества является индекс разнообразия. В настоящее время используется индекс видового разнообразия **Шеннона – Уивера** (Shannon, Weaver, 1963):

$$H_{\text{бит}} = \sum_{i=1}^s \frac{N_i}{N} \log_2 \frac{N_i}{N}.$$

Для оценки структурной организации сообщества большую значимость приобретает сопоставление индексов видового разнообразия с количественными показателями, в частности с биомассой, характеризующей тип водоема по уровню трофии, например:

- олиготрофный тип – 2,6–4,0;
- мезотрофный – 2,1–2,5;
- эвтрофный – 1,0–2,0;
- показатель экстремальных экологических условий – менее 1,0.

Индексы видового разнообразия в ходе сезонной сукцессии хорошо отражают изменения в структуре сообщества. На начальных стадиях сукцессии весной видовое разнообразие быстро растет, в летний сезон, как правило, стабилизируется, а осенью и особенно зимой резко снижается. Индексы видового разнообразия характеризуют не только таксономическую структуру сообщества, его сезонное состояние, границы различных комплексов, но и дают информацию о водоеме в целом.

5.4. Показатели размерной структуры

Размерная структура – средние размеры особей популяции, слагающих сообщество, а также закономерности изменений их во времени, т. е. динамика размерной структуры, связанная с перестройкой размерно-возрастных групп в течение жизненного цикла.

Средний размер особей каждого вида есть специфическая величина, и виды различаются по ней в той же мере, как и по физиологическим признакам. Каждый вид имеет предел размерной изменчивости, и в зависимости от условий среднеразмерный интервал популяции и средние размеры особей могут "скользить" по размерной шкале вида.

Средний размер (масса) особи для сообщества в целом ($\bar{w} = B/N$) дает информацию о преобладании в нем определенных таксономических и

размерных групп. Его можно также рассматривать как интегральный показатель, отражающий всю совокупность экологических условий, свойственных водоему определенного трофического типа.

С повышением трофического уровня водоемов наблюдается тенденция к уменьшению размеров ракообразных. Подобная закономерность отмечена и для коловраток. Замена крупных форм доминант на мелкие указывает на то, что озеро стало более эвтрофным (например, замена *Bosmina coregoni* на *Bosmina longirostris* – самый мелкий вид среди босмин).

С повышением трофического уровня озера происходит снижение средней индивидуальной массы тела зоопланктона для сообщества в целом. При эвтрофировании водоемов наблюдается редукция крупных форм Cladocera, обусловленная изменением трофических связей в планктонном сообществе. При повышении трофического уровня водоема уменьшается численность таких крупных форм Copepoda, как *Limnocalanus* и *Eudiaptomus*, и возрастает роль более мелких циклопов. В водоемах эвтрофного типа снижение индивидуальной массы связано и со значительным преобладанием в сообществе коловраток. Их огромная численность при небольшой биомассе резко уменьшает общий интегральный показатель $\bar{w} = B/N$. По результатам ряда исследований разнотипных озер был сформулирован следующий вывод: в озерах с более высоким трофическим индексом увеличивается численность мелких форм, следовательно, уменьшается индивидуальная масса особей зоопланктона в сообществе.

5.5. Показатели трофической структуры

Трофическая структура представляет собой результат сложных трофических взаимосвязей между видами биоценоза и экосистемы в целом, так как именно по пищевым цепям происходит перенос вещества и энергии в водоеме. Совокупность трофических связей (трофическую сеть) можно рассматривать как трофическую структуру экосистемы, так как она не замыкается в рамках какого-либо одного сообщества, а предполагает и межбиоценотические связи.

Трофическая структура по существу является функциональной структурой. При рассмотрении количественных показателей трофической структуры озерного зоопланктона анализ оказался возможным лишь для

V_3/V_2 и V_z/V_{ph} . Более высокое отношение V_3/V_2 характерно для олиготрофных озер, в эвтрофных водоемах этот показатель заметно снижается, что объясняется значительным увеличением биомассы фильтраторов в более продуктивных озерах.

5.6. Метод и орудия сбора проб зоопланктона

Качественный сбор зоопланктона.

Классическим орудием сбора зоопланктона является коническая планктонная сеть (рис. 5.1, 5.2), состоящая из шелкового или капронового конуса (усеченного), сверху нашитая на металлическое кольцо, а снизу имеющая стакан, в который собирается планктон (рис. 5.2). Конус из шелкового или капронового сита пришивается не непосредственно к обручу, а к полосе ткани (из льна, бязи или любой другой хлопчатобумажной), с помощью которой он прикрепляется к обручу. Для изготовления планктонной сети употребляется шелковое мельничное или капроновое сито (газ), отличающееся большой прочностью и равномерностью распределения нитей. Номер сита соответствует числу ячеек в 1 см^2 ткани. Наиболее частый газ № 77, наиболее редкий – № 7. Для улавливания микропланктона применяется газ № 64–77, мезопланктона – № 38–64, Наннопланктон и ультрапланктон сетью не улавливаются.

Сеть Апштейна применяется и при количественных сборах в водотоках путем процеживания через сеть 50–100 л воды.



Рис. 5.1. Планктонные сети



Рис. 5.2. Планктонный стаканчик с вентилем

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.

Для сбора планктона в реке или при движении судна на озерах и в водохранилищах рекомендуется цилиндрическая сеть Лангганса ("Цеппелин"), состоящая из двух сшитых из шелка или капрона цилиндров и одного шелкового или капронового конуса с планктонным стаканом на конце. Сеть с помощью кусков полотна нашивается на три металлических кольца; к переднему кольцу привязывается уздечка с кольцом для прикрепления к тросу. Сеть может быть различных размеров.

Количественный сбор зоопланктона.

Количественные сети требуют более тщательного изготовления. Они отличаются от качественных наличием в переднем отделе сети "обратного" конуса – надставки из плотного хлопчатобумажного материала. В связи с этим имеется второе металлическое кольцо, к которому пришивается верхний конец надставки и которое представляет собой отверстие сети. Назначение конуса-надставки заключается в ослаблении обратных

(вихревых) потоков воды и тем самым в предохранении планктона от вымывания при протягивании сети сквозь толщу воды.

Существует целый ряд количественных сетей, самыми распространенными из которых являются сети Джели, Нансена, Апштейна.

В озерах и водохранилищах зоопланктон собирается количественной *сетью Джели* в эпи-, мета-, гипolimнионе или по стандартным горизонтам: поверхность – 0,5 м глубины; поверхность – 2, 2–5, 5–10, 10–25, 25–50, 50–100 м. Отбор проб следует начинать с верхних горизонтов. Скорость подъема открытой сети не должна быть меньше 0,25 м/с. После замыкания сети скорость подъема увеличивают, а затем перед поверхностью несколько снижают, чтобы сеть плавно вынуть из воды. Существуют сети разных размеров.

Для установления видового состава зоопланктона производится планктонный лов от дна до поверхности. Иногда, в зависимости от целей исследования, возможен отбор так называемых интегральных проб: пробы отбираются, как обычно, по горизонтам, а затем сливаются в одну банку.

При *сетяном методе* сбора зоопланктона водозачерпывание и отделение планктона осуществляется 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, прежде всего в зарослях высшей водной растительности.

Также существует *отстойный метод*, который обычно применяется для выявления видового состава и количественного распределения мелких коловраток.

Отобранные различными способами пробы переливаются из стакана в обычные стеклянные банки, бутылки, хлорвиниловую посуду (100, 150, 200, 300 см³ в зависимости от размера стакана). Банки тщательно закрываются завинчивающимися крышками с резиновыми прокладками, бутылки – плотными резиновыми и хлорвиниловыми пробками.

Орудия для сбора зоопланктона.

Метод отбора проб зависит от типа водоема, его глубины, размеров. В крупных и средних водоемах с замедленным водообменом (озерах, водохранилищах) пробы зоопланктона отбирают количественной *планктонной сетью Джели* фракционно (последовательно облавливают

эпи-, мета-, и гипolimнион), по стандартным горизонтам: поверхность – 0,5 м глубины; поверхность – 2, 2,5, 5–10, 10–25, 25–50, 50–100 м.

В мелких водоемах (прудах, малых лесных озерах, лагунах), глубина которых не превышает 3–4 м, отбор проб осуществляется также количественной сетью Джели тотально: облавливают весь столб воды от дна до поверхности.

Используются также *планктоночерпатели* различных конструкций (рис. 5.3, 5.4, 5.5), например, планктоботометр Дьяченко – Кожевникова. В водотоках, главным образом реках, для сбора качественных проб используется цилиндрическая сеть Лангранса "Цеппелин", для сбора количественных проб – батометр Жуковского. Наиболее часто используется метод забора воды (с разделением на рекомендуемые горизонты) и процеживания через качественную сеть Апштейна (газ NB 4-77). Для взятия пробы с глубины удобны любого рода батометры, применяемые для отбора гидрохимических проб, например, *батометр Руттнера*. Вода (от 50 до 100 л) с помощью батометра определенной вместимости (1, 2, 3 л) с наружного горизонта фильтруется через качественную *сеть Апштейна*.



Рис. 5.3. Планктоночерпатели и их полевое применение



Рис. 5.4. Специализированный футляр для хранения и транспортировки батометра
Рис. 5.5. Полевой кейс для хранения планктонных проб и аксессуаров

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 (рис. 5.6). Если время не позволяет сделать это, то пробы сохраняют до обработки в прохладном месте, защищенном от солнца, причем банки плотно не закрываются.



Рис. 5.6. Нефиксированная проба (слева) и фиксирование пробы в полевых условиях (справа)

Непосредственно перед обработкой нефиксированной пробы ее следует сконцентрировать путем, например, центрифугирования или удаления большей части воды с помощью сифона. После этого чистой пипеткой берется капля осадка, переносится на предметное стекло и просматривается вначале под биноклем, а затем под микроскопом. Недопустимо путать так называемые "живые" и "формалиновые" пипетки. При микроскопировании рекомендуется пользоваться покровным стеклом, так как накрывание им капли с планктоном отчасти замедляет движение некоторых планктеров. В живом состоянии определяют главным образом мелкие формы беспанцирных коловраток (*Synchaeta*, *Floscularia*), поэтому покровное стекло не требуется снабжать восковыми или пластилиновыми ножками; последние необходимо лишь для крупных зоопланктеров (например, ракообразных, в особенности *Copepoda*). Для замедления движения животных под покровное стекло помещают каплю наркотизирующего вещества – раствора хлоралгидрата, хлороформа и т. п. Приостановки движения планктеров можно достигнуть также очень осторожным нагреванием препарата до температуры 35–40 °С, прибавлением вишневого клея или другого вязкого вещества.

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 обработке фиксированного материала готовят препараты в капле воды, в водном глицерине-формалине (1 часть глицерина на 1 часть формалина). Чтобы сохранить препарат на длительное время, материал заключают в твердую среду: глицерин-желатин, канадский бальзам, чтобы воспрепятствовать подсыханию среды, препарат по краю покровного стекла окружают лаком.

При качественной и количественной обработке фиксированного материала важно отличать живые организмы от мертвых. Живым зоопланктонным организмом присуща четность границ между органами, а также наличие хорошо выраженной мускулатуры. Для мертвых организмов характерно стирание границ между органами, распад мускулатуры.

Определение организмов зоопланктона производится до вида по определителям.

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 представления 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.

Количественная обработка проб.

Количественная обработка проб 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. При других существующих методах (объемный, весовой, химический и т. д.) получаемые оценки носят суммарный характер. Значение самих организмов, отдельных видов как индикаторов различных свойств воды при этих методах совершенно не оценивается. Эта цель достигается только при счетном методе.

При относительно бедных планктоном водах организмы зоопланктона подсчитываются целиком во всей пробе: удобно использовать для этого камеру Богорова.

Камера Богорова имеет вид стеклянной пластинки с желобом или с сообщающимися канавками, разделенными призматическим

перегородками (рис. 5.7). Кристаллизатор Цееба представляет собой прямоугольную ванночку с бортиками. Дно ванночки с нижней стороны разграфлено параллельными линиями на полоски. Каждая полоска умещается в поле зрения бинокюляра с 32-кратным увеличением.

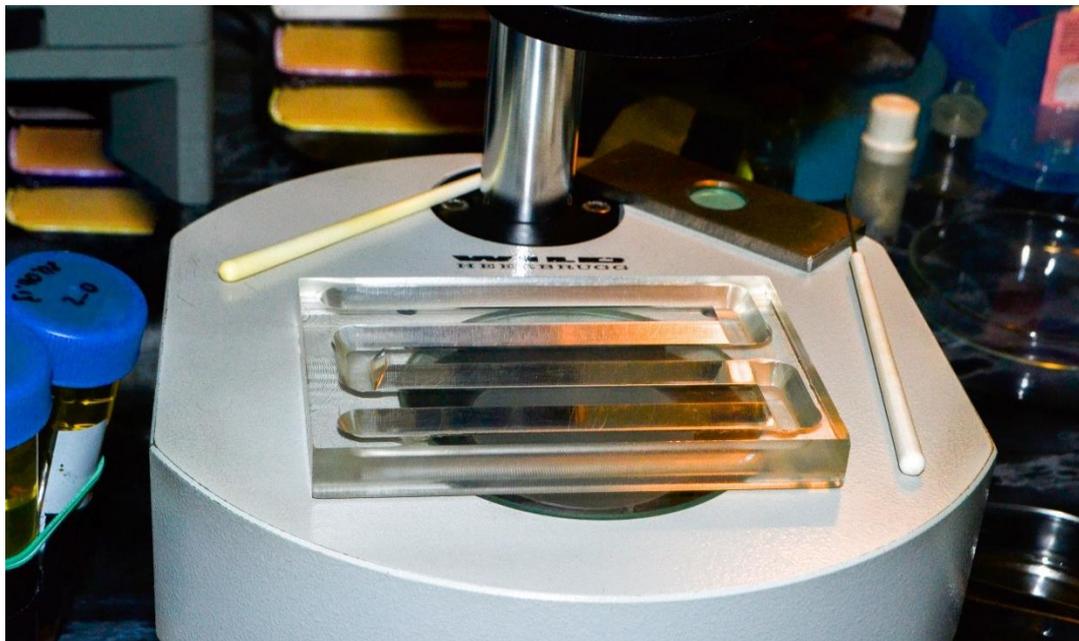


Рис. 5.7. Камера Богорова

В большинстве случаев подсчет всех организмов в исследуемой пробе технически невозможен. Следует подсчитать небольшую порцию планктона и пересчитать на всю пробу. Пробу доводят до определенного объема (25, 50, 100 см³) в зависимости от количества планктона. Чем чаще встречается организм в данной пробе, тем большее разбавление нужно применять для его подсчета. При редкой встречаемости, наоборот, требуется приведение пробы к небольшому объему. Таким образом, в зависимости от частоты встречаемости подсчитываемого организма, пробу следует разбавлять или концентрировать. Число организмов пересчитывается на весь объем пробы и записывается в специальную карточку.

От определения количества организмов в пробе переходят к определению численности (количество организмов в 1 см³) зоопланктона.

Следующим этапом количественной обработки проб зоопланктона является получение данных по биомассе. Биомасса зоопланктона определяется путем умножения индивидуальной массы каждого организма на его численность. Следует учитывать, что длина и масса зоопланктеров одного и того же вида может значительно варьировать в разных водоемах,

климатических зонах, а также в зависимости от сезона. Поэтому желательно для каждого крупного водоема или, по крайней мере, для каждой географической области рассчитывать свои массы для зоопланктонных организмов.

6. МЕТОДЫ ОТБОРА ПРОБ ЗООБЕНТОСА

Зообентос – обитающие на дне водоемов и водотоков беспозвоночные – является важным элементом водных экосистем. *Макрозообентос* – это совокупность беспозвоночных, имеющих размеры тела свыше 2 мм, населяющих дно водоемов, водную растительность, а также другие субстраты, и в том числе различные гидротехнические сооружения (Руководство..., 1992). Население макрозообентоса представляют черви (планарии, олигохеты, пиявки, нематоды), моллюски (брюхоногие, двусторчатые), ракообразные (амфиподы, изоподы, декоподы и др.), паукообразные, насекомые (хируномиды, геленды, поденки, веснянки, ручейники, стрекозы и др.) и т. п. Многие из этих организмов обитают в толще воды (в пелагиали): насекомые, ракообразные, пауки и пр.

Макрозообентос является важной частью гетеротрофного компонента водных экосистем. Он участвует в биогеохимическом круговороте многих элементов (биогенов, кальция, кремния, тяжелых металлов), выполняет важную функцию трансформации органического вещества в системе "толща воды – донные отложения", что обуславливает значение этой группы для процессов самоочищения водных объектов, оказывает влияние на газовый режим и механический состав грунтов водных объектов. Являясь одним из компонентов кормовой базы, макрозообентос играет значительную роль в определении рыбохозяйственной продуктивности водоема.

Мурманская область является северным пределом распространения многих видов бентосных беспозвоночных, однако макрозообентос региона в целом качественно богат и включает практически все систематические группы, представленные в пресных водоемах Палеарктики. По данным В. А. Яковлева (2004), для региона описано 548 видов бентосных беспозвоночных, принадлежащих к различным систематическим группам. Основу зообентоса составляют виды европейского, европейско-сибирского и палеарктического распространения, космополиты представлены исключительно аннелидами (11 видов), доля холодноводных арктических видов в сообществах незначительна, южные фаунистические элементы отсутствуют (Яковлев, 2005).

Структурные и функциональные показатели бентосных сообществ используются в качестве критериев для оценки качества воды, а также и

сравнения состояния сообществ и экосистем при различных антропогенных воздействиях (Wiederholm, 1980; Макрушин, 1984; Балушкина, 1987; Rosenberg, 1993; Руководство..., 1992; Баканов, 2000; Шитиков и др., 2003; Безматерных и др., 2006; Зинченко, 2011; Семенченко, 2011). Оценка состояния водных экосистем и качества вод по показателям зообентоса имеет ряд преимуществ. Зообентос, как наиболее долгоживущий и стационарный компонент гидробиоценоза, отражает состояние экосистемы за длительный период времени, характеризуя "средний" ее режим.

Показатели развития зообентоса входят в качестве основных как в общую, так и в сокращенные программы гидробиологического мониторинга Общегосударственной службы наблюдений и контроля за загрязненностью объектов природной среды.

Согласно "Правилам контроля качества воды водоемов и водотоков" (Межгосударственный стандарт ГОСТ 17.1.3.07-82), полная программа контроля и оценка качества воды по зообентосу предусматривает определение следующих показателей:

- общая численность, экз/м²;
- общая биомасса, г/м²;
- общее число видов;
- количество групп по стандартной разработке;
- число видов в группе;
- биомасса основных групп, г/м²;
- численность основных групп, экз/м²;
- массовые виды и виды-индикаторы сапробности (наименование, % от общей численности, сапробность).

6.1. Выбор станций для отбора проб

Станции отбора проб на водоеме располагают в литоральной и профундальной зонах в пределах разных биотопов с учетом типов грунта и наличия водной растительности. Количество отобранных проб на станции зависит от цели и задач исследования, площади захвата грунта дночерпателем и должно быть достаточным для получения статистически достоверного материала (2–5 выемок на одной станции) (Руководство..., 1992).

Количество и распределение станций на водотоках устанавливается в зависимости от конкретных задач исследования и степени неоднородности водотока. В горных и предгорных реках наилучшим субстратом для отбора проб являются каменисто-галечниковые грунты. На участках плес-перекат пробы отбирают в трех точках – на перекате, плесе и на сливе. Количество отобранных проб бентоса на станции должно быть не менее двух.

При длительном исследовании зообентоса в течение вегетационного сезона, года или ряда лет на водных объектах выбирают постоянные станции, на которых проводится регулярный отбор проб.

6.2. Сбор и обработка проб

Для сбора беспозвоночных с *большими глубинами* используют дночерпатели различных систем. На мягких илистых грунтах, как правило, применяется коробчатый дночерпатель Экмана – Берджа с площадью захвата 0,025 м². Пробы отбирают с лодки, дночерпатель опускают в открытом состоянии, затем производится закрытие прибора и захват определенного объема грунта, далее дночерпатель с отобранным грунтом помещают в таз, открывают его, смывают грунт. Промывка грунта проводится на водоеме сразу после отбора, для промывки грунта используется сачок, состоящий из металлического обруча, к которому пришивается конусовидный мешок длиной 35–40 см из мельничного газа № 23–35 (рис. 6.1). После промывки грунт фиксируется 70 %-м этиловый спиртом или 4–5 %-м раствором формалина.



Рис. 6.1. Орудия для сбора организмов зообентоса:
(слева направо) дночерпатель Экмана – Берджа, сачок для промывки грунта, грунт

Сбор *качественных проб зообентоса на литорали* водоемов (глубины до 1,5–2 м) и водотоках осуществляют с помощью сачка-скребка, который представляет собой металлическую рамку с режущей кромкой, к которой

пришит мешок из газа с ячейей 0,5 мм (рис. 6.2). При отборе проб с песчаных, мягких глинистых грунтов и илов скребок погружают в грунт на глубину в несколько сантиметров и скребущим движением режущей кромки срезают поверхностный слой. При отборе проб на каменистых грунтах скребок устанавливают ниже по течению относительно субстрата, с которого ведется отбор, и ворошат грунт ногой, чтобы организмы вместе со взмученными частицами грунта или фрагментами субстрата попадали внутрь сачка-скребка.



Рис. 6.2. Орудия для сбора организмов зообентоса: сачок-скребок, (сверху)
сбор с каменистых грунтов (снизу)

Для количественных сборов на литорали применяют рамку, ограничивающую площадь дна 0,25 м². Рамка устанавливается на грунт против течения, затем камни в пределах рамки осторожно отделяют от

грунта и помещают в таз с водой, тщательно осматривают. Вода из таза с подвижными животными профильтровывается через сачок-промывалку из газа № 23. Сразу после сбора животных необходимо зафиксировать. Живые беспозвоночные едят и повреждают друг друга, мертвые постепенно разлагаются. Хуже всего хранятся в "живых" пробах личинки поденок и веснянок, что затрудняет их дальнейшую идентификацию.

При отборе проб *на этикетке* указывают:

- номер пробы, дату и название водоема/реки;
- субстрат, с которого отобраны пробы;
- расстояние от берега;
- глубину места отбора пробы;
- количество выемок грунта дночерпателем или "скребков" при отборе с помощью сачка.

В журнал вносят сведения о температуре воды и воздуха в момент отбора пробы, погодных условиях в день отбора пробы.

Камеральная обработка собранных проб проводится, как правило, в лаборатории, включает три основных этапа: идентификация беспозвоночных; составление видового списка; подсчет численности и биомассы основных групп. Выборка и учет организмов проводится под биноклем, для изучения мелких деталей строения некоторых групп используют микроскоп. Биомасса отдельных групп бентоса определяется взвешиванием после обсушивания на фильтровальной бумаге до исчезновения влажных пятен на бумаге.

Некоторые определители для идентификации беспозвоночных

Определитель пресноводных беспозвоночных европейской части СССР (планктон и бентос) / отв. ред. Л. А. Кутикова, Я. И. Старобогатов. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 510 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий / под общ. ред. С. Я. Цалолихина. Т. 4: Двукрылые насекомые. СПб.: Наука, 2000. 997 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий / под общ. ред. С. Я. Цалолихина. Т. 5: Высшие насекомые. СПб.: Наука, 2001. 825 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий / под общ. ред. С. Я. Цалолихина. Т. 6: Моллюски, Полихеты, Немертины. СПб.: Наука, 2004. 528 с.

Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2: Зообентос / под ред. В. Р.Алексеева и С. Я. Цалолихина. М.: СПб.: Товарищество научных изданий КМК, 2016. 457 с.

Чертопруд М. В., Чертопруд Е. С. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод центра Европейской России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 179 с.

6.3. Оценка качества среды на основе показателей зообентоса

В настоящее время в мировой практике используется свыше 60 методов мониторинга экологического состояния водных объектов, включающих различные характеристики зообентоса (Баканов, 2000).

На основе количественных показателей сообществ различных гидробионтов, в частности зообентоса, С. П. Китаевым (1984) разработана классификация типов озерных экосистем (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Классификация озер по С. П. Китаеву на основе биомассы бентоса

Характеристика	Тип озерной экосистемы						
	Олиготрофный		Мезотрофный		Эвтрофный		Гиперэвтрофный
	α	β	α	β	α	β	
Биомасса бентоса, г/м ²	< 1,25	1,2–2,5	2,5–5	5–10	10–20	20–40	> 40

Индекс Ф. Вудивисса позволяет оценивать качество воды и степень ее загрязнения по присутствию в пробах индикаторных групп, значение которых определяется в биотических индексах по специальной таблице, индекс принимает значение от 0 до 10. Чем выше степень загрязнения, тем он меньше: индекс, равный 5 баллам и ниже, указывает на выраженное загрязнение (Руководство..., 1992). При оценке состояния водных объектов следует учитывать, что применение этого индекса возможно лишь для водотоков и литорали озер.

На основе индекса Вудивисса В. А. Яковлевым (2005) разработан *Кольский биотический индекс* (КолБИ) (табл. 6.2). Его применение ограничено водотоками и прибрежной зоной озер и водохранилищ, расположенных на территории Северо-Запада России.

Таблица 6.2

**КолБИ для оценки качества вод в водотоках и на литорали
водоемов Кольского Севера**

Группа	Число групп		
	0–1	2–5	≥ 6
Acanthobdellidae, Mysidacea, Ephemerellidae, Ephemeridae, Heptageniidae, Potamanthidae, Siphonuridae, Capniidae, Chloroperlidae, Perlidae, Perlodidae, Beraeidae, Brachycentridae, Goeridae, Lepidostomatidae, Mollanidae, Odontoceridae, Sericostomatidae	8	9	10
Lymnaeidae, Margaritiferidae, Physidae, Planorbidae, Valvatidae, Piscicolidae, Gammaridae, Haustoriidae, Beatidae, Caenidae, Leptophlebiae, Leuctridae, Taeniopterygidae, Aeshnidae, Corduliidae, Gomphidae, Lestidae, Libellulidae, Leptoceridae, Philopotamidae, Psychomyiidae	6	7	8
Sphaeride, Erpobdellidae, Glossiphonidae, Nemouridae, Coenagrionidae, Gerridae, Chrysomelidae, Dryopidae, Elminthidae, Gyrinidae, Haliplidae, Helodidae, Hydrobiidae, Hydrophilidae, Hydropsychidae, Hydroptilidae, Limnephilidae, Phryganeidae, Polycentropodidae, Rhyacophilidae, Ceratopogonidae, Limniidae, Simulidae, Tipulidae	4	5	6
Lumbriculidae, Asellidae, Corixidae, Dytiscidae, Sialidae	2	3	4
Tubificidae, Chironomidae	1	2	-

Примечание. В понятие "группа" входят отдельные виды и более крупные таксоны: все известные виды плоских червей, каждое семейство олигохет (кроме Tubificidae), пиявок, моллюсков, ракообразных и насекомых (кроме рода *Chironomus*).

Олигохетный индекс Гуднайта и Уитли основан на учете соотношения численности олигохет к общей численности всех донных беспозвоночных. Индекс имеет следующие индикаторные показатели:

- хорошее состояние водного объекта – олигохет менее 60 % от общего числа всех донных организмов;
- умеренно-загрязненное – олигохет 60–80 %;
- высокий уровень загрязнения – олигохет более 80 %.

Методика Гуднайта и Уитли эффективна только при оценке загрязнения органическими веществами, в случае загрязнения вод тяжелыми металлами, которые угнетают сообщество олигохет, индекс *Гуднайта – Уитли* имеет малую информативность (Макрушин, 1974, Яковлев, 2005).

Для оценки экологического состояния водных объектов Кольского Севера, подверженных сложному по составу загрязнению В. А. Яковлевым предложен *индекс сапротоксности* (1998, 2005). Метод сочетает в себе известные подходы в системах сапробности и токсности. Рассчитывается по формуле

$$ST = \sum \frac{ST_i \cdot n_i}{n_i},$$

где $\sum (ST_i \cdot n_i)$ – сумма произведений значений индексов сапротоксности отдельных видов на соответствующее им число особей;

n_i – число особей всех индикаторных видов.

Индекс сапротоксности в олигосапротоксной зоне равен 1,0–1,5, в β -мезосапротоксной – 1,5–2,5, в α -мезосапротоксной – 2,5–3,5, полисапротоксной – 3,5–4,0. Как показала апробация системы сапротоксности в условиях различных антропогенных воздействий, ее применение позволяет получить вполне надежную информацию о сложном по составу загрязнении вод в северных районах России.

Для оценки сапробности используется *индекс Пантле – Букка* – универсальный индекс, использующий организмы и планктона, и бентоса, применяемый на водоемах разного типа (см. раздел о фитопланктоне). При оценке сапробности водоема по показателям зообентоса необходимо учитывать тип субстрата, на котором произведен отбор проб. Для корректного сравнения данных, полученных для разных водных объектов, субстрат должен быть одинаковым.

Индекс Вудивисса и олигохетный индекс Гуднайта – Уитли для оценки качества воды использует Общегосударственная служба наблюдений и контроля за загрязненностью объектов природной среды (табл. 6.3).

Таблица 6.3

**Классификация качества воды водоемов и водотоков
по показателям зообентоса (по ГОСТ 17.1.3.07-82)**

Класс качества воды	Степень загрязненности воды	Олигохетный индекс Гуднайта – Уитли, %	Биотический индекс по Вудивиссу, баллы
I	Очень чистые	1–20	10
II	Чистые	21–35	7–9
III	Умеренно загрязненные	36–50	5–6
IV	Загрязненные	51–65	4
V	Грязные	66–85	2–3

VI	Очень грязные	86-100	0-1
----	---------------	--------	-----

7. ИХТИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящем руководстве рассматриваются основные методики по проведению ихтиологических исследований в пресноводных экосистемах, основанные на данных многолетних исследовательских работ в области экологии и оценке состояния водоемов Субарктики в условиях разнотипного загрязнения.

7.1. Выбор места и времени исследований

Ихтиологические исследования в зависимости от поставленных целей и задач могут проводиться на озерах, водохранилищах, реках и ручьях. На начальном этапе работ одним из основных шагов является изучение архивных материалов и результатов предыдущих исследований, возможно проводимых на интересующем исследователя водном объекте. Выявление видового состава ихтиофауны предполагает исследование обширной части акватории водоема. При этом должны быть изучены области литорали, придонные горизонты (профундаль) и толща воды (пелагиаль). Для крупных речных систем необходимо выбирать плесовые участки. В то же время исследования процессов воспроизводства и развития молоди предполагает исследования мелководных участков (порогов и перекатов рек, ручьев), обширных мест развития высшей водной растительности озер и водохранилищ.

Изучение состояния рыбной части сообществ может проводиться круглогодично с учетом видовых особенностей рыб и биологических процессов, приуроченных к различным сезонам года (весенне- и осеннерестующие рыбы, нагульные миграции).

7.2. Отбор ихтиологического материала

Отбор ихтиологических проб может проводиться с использованием всех доступных и разрешенных орудий лова. Для изучения особенностей развития молоди лососевых рыб на реках используется метод электролова (рис. 7.1). Данная методика также применима для определения видовой структуры ихтиофауны ручьев, прибрежной зоны небольших озер (State..., 2007).



Рис. 7.1. Метод электролова: *а* – установка устройства ранцевого типа; *б* – проведение отбора молоди; *в* – молодь семги; *г* – молодь кумжи

Изучение рек предполагает детальное обследование состояния потенциальных нерестово-выростных угодий. Необходимо учитывать характер реки (глубина, скорость течения, состав донного грунта, наличие обрастаний, степень заиления, ширину и протяженность порогов и перекатов). К числу других орудий лова также можно отнести спиннинговые снасти (рис. 7.2, *а*), а также ставные жаберные сети (рис. 7.2, *б-г*).

*a**б**в**г**д*

Рис. 7.2. Различные орудия лова рыб: *a* – спиннинговая снасть; *б* – ставные жаберные сети; *в* – постановка жаберных сетей; *г* – переборка сетей; *д* – лов ряпушки мережей

Отбор с помощью ставных сетей проводится следующим образом. Используется набор сетей длиной 25 м и высотой 1,5 м с размерами ячеек: от 5 до 50 мм из нейлонового монофеламенты с диаметром нити 0,15 мм для сетей с малой ячейкой и 0,17 мм для сетей с большой ячейкой. Это дает возможность вылавливать рыб всех возрастных групп. Сети устанавливаются в литоральной зоне по одной-две перпендикулярно

берегу, а также в профундальной зоне (до 10 сетей, связанных вместе). В пелагиали устанавливают плавные сети высотой 3–6 м с различным набором размеров ячеек. Схема установки и положения сетей в водоеме представлена на рис. 7.3.

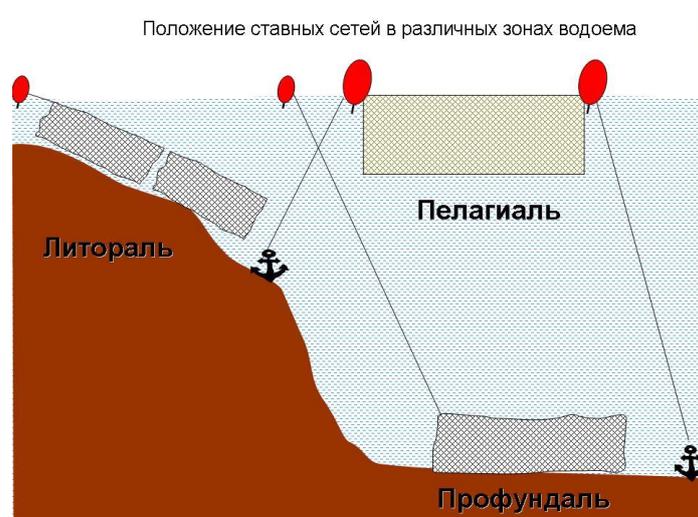


Рис. 7.3. Установка и расположение сетей в различных частях водоема

Развитие унифицированной системы контроля и оценки состояния пресноводных экосистем в рамках Водной рамочной директивы (The Water Framework Directive) в настоящее время предполагает также использование мультиразмерных сетей (NORDIC multimesh survey net 1,5×30 м) (Appelberg et al., 1995). Сети состоят из 12 секций (по 2,5 м каждая) с размерами ячеек: 5, 6,25, 8, 10, 12,5, 15,5, 19,5, 24, 29, 35, 43 и 55 мм (рис. 7.4) Сети устанавливаются в зависимости от глубины и размеров водоемов. Озера при этом делят на три группы по диапазону глубин (0–3, 3–10 и 10–20 м). В мелководной зоне используют только донные сети, в то время как в зонах с глубинами 3–10 и более 10 м применяют пелагические и донные сети. Поверхность водоемов необходимо разделить на квадраты 100×100 м, из которых точки постановки сетей выбираются случайным образом. Экспозиция (время от постановки до снятия сетей) при этом может составлять 12–14 ч (Kurkilahti, 1999; CEN, 2005). В дальнейшем уловы из каждой сети разбираются отдельно в зависимости от размера ячеек, их сортируют по видам, отдельно подсчитывают и взвешивают. Общий вылов, уловы групп видов и уловов каждого вида рыб рассчитываются на единицу промыслового усилия (CPUE, г/сетку, и CPUE, количество/сетку).

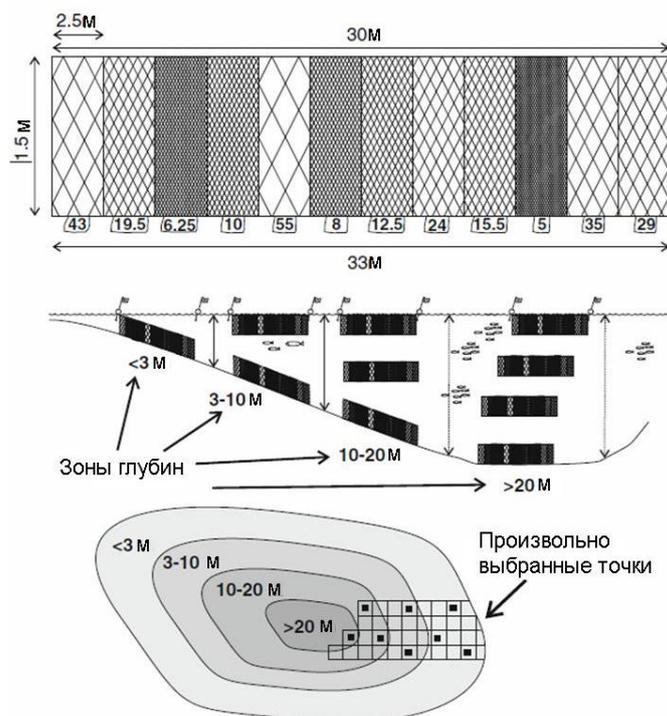


Рис. 7.4. Схема составления мультиразмерной сети и порядок ее установки в различных зонах водоема с учетом глубин

7.3. Определение возраста рыб

Для определения возраста у рыб в полевых условиях отбирают образцы так называемых "регистрирующих" структур. К ним относятся чешуя (у лососевых, сиговых, корюшковых, рис. 7.5, а, б), жаберная крышка (оперкулярная кость у окуневых, рис. 5, в), клейтрум (у щук, рис. 7.5, г) (Известия..., 1956; Правдин, 1966; Мина, Клевезаль, 1976; Мина, 1981). Кроме того, в качестве регистрирующих структур также возможно использование отолитов (рис. 7.5, д).

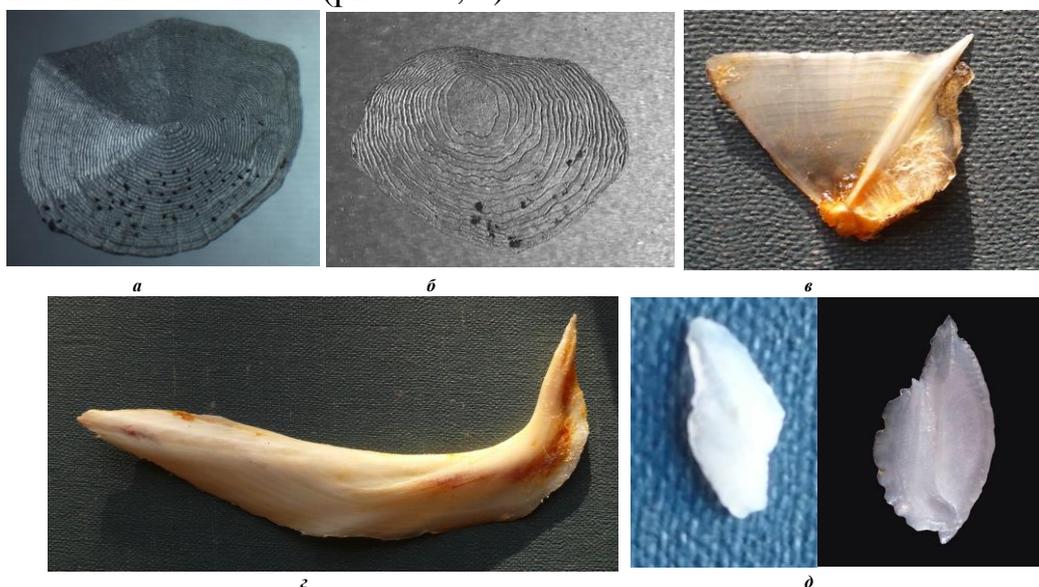


Рис. 7.5. Различные регистрирующие структуры рыб, используемые для определения возраста: *а* – чешуя сига; *б* – чешуя корюшки; *в* – жаберная крышка окуня; *г* – клейтрум щуки; *д* – отолиды

У большинства рыб чешуя для определения возраста берется с бока рыбы, на половине длины ее тела (в границах пунктирных овалов, рис. 7.6), повыше или пониже боковой линии.

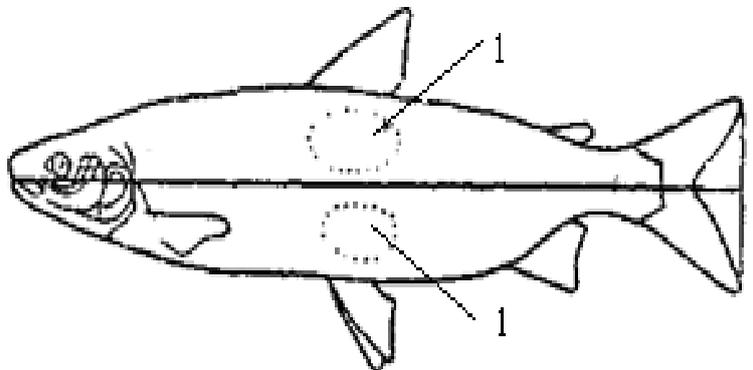


Рис. 7.6. Схема отбора чешуи, 1 – места, откуда следует брать чешую

Взятые пробы чешуи кладутся в конвертики или в чешуйную книжку (блокнот). При определении возраста рыбы чешуя промывается в разведенном нашатырном спирте от покрывающей ее слизи. Чешую после просветления в 10 %-м растворе аммиака помещают между двумя предметными стеклами, просматривают и измеряют с помощью бинокля.

Клейтрум (щука) и жаберные крышки (окунь) для определения возраста также отбираются в полевых условиях (рис. 7.7).



Рис. 7.7. Расположение клейтрума (щука) и жаберной крышки (окунь)

Выловленную рыбу подвергают ихтиологической обработке. Производится измерение основных биологических показателей рыб (массы, длины) и определение пола и стадии зрелости гонад, степени жирности и наполненности желудка.

Взвешивание производится с точностью до 1 г. Измерение длины осуществляется с помощью ихтиологической линейки, определяется длина всей рыбы (общая) – линия АВ или абсолютная длина – от вершины рыла

до вертикали конца наиболее длинной лопасти хвостового плавника при горизонтальном положении рыбы, длина по Смитту (линия AC) – расстояние от переднего края рыла до конца средних лучей С, длина без хвостового плавника или промысловая (линия AD) – расстояние от начала рыла до конца чешуйного покрова (рис. 7.8).

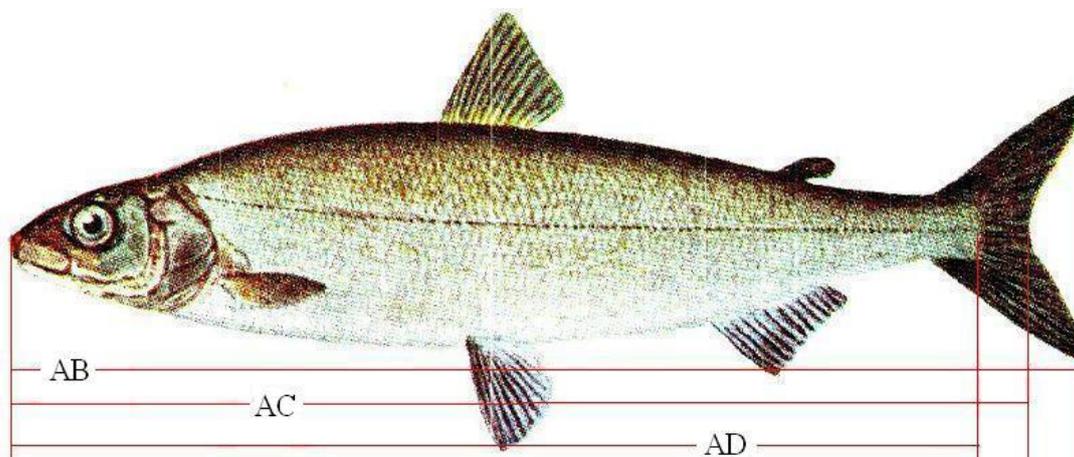


Рис. 7.8. Определение длины сига: AB – абсолютная длина; AC – длина по Смитту; AD – промысловая длина

Признаки, определяемые путем подсчета, называются *меристическими*, при этом обычно подсчитывается (рис. 7.9):

- боковая линия (*ll.* (*linea lateralis*) – число прободенных чешуй (точнее, число трубочек или канальчиков) в боковой части тела);
- количество жаберных тычинок на первой жаберной дужке;
- количество позвонков;
- количество лучей в плавниках.

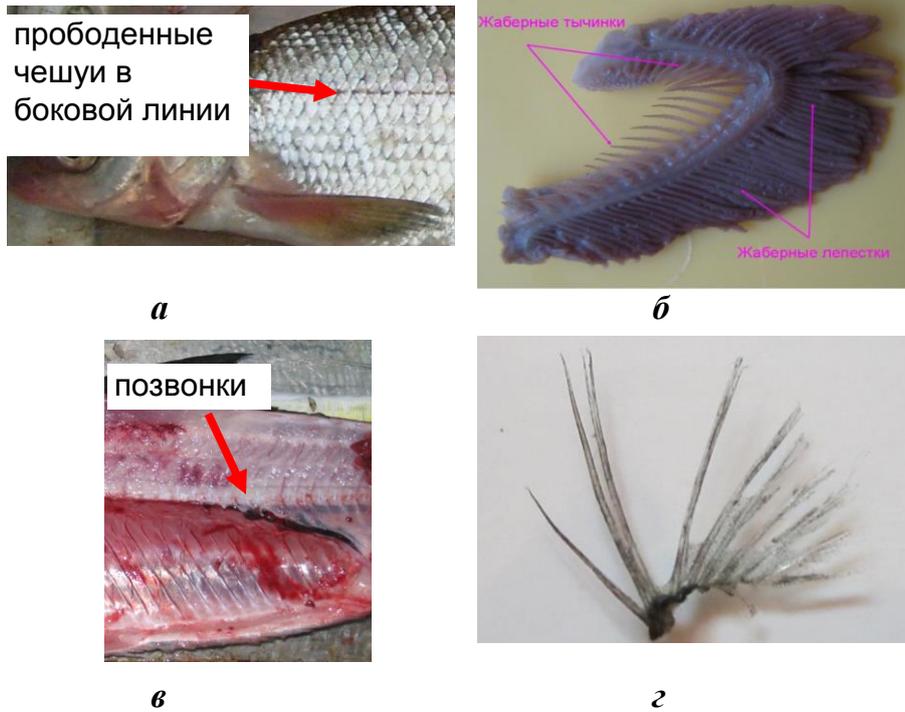


Рис. 7.9. Структуры для подсчета меристических признаков:
а – прободенные чешуи в боковой линии сига; *б* – первая жаберная дуга сига;
в – позвонки; *г* – лучи спинного плавника ряпушки

Для выделения внутривидовых форм у сигов производится подсчет количества тычинок на первой жаберной дуге (Правдин, 1966; Решетников, 1980; Amundsen et al., 2004; Siwertsson et al., 2008) (рис. 7.10). К малотычинковой форме относятся сиги, имеющие более или 30 жаберных тычинок, к среднетычинковой – имеющие менее 30.

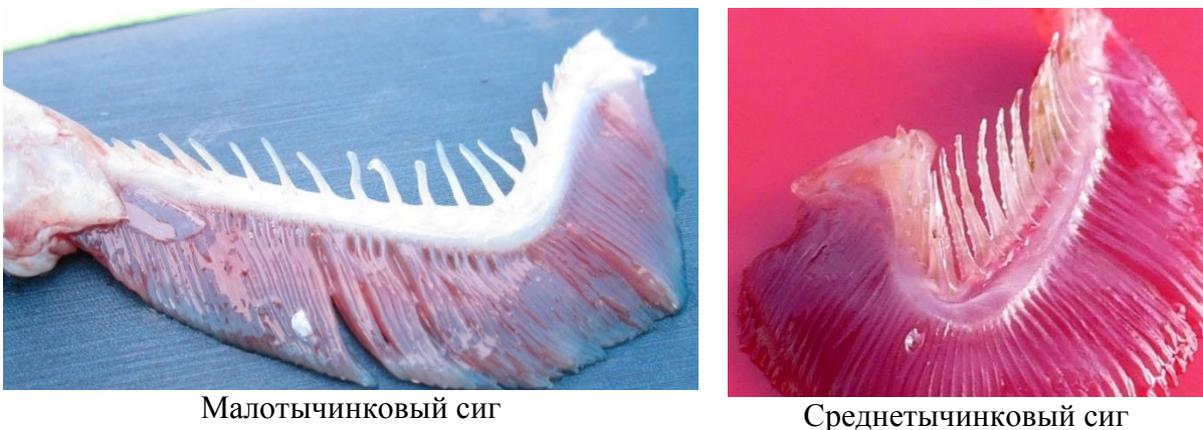


Рис. 7.10. Примеры жаберных дуг различных форм сига

Большое систематическое значение имеет *количество лучей* или косточек в плавниках, причем надо определять главным образом число мягких или ветвистых лучей, так как число жестких неветвистых или

простых лучей подвержено слабому колебанию у представителей не только одного вида, но даже и целого рода. Принято просчитывать лучи в первую очередь в спинном и анальном плавниках и лишь иногда и в других плавниках (Правдин, 1966), пример: *число лучей в спинном плавнике*. Спинной, или дорсальный, плавник принято обозначать буквой *D* (сокращенное *dorsalis*). Неветвистые, нерасчлененные (продольно) лучи обозначаются римскими, а ветвистые (расчлененные) – арабскими цифрами. Простые лучи бывают жесткие (колючие и костяные), как у судаков, и мягкие, как у налима. У колюшек перед спинным плавником бывают колючки (иглы), их считают отдельно от числа лучей в плавнике. Таким образом, *D III 9* означает, что в спинном плавнике 3 луча простых и 9 ветвистых; запятой римское и арабское числа здесь не отделяются. Необходимо помнить, что нередко первый простой луч почти незаметен и может быть отделен только иглой или скальпелем, а последний ветвистый луч иногда имеет настолько глубокое расщепление, что по внешнему виду его можно принять за два.

Измерение пластических признаков (определяемые при помощи промеров) осуществляется штангенциркулем.

Измеряют следующие длины (рис. 7.11, 7.12, 7.13):

od (длина туловища) – расстояние от заднего края жаберной крышки до конца чешуйного покрова;

ao (длина головы) – измеряется от вершины рыла до заднего конца жаберной крышки без перепонки;

an (длина рыла (или предглазничного отдела)) – расстояние от вершины рыла до переднего края глаза (рыло – часть головы впереди глаза). Вершина рыла – самая передняя точка головы при плотно закрытом рте;

nr (диаметр глаза) – обычно берется продольный диаметр, измеряется собственно диаметр роговицы; веки, если они есть, в расчет не принимаются;

gh (максимальная высота тела) – измеряется в том месте, где тело наиболее высокое;

ik (минимальная высота тела) – в наиболее низком месте тела, обычно находится близ основания хвостового плавника;

aq (антедорсальное расстояние) – расстояние от вершины рыла до начала основания спинного плавника;

az (антевентральное расстояние) – до начала основания брюшного плавника;

au (антеанальное расстояние) – расстояние от вершины рыла до начала основания анального плавника;

tu (наибольшая высота спинного плавника).

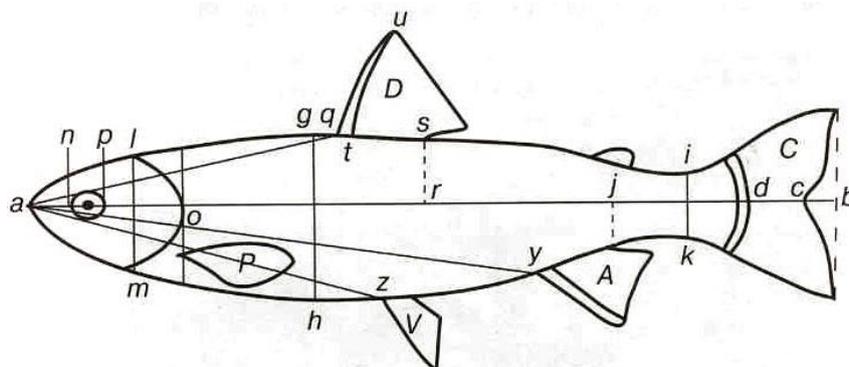


Рис. 7.11. Схема измерений рыб лососевых (Salmonidae) по Смитту

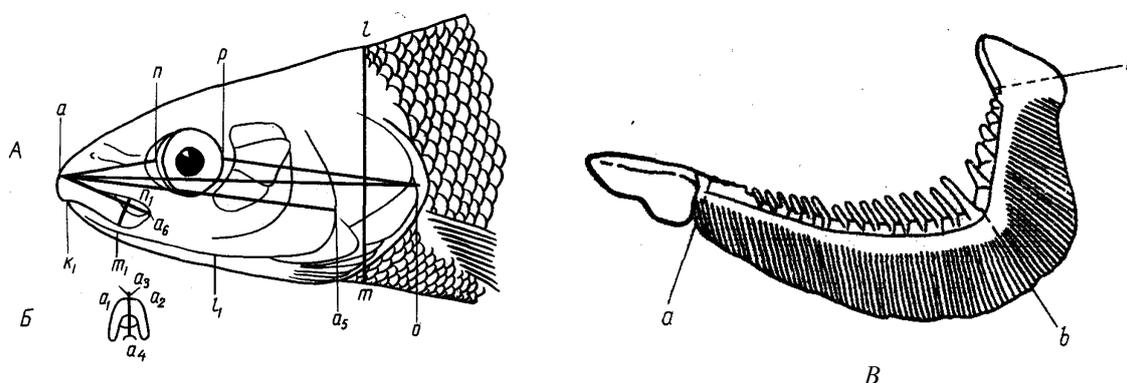


Рис. 7.12. Схема измерений головы сига (по Смитту) и первой жаберной дуги (по Правдину, 1939) с изменениями: *A* – голова сига: ao – длина головы; aa_5 – длина средней части головы; an – длина рыла; po – заглазничный отдел головы; aa_6 – длина верхнечелюстной кости; m_1n_1 – ширина верхнечелюстной кости; k_1l_1 – длина нижней челюсти; np – диаметр глаза горизонтальный; lm – высота головы у затылка. *B* – рыльная площадка: a_1a_2 – ширина площадки рыла; a_3a_4 – высота площадки рыла. *B* – жаберная дуга сига: ab – длина нижней части дуги, bc – длина верхней части дуги



a



б

Рис. 7.13. Примеры измерения пластических признаков: наименьшей высоты тела (*a*), длины верхней челюсти (*б*)

7.4. Определение пола и стадий зрелости гонад

Неполовозрелые особи – ювенальная (juvenales) стадия. Половые железы неразвиты, плотно прилегают к внутренней стороне стенок тела (по бокам и ниже плавательного пузыря) и представлены длинными узкими шнурами или лентами, по которым нельзя глазом определить пол.

Стадия II. Созревающие особи или развивающиеся половые продукты после икрометания. Половые железы начали развиваться. На шнурах образуются затемненные утолщения, в которых уже узнаются яичники и семенники. Икринки настолько мелки, что не видны невооруженным глазом. Яичники от семенников (молоч) отличаются тем, что вдоль первых по стороне, обращенной к середине тела, проходит довольно толстый и сразу бросающийся в глаза кровеносный сосуд. На семенниках таких крупных сосудов нет. Половые железы малы и далеко не заполняют полости тела (рис. 7.14).



Самка II, не нерестилась

Самец II

Рис. 7.14. Внешний вид гонад у сига на II стадии зрелости

Стадия III. Особи, у которых половые железы хотя и далеки от зрелости, но сравнительно развиты. Яичники значительно увеличились в размерах заполняют от трети до половины всей брюшной полости и наполнены мелкими непрозрачными, белесоватыми икринками, ясно различимыми невооруженным глазом. Если разрезать яичник и поскоблить концом ножниц по обнаженным икринкам, то они с трудом отрываются от внутренних перегородок органа и всегда образуют комки по несколько штук вместе (рис. 7.15).



Рис. 7.15. Самка сига с гонадами на III стадии зрелости

Семенники имеют более расширенную переднюю часть и сужаются кзади. Поверхность их розоватая, а у некоторых рыб – красноватая от обилия мелких разветвляющихся кровеносных сосудов. При надавливании из семенников нельзя выделить жидких молок. При поперечном разрезе семенника края его не округляются и остаются острыми. В этой стадии рыба находится долго: многие виды (лещ и др.) – с осени до весны следующего года (рис. 7.16).



Рис. 7.16. Самец сига с гонадами на III стадии зрелости

Стадия IV. Особи, у которых половые органы достигли почти максимального развития. Яичники очень велики и заполняют до двух третей всей брюшной полости. Икринки крупны, прозрачны и при надавливании вытекают. При разрезе яичника и скоблении разреза ножницами икринки соскабливаются поодиночке. Семенники белого цвета и наполнены жидкими молоками, которые легко вытекают при надавливании брюшка. При поперечном разрезе семенника края его тотчас округляются, и разрез заливается жидким содержимым (рис. 7.17). Эта стадия у некоторых рыб непродолжительна и быстро переходит в следующую.



а



б

Рис. 7.17. Состояние гонад рыб: самки гольца (а) и самца сига (б) на IV стадии зрелости

Стадия V. Текущие особи. Икра и молоки настолько зрелы, что свободно вытекают не каплями, а струей при самом легком надавливании. Если держать рыбу в вертикальном положении за голову и потряхивать ее, то икра и молоки свободно вытекают (рис. 7.18).

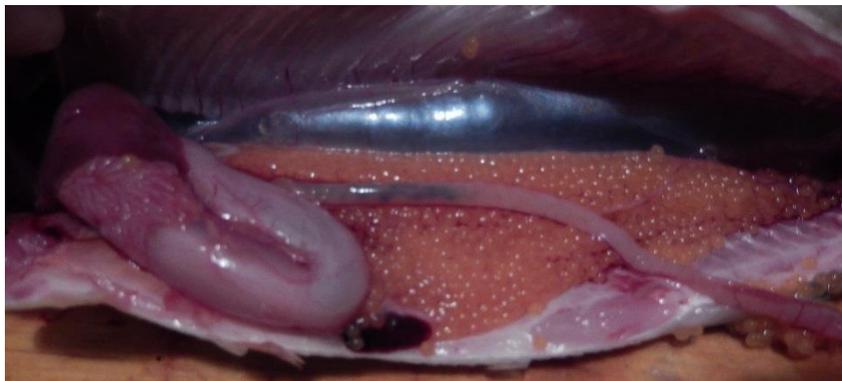


Рис. 7.18. Самка сига V стадия зрелости гонад

Стадия VI. Отнерестовавшие особи. Половые продукты выметаны совершенно. Полость тела далеко не заполняется внутренними органами. Яичники и семенники очень малы, дряблы, воспалены, темно-красного цвета. Нередко в яичнике остается небольшое количество мелких икринок, которые претерпевают жировое перерождение и рассасываются (рис. 7.19).

Через несколько дней воспаление проходит, и половые железы переходят в стадию II–III.



Рис. 7.19. Отнерестовавшая самка сига, стадия VI

Если половые продукты находятся на промежуточной стадии между какими-либо двумя из шести описанных стадий или часть продуктов развита больше, часть меньше, или когда наблюдатель затрудняется точно обозначить стадию зрелости, то она обозначается двумя цифрами, соединенными знаком тире, но при этом та стадия, к которой ближе стоят по своему развитию половые продукты, ставится впереди (рис. 7.20), например: III–IV; IV–III; VI–II и т. д. (Правдин, 1966).



а



б

Рис. 7.20. Примеры рыб с гонадами на переходной стадии зрелости:
а – самка сига с гонадами на VI–II стадии; *б* – окуни (самец и две самки) на III–IV стадии зрелости

Для определения плодовитости берется навеска икры (для рыб с крупной икрой – 2 г, с мелкой – 1 г) и помещается в отдельный флакон, где фиксируется 70-градусным этиловым спиртом и снабжается этикеткой (рис. 7.21).



Рис. 7.21. Фиксация проб для определения плодовитости

7.5. Метод патологоморфологического анализа состояния организма

Патологоморфологический метод включает в себя клинические, патологоанатомические и гистологические исследования, которые, взаимно дополняя друг друга, позволяют составить представление и дать заключение о чувствительности и устойчивости организмов к изменениям экологической ситуации в водоеме (Аршаница, Лесников, 1987; Кашулин, Лукин, 1992). Система кодировки информации по каждому органу позволяет дать численное значение интенсивности отклонения от нормы и/или заболевания, при этом она достаточно субъективна и требует подготовки ихтиолога к экспертной оценке. Модифицированная нами для рыб субарктических водоемов шкала Н. М. Аршаницы, Л. А. Лесникова (1987) предполагает следующую градацию:

- 0 – визуально не выявляемые патологические изменения;
- 1 – повреждения легкие, едва выявляемые и не угрожающие рыбам гибелью;
- 2 – повреждения средней тяжести, при которых организм может выжить, но появление дополнительных неблагоприятных факторов может вызвать гибель организма;
- 3 – признаки глубоких необратимых изменений жизненно важных органов, наиболее вероятным следствием которых является летальный исход.

Визуальный осмотр и патологоанатомическое вскрытие проводят у живых, только что выловленных рыб. В полевых условиях полную диагностику проводили в течение 40–60 минут. Это связано с тем, что сиговые рыбы быстро "засыпают" на воздухе, что приводит к депигментации кожных покровов, изменениям цвета печени и окраски жабр. Некоторые заболевания, такие как изменения формы органов,

соединительно-тканые разрастания в почках, нефрокальцитоз, можно диагностировать по прошествии довольно длительного времени.

При внешнем (наружном) осмотре обращалось внимание на интенсивность окраски и ее изменение (рис. 7.22).



Рис. 7.22. Сиг типичной окраски, нормальное состояние чешуи, плавников

Обращается внимание и на целостность плавниковой каймы и лучей (рис. 7.23).



a



б

в

Рис. 7.23. Деформации плавников рыб: *a* – хвостового плавника у форели; *б* – верхней лопасти хвостового плавника сига; *в* – грудного плавника у окуня

Обращается внимание на общее содержание слизи на поверхности рыбы, состояние чешуйного покрова ("ерошение" чешуи, нарушение регулярности боковой линии) (рис. 7.24).

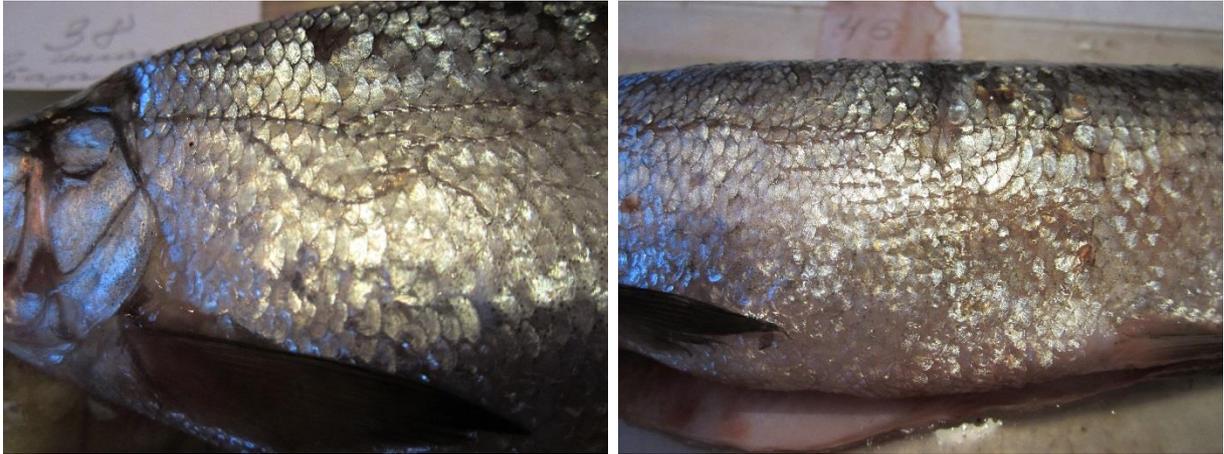


Рис. 7.24. Нарушение чешуйного покрова: *a* – появление дополнительных рядов прободенных чешуй у сига; *б* – "ерошение" чешуи у сига

Обращается внимание на случаи гиперемии, подкожные кровоизлияния и язвы, гидремию тела, состояние жаберных крышек, ротовой полости, анального отверстия (рис. 7.25).



Рис. 7.25. Патологии челюстного аппарата и ротовой полости: *a* – "мопсовидная" челюсть у сига; *б* – изменение цвета языка и ротовой полости у щуки

Обращается внимание на деформацию костей черепа, депигментацию кожи головы и ярко выраженные случаи сколиоза (рис. 7.26).



Рис. 7.26. Патологии внешнего вида у рыб: *a* – депигментация черепа у сига; *б* – сколиоз у корюшки

При осмотре глаз определялся их размер, наличие слизи, гноя, состояние роговицы, хрусталика (рис. 7.27).



Рис. 7.27. Бельмо на глазу щуки

При открытых жаберных крышках обследуются жабры, отмечается их цвет, наличие и количество слизи, состояние жаберных лепестков (срастание, слипание, набухание, "истончение" или атрофия) и жаберных тычинок (искривление, утолщение ("булавовидность"), пропуск/отсутствие, неровный ряд) (рис. 7.28).



а



б

Рис. 7.28. Патологии жабр: *а* – искривление жаберных тычинок у сига; *б* – опухоль на жаберной дуге у ряпушки

7.6. Исследование внутренних органов рыб

Вскрытие брюшной полости осуществляется ножом или ножницами с анального отверстия к ротовой полости. После вскрытия отмечается топографическое расположение внутренних органов (печени, почек, гонад, селезенки, сердца, желудка, кишечника) (рис. 7.29).



Рис. 7.29. Общее расположение внутренних органов у сига (*а*) и окуня (*б*)

Отмечается наличие экссудата в брюшной полости, количество полостного жира, его цвет и консистенция (рис. 7.30), определяется в баллах жирность рыбы.



Рис. 7.30. Определение степени жирности по наличию жира на внутренних органах

Обращается внимание на состояние мышц (цвет, консистенция, наличие кровоизлияний, прикрепление к костям) (рис. 7.31).



Рис. 7.31. Патологии мышц: *а* – кровоизлияния в мышцах сига; *б* – изменение цвета мышц щуки

Обращается внимание на цвет, форму печени (рис. 7.32).



нормальный цвет (щука)



зеленоватый оттенок (щука)

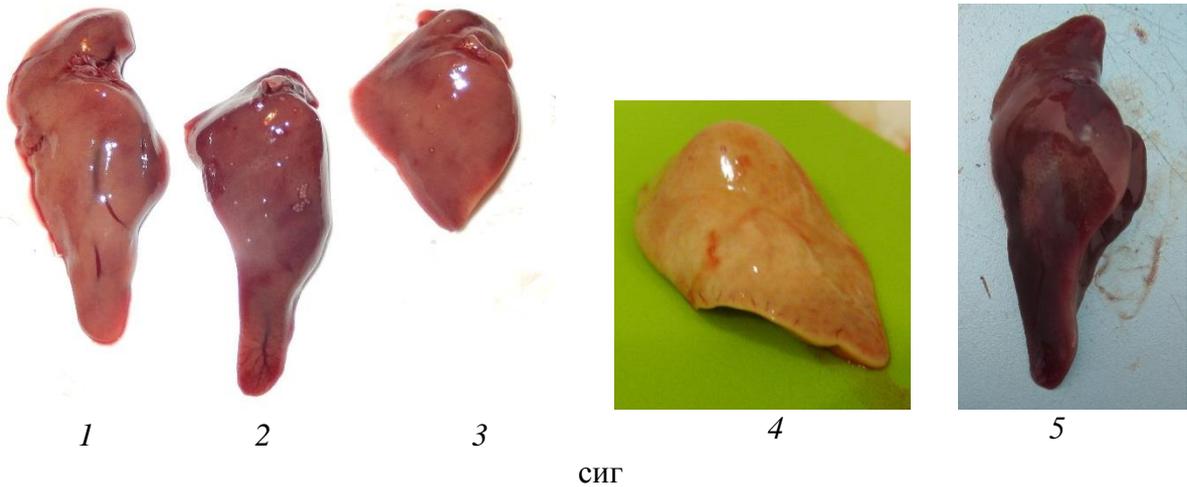


Рис. 7.32. Норма и патологии печени у рыб:

- 1 – бледный цвет и лопасть; 2 – цвет, близкий к нормальному, значительная лопасть;
 3 – нормальная форма, бледная окраска; 4 – очень бледная печень;
 5 – лопасть и "мозаичность" окраски

Для гонад выявляются случаи асимметрии развития, "перекручивание" и соединительно-тканые разрастания в семенниках (рис. 7.33).

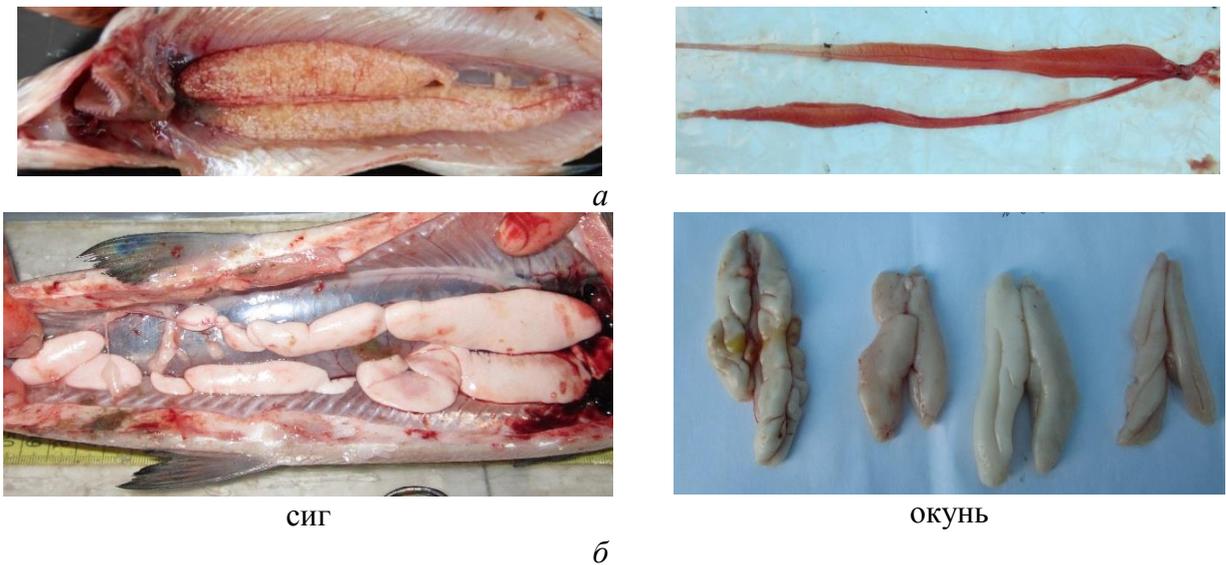


Рис. 7.33. Нарушения состояния гонад: *а* – асимметрия яичников у сига,
б – соединительно-тканые разрастания в семенниках рыб

Обращается внимание на состояние почек (истончение, кровенаполненность, наличие изменений в мочеточниках, отложение камней) (рис. 7.34).

*a**б*

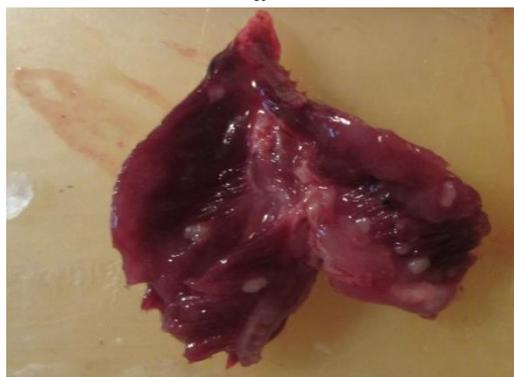
Рис. 7.34. Норма (*a*) и патологии – камни в хвостовом отделе (*б*) почек сига

Обращается внимание на состояние сердца (ожирение, сращивание с другими органами или брюшной стенкой) (рис. 7.35).

*a* (голец)*б* (сиг)*в* (сиг)

Рис. 7.35. Норма и патологии сердца:
a – норма; *б* – ожирение; *в* – сращивание с печенью

Определяется наличие паразитов и их количество (рис. 7.36).

*a**б**в**г*

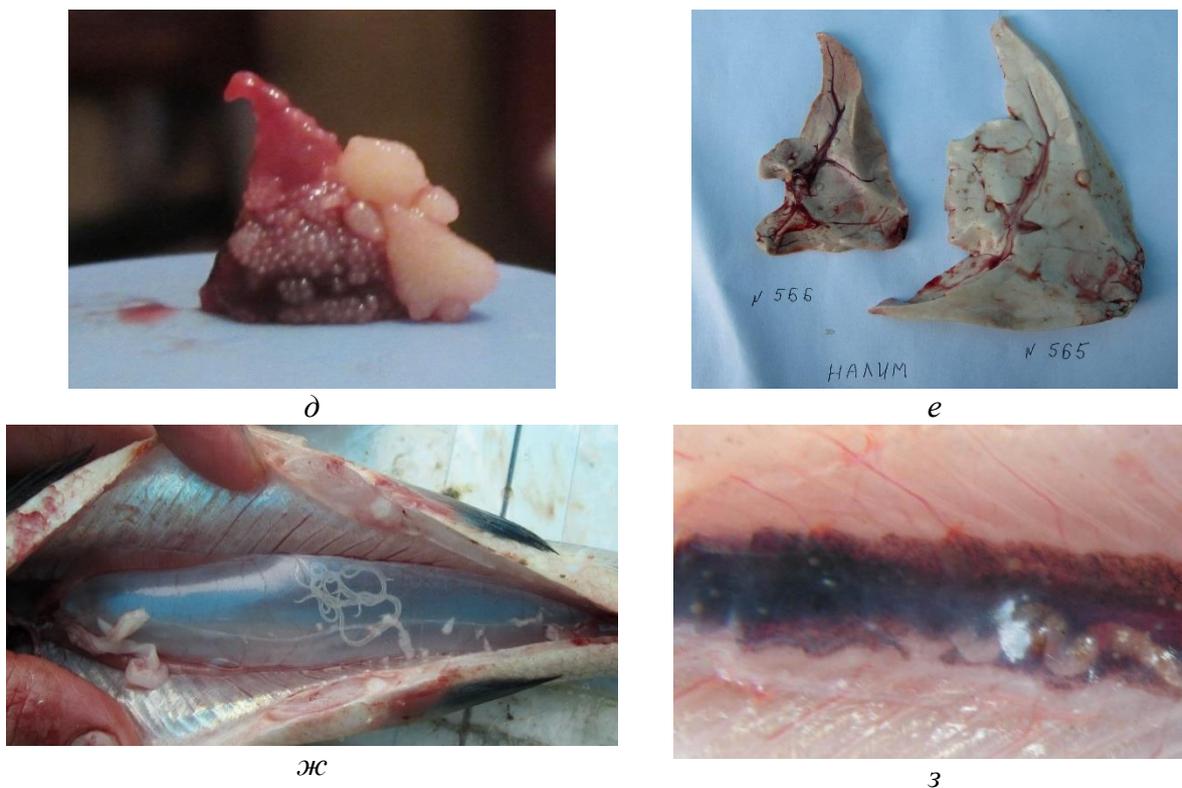


Рис. 7.36. Диагностика наличия экто- и эндопаразитов рыб:
a, б – эктопаразиты окуня и сига; *в, г* – паразиты жабр сига; *д* – паразиты на сердце сига; *е* – паразиты в печени налима; *ж* – круглые черви в плавательном пузыре сига;
з – паразиты в почках сига

7.7. Эtiquетирование материала

Этикетка изготавливается из кальки (пергамент), надпись производится твердым простым карандашом. На этикетке указывается место взятия пробы, дата, номер рыбы. Для удобства дальнейшей камеральной обработки снаружи флакона размещается дублирующая этикетка на клейкой основе с той же информацией.

7.8. Гистологический анализ

Гистологический анализ позволяет судить о характере и тяжести патологических процессов на тканевом и клеточном уровне. Рыба для отбора гистологического материала должна быть либо живой, либо находиться в состоянии агонии. В полевых условиях осуществляется взятие материала и его фиксация для сохранения прижизненных изменений исследуемых тканей. Наиболее часто употребляется жидкость Буэна. Толщина фиксируемого кусочка не должна превышать 1–1,5 см, объем фиксатора в 20 раз больше объема отобранного материала. Образцы

органов и тканей от каждой рыбы помещаются в отдельном флаконе и сопровождаются этикеткой (рис. 7.37).



Рис. 7.37. Фиксация материала для гистологического анализа

7.9. Гематологический анализ

Взятие крови. Взятие крови производится у живых рыб или только что уснувших рыб. Кровь отбирается капилляром от гемометра Сали из гемального канала хвостового стебля после каудэктомии (отсечения хвоста). Первая порция крови используется для определения содержания гемоглобина в крови с помощью гемометра Сали, следующая фиксируется для дальнейшего подсчета числа эритроцитов в камере Горяева. Для разбавления и фиксации крови используется раствор, содержащий: сульфат натрия – 20 г, хлористый натрий – 5 г, лимоннокислый натрий трехзамещенный – 3 г, ледяную уксусную кислоту – 100 мл, воду дистиллированную – до 1 л (Иванова, Головина, 1984). Затем из капли крови изготавливается мазок.

Взятая от рыбы кровь быстро свертывается, а при отравлениях свертывание крови может происходить значительно быстрее, поэтому исследователь должен в возможно короткий срок (40–50 с), пока кровь еще не свернулась, суметь взять от каждой рыбы максимальное количество проб на различные гематологические показатели (Кудрявцев и др., 1969; Крылов, 1974).

Приготовление мазков крови. Взятая от рыбы кровь с помощью капилляра наносится в виде небольшой капли на предметное стекло на расстоянии 1–1,5 см от его конца. Большим и указательным пальцами правой руки берется за ребро шлифовальное стекло, ставится к поверхности покровного стекла под углом 30–45° и аккуратно проводится тыльной стороной к капле крови (в результате чего она при соприкосновении растекается); затем скользящим движением

шлифованного стекла вперед равномерно кровь распределяется в виде мазка по покровному стеклу (рис. 7.38).



Рис. 7.38. Приготовление мазка крови (по Крылову, 1974)

Хорошо взятый мазок должен быть равномерным, постепенно сходить на нет, не имея на своем пути перерывов. От каждой рыбы желательно брать не менее двух мазков крови. После подсыхания мазки подписывают твердым простым карандашом по самому мазку или по шлифованному краю. Фиксация мазков крови производится путем погружения в этиловый или метиловый спирт на 30 или 3–5 мин соответственно. Для окрашивания зафиксированные мазки крови кладут мазком вниз на тонкие стеклянные палочки в чашки Петри и под стекла подпускают ранее приготовленный рабочий раствор краски азур-эозина (10–20 капель готовой краски на 10 мл воды). Окраска мазков должна происходить в нейтральной в течение 20–60 мин и более, что зависит от количества краски. Поэтому для каждой партии краски отработывают оптимальную экспозицию, при которой будет происходить наилучшее окрашивание мазка.

В последнюю очередь кровь набирается в капилляр от аппарата Панченкова для определения скорости оседания эритроцитов (СОЭ). Гемометр Сали предварительно должен быть откалиброван по данным спектрофотометра в стационарных лабораторных условиях. Содержание гемоглобина в эритроците вычисляется по формуле Гительзона (общее содержание Нв (г/л) / общее количество эритроцитов в 1 мкл). Процентный состав зрелых и незрелых эритроцитов и лейкоцитарную формулу рассчитывается по мазкам, окрашенным по Романовскому. После окрашивания мазки тщательно промывают водой и осушают между полосками фильтровальной бумаги. Мазки крови просматриваются с использованием светового микроскопа с иммерсией при увеличении 10х 100) (Голодец, 1955; Головина, 1979; Инструкция..., 1986).

Измерение индексов внутренних органов. Вскрытие рыб начинается с небольшого и неглубокого разреза перед анальным отверстием. От него по середине брюшной стороны проводится продольный разрез до жаберных дуг. Сердце вместе с венозным синусом извлекается из полости. Взвешивание проводится немедленно, не давая органу подсохнуть. Это в равной мере относится к остальным органам. Печень взвешивается без желчного пузыря. Почки, после удаления всех внутренностей, аккуратно выскабливаются по частям шпателем или ложкой и сразу взвешиваются, чтобы не допустить потерь и усыхания почечной ткани. Для извлечения жаберного аппарата вентральные концы жаберных дуг отделяются от стенок тела, а дорзальные – от основания черепа и от глоточных зубов. Жабры перед взвешиванием освобождаются от слизи и грязи. Взвешивание внутренних органов для дальнейшего определения индексов производится с точностью до 0,1 г (рис. 7.39). Величина морфофизиологических индексов определялась как отношение веса каждого органа в граммах к общему весу тела без внутренностей (к порке) в граммах, и полученный результат умножался на 1000. В итоге величина индекса определялась в промилле (‰) (Смирнов и др., 1972; Лабораторно-клинические..., 1994).



Рис. 7.39. Внутренние органы сига, определение массы сердца взвешиванием

7.10. Методы изучения питания рыб

Для изучения питания пресноводных рыб применяется метод индивидуального сбора. Материал должен собираться активными орудиями лова (тралом, обкидными неводами). В случае использования

объячеивающих орудий лова (сети, ловушки, заколы) они должны проверяться каждые 1–3 часа. Следует учитывать, что за продолжительное время пребывания рыбы в сетях происходит частичное или полное переваривание пищи или ее отрывание и полученный материал дает заниженные количественные данные по характеристике питания.

При степени наполнения желудков 3–4 балла (рис. 7.40) проводится их фиксация 70°-м этиловым спиртом для дальнейшего камерального определения качественного и количественного состава пищевого комка (Методическое пособие..., 1974). Каждый желудок следует размещать в отдельный флакон и снабжать этикеткой.



Рис. 7.40. Извлеченные желудки с различной степенью наполнения:
слева – 0 баллов (пустой); справа – 3 балла

Все полученные данные заносятся в журнал (рис. 7.41).

водоем/район/дата													
вид рыб													
№ рыбы													
ВОЗРАСТ													
вес													
вес порки													
длина АВ													
длина АС													
длина АД													
число чешуй в LL													
кол. лучей D													
измен. окраски													
депигм. черепа													
нарушен. плавников													
ЖАБРЫ, вес													
сумма ж.т.													
искривл. ж.т.													
анем. жабр													
анем. кольцо													
наполн. желудка													
жирность													
пол													
ГОНАДЫ, вес													
плодовитость													
асимметрия гонад													
асинхронное созрев.													
резорбция икры													
перетяжки													
ПЕЧЕНЬ, вес													
бледная													
мозаичная													
дольчатая+лопасть													
ПОЧКА, вес													
зернистость													
соед. ткан. разраст.													
камни													
СЕРДЦЕ, вес													
ожирение													
инвазия общ.(+/-)													
экзопаразиты													
жабры													
печень													
кишечник													
почка													
мышцы													
сердце													
плав. пузырь													
Примечания													

Рис. 7.41. Образец формы ихтиологического журнала с основными показателями рыб, оцениваемых в ходе исследований (Кашулин и др., 1999)

7.11. Анализ содержания тяжелых металлов в органах и тканях рыб

Для определения микроэлементного состава органов и тканей рыб используется свежий ихтиологический материал. Отбор образцов производится у равноразмерных особей рыб. Для анализа, как правило, отбирают 10–15 экземпляров каждого вида рыб. Образцы тканей отбираются при помощи ножа и скальпеля из нержавеющей стали. В зависимости от размера исследуемых рыб масса навески ткани варьирует от 0,3 г (ряпушка) до 7 г (щука, кумжа). Каждый образец, на котором указывается номер рыбы, место и дата отбора, помещается в отдельный полиэтиленовый пакетик и замораживается в морозильной камере или жидком азоте. В замороженном виде образцы хранятся вплоть до проведения химического анализа в лаборатории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумов, В. А. Продукционные аспекты биомониторинга пресноводных экосистем / В. А. Абакумов // Продукционно-гидробиологические исследования водных экосистем. – Л. : Наука, 1987. – С. 51–61.
2. Алекин, О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алекин. – Л. : Гидрометеиздат, 1953. – 295 с.
3. Алимов, А. Ф. Введение в продукционную гидробиологию / А. Ф. Алимов. – Л. : Наука, 1989. – 152 с.
4. Алимов, А. Ф. Элементы теории функционирования экосистем / А. Ф. Алимов. – СПб. : ЗИН РАН, 2000. – 147 с.
5. Аршаница, Н. М. Патолого-морфологический анализ состояния рыб в полевых и экспериментальных токсикологических исследованиях / Н. М. Аршаница, Л. А. Лесников // Методы ихтиологических исследований. – Л. : ГосНИОРХ НПО Примрыбвод, 1987. – С. 7–9.
6. Баканов, А. И. Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов / А. И. Баканов // Биология внутренних вод. – 2000. – № 1. – С. 68–82.
7. Балущкина Е. В. Функциональное значение личинок хирономид в континентальных водоемах / Е. В. Балущкина. – Л. : Наука, 1987. – 179 с.
8. Баринаова, С. С. Атлас водорослей-индикаторов сапробности (российский Дальний Восток) / С. С. Баринаова, Л. А. Медведева. – Владивосток : Дальнаука, 1996. – С. 364.
9. Баринаова, С. С. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды / С. С. Баринаова, Л. А. Медведева, О. В. Анисимова. – Тель-Авив, PiliesStudio. 2006. – 498 с.
10. Безматерных, Д. М. Индикация экологического состояния водных объектов по составу и структуре биоценозов / Д. М. Безматерных, В. В. Кириллов, Т. В. Кириллова // Межрегиональный медико-экологический форум: сборник материалов. – Барнаул: Аз Бука, 2006. – С. 75–79.
11. Биологический энциклопедический словарь. – М., 1986. – 831 с.
12. Вандыш, О. И. Особенности планктонных сообществ губы Белой озера Имандра при долговременном воздействии сточных вод горнорудного производства / О. И. Вандыш [и др.] // Труды КНЦ РАН. Прикладная экология Севера. – 2013. – 3 (16). – С. 35–68.
13. Головина, Н. А. Методы гематологических исследований в ихтиологической практике / Н. А. Головина // Рыбохозяйственное использование внутренних водоемов. – 1979. – Вып. 4. – С. 8–18.
14. Голодец, Г. Г. Лабораторный практикум по физиологии рыб / Г. Г. Голодец. – М. : Пищепромиздат, 1955. – 90 с.

15. ГОСТ 17.1.3.07-82. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. – Введ. 1983-01-01. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200012472>.

16. ГОСТ 17.1.3.08-82 Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества морских вод. – Введ. 1983-01-01. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200008295>

17. ГОСТ 17.1.5.04-81 Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия. – Введ. 1984-01-01. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200024103>.

18. ГОСТ 17.1.5.05-85 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод льда и атмосферных осадков. – Введ. 1986-07-01. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200008297>

19. ГОСТ Р 51592-2003 Вода. Общие требования к отбору проб. – Введ. 2001-07-01. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200008006>.

20. Гусева, К. А. К методике учета фитопланктона / К. А. Гусева // Труды Ин-та биологии водохранилищ. – Л., 1959. – Т. 2. – С. 44–51.

21. Даувальтер, В. А. Геоэкология донных отложений озер / В. А. Даувальтер. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. – 242 с.

22. Даувальтер, В. А. Исследование физического и химического состава донных отложений при оценке экологического состояния водоемов / В. А. Даувальтер. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2006. – 84 с.

23. Денисов, Д. Б. Альгоценозы Кольской Субарктики в меняющихся условиях среды / Д. Б. Денисов // Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге: сборник материалов докл. III Междунар. науч. конф. (24–29 августа 2014 г.) / Ин-т биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина. – Ярославль : Филигрань, 2014. – С. 141–143.

24. Денисов, Д. Б. Водорослевые сообщества различных ландшафтов Кольского Севера в оценке состояния водных экосистем / Д. Б. Денисов // Водоросли: таксономия, экология, использование в мониторинге. – Екатеринбург : УрО РАН, 2011а. – С. 275–281.

25. Денисов, Д. Б. Современное состояние водорослевых сообществ планктона в зоне влияния Кольской АЭС (оз. Имандра) / Д. Б. Денисов, Н. А. Кашулин // Труды КНЦ РАН. Прикладная экология Севера. – 2013. – № 3 (16). – С. 68–94.

26. Денисов, Д. Б. Экологические особенности водорослевых сообществ разнотипных субарктических водоемов / Д. Б. Денисов // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2010. – № 1 (3). – С. 48–55.

27. Денисов, Д. Б. Явления массового развития водорослей в разнотипных пресноводных водоемах Кольского полуострова как результат глобальных преобразований окружающей среды / Д. Б. Денисов

// Глобальные климатические процессы и их влияние на экосистемы арктических и субарктических регионов : тез. докл. междунар. науч. конф. (г. Мурманск, 9–11 ноября 2011 г.). – Апатиты : КНЦ РАН, 2011. – С. 45–47.

28. Диатомовые водоросли СССР. – Л., 1974. – Т. 1. – 403 с.

29. Диатомовый анализ : в 2 т. – Л., 1949. – Т. 1. – 240 с.

30. Диатомовый анализ : в 2 т. – Л., 1949. – Т. 2. – 238 с.

31. Зинченко, Т. Д. Эколого-фаунистическая характеристика хирономид (Diptera, Chironomidae) малых рек бассейна средней и нижней Волги : атлас / Т. Д. Зинченко. – Тольятти : Кассандра, 2011. – 258 с.

32. Иванова, Н. Т. Современные гематологические исследования в ихтиопатологии и их диагностическое значение / Н. Т. Иванова, Н. А. Головина // Биологические основы рыболовства: паразиты. – М., 1984. – 160 с.

33. Известия Всесоюзного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства. – Л., 1956. – Т. XLVI. – 65 с.

34. Инструкция по физиолого-биохимическим анализам рыбы. – М., 1986.

35. ISO 5667-1:2006. Качество воды. Отбор проб. Часть 1. Руководство по составлению программ и методик отбора проб. – Режим доступа: <https://www.iso.org/ru/standard/36693.html>.

36. ISO 6658:2017. Sensory analysis – Methodology – General guidance. – Режим доступа: <https://www.iso.org/ru/standard/65519.html>.

37. Кашулин, Н. А. Некоторые аспекты современного состояния пресноводных ресурсов Мурманской области / Н. А. Кашулин [и др.] // Вестник МГТУ. – 2013. – Т. 16, № 1. – С. 98–107.

38. Кашулин, Н. А. Принципы организации регионального ихтиологического мониторинга поверхностных вод / Н. А. Кашулин, А. А. Лукин // Эколого-географические проблемы Кольского Севера. – Апатиты, 1992. – С. 74–84.

39. Кашулин, Н. А. Рыбы пресных вод Субарктики как биоиндикаторы техногенного загрязнения / Н. А. Кашулин, А. А. Лукин, П.-А. Амундсен. – Апатиты : КНЦ РАН, 1999. – 142 с.

40. Кашулин, Н. А. Современные тенденции изменений пресноводных экосистем Евро-Арктического региона / Н. А. Кашулин [и др.] // Труды КНЦ РАН. Прикладная экология Севера. – 2012. – Вып. 1. – С. 6–53.

41. Китаев, С. П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. – М. : Наука, 1984. – 204 с.

42. Комулайнен, С. Ф. Методические рекомендации по изучению фитоперифитона в малых реках / С. Ф. Комулайнен. – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2003. – 43 с.

43. Косова, А. Л. К методике камеральной обработки проб для диатомового анализа донных отложений / А. Л. Косова, М. Б. Малышева,

Д. Б. Денисов // Материалы VII Всерос. совещ. по изучению четвертичного периода (г. Апатиты, 12–17 сентября 2011 г.). – Апатиты ; СПб., 2011. – Т. 1. – С. 294–296.

44. Крылов, О. Н. Методологический подход к классификации токсикозов рыб естественных водоемов / О. Н. Крылов // Изв. ГосНИОРХ. – 1974. – Т. 98. – С. 91–94.

45. Кудрявцев, А. А. Гематология животных и рыб / А. А. Кудрявцев, Л. А. Кудрявцева, Т. И. Привольнев. – М. : Колос, 1969. – 320 с.

46. Кузьмин, Г. В. Таблицы для вычисления биомассы водорослей / Г. В. Кузьмин. – Магадан, 1984. – 48 с.

47. Лабораторно-клинические методы диагностики патологий у атлантического лосося, вызванные повреждающими факторами алиментарной природы : справ. пособие / Петрозаводский гос. ун-т ; СевНИИРХ. – Петрозаводск, 1994. – 30 с.

48. Лебедева, Н. В. Биоразнообразие и методы его оценки : учеб. пособие / Н. В. Лебедева, Н. Н. Дроздов, Д. А. Криволицкий. – М. : изд-во МГУ, 1999. – 94 с.

49. Левич, А. П. Структура экологических сообществ / А. П. Левич. – М., 1980. – 181 с.

50. Макрушин А.В. Биологический анализ качества вод. Л., 1974. 60 с.

51. Макрушин, А. В. Биологический анализ качества вод / А. В. Макрушин. – Л., 1974. – 60 с.

52. Малышева, М. Б. Новые аспекты методов подготовки проб донных отложений для диатомового анализа / М. Б. Малышева, Д. Б. Денисов // Тезисы докладов X Междунар. науч. конф. (5–6 апреля 2007 г.) / Кольский филиал Петрозаводского гос. ун-та. – Апатиты, 2007. – Ч. 3. – С. 65.

53. Методические рекомендации по сбору и определению зообентоса при гидробиологических исследованиях водотоков Дальнего Востока России : метод. пособие. – М. : Изд-во ВНИРО, 2003. – 95 с.

54. Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях. – М., 1974. – 254 с.

55. Мина, М. В. Задачи и методы изучения роста в природных условиях // Современные проблемы ихтиологии / М. В. Мина. М.: Наука. 1981. С. 177–195.

56. Мина, М. В. Рост животных / М. В. Мина, Г. А. Клевезаль. – М. : Наука, 1976. – 291 с.

57. Моисеенко, Т. И. Геохимическая миграция элементов в субарктическом водоеме (на примере озера Имандра) / Т. И. Моисеенко, В. А. Даувальтер, И. В. Родюшкин. – Апатиты : КНЦ РАН, 1997а. – 127 с.

58. Моисеенко, Т. И. Горные озера как маркеры загрязнения воздуха / Т. И. Моисеенко, В. А. Даувальтер, Л. Я. Каган // Водные ресурсы. 1997б. – Т.

24, № 5. – С. 600–608.

59. Мязметс, А. Х. Изменения зоопланктона / А. Х. Мязметс // Антропогенное воздействие на малые озера. – Л., 1980. – С. 54–64.

60. Мязметс, А. Х. О качественном составе фауны ракообразных летнего зоопланктона озер ЭССР / А. Х. Мязметс // Гидробиологические исследования. – Тарту, 1958. – Т. 1. – С. 104–134.

61. Одум Ю. Основы экологии / Ю. Одум. – М. : Мир, 1975. – 740 с.

62. Одум, Ю. Экология / Ю. Одум. – М., 1986. – Ч. 1. – 376 с.

63. Оценка качества поверхностных вод Кольского Севера по гидробиологическим показателям и данным биотестирования (практические рекомендации) / Кольский филиал АН СССР. – Апатиты, 1988. – 25 с.

64. Петрович, П. Г. Соотношение биомассы и продукции рачкового планктона и коловраток в разнотипных озерах по многолетним наблюдениям / П. Г. Петрович. – Петрозаводск, 1971. – Ч. 1. – С. 60–61.

65. Правдин, И. Ф. Руководство по изучению рыб / И. Ф. Правдин. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1939. – 246 с.

66. Правдин, И. Ф. Руководство по изучению рыб / И. Ф. Правдин. – М. : Пищевая пром-сть, 1966. – 456 с.

67. Решетников, Ю. С. Экология и систематика сиговых рыб / Ю. С. Решетников. – М. : Наука, 1980. – 301 с.

68. Розенберг, Г. С. Информационный индекс и разнообразие: Больцман, Котельников, Шеннон, Уивер... / Г. С. Розенберг // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2010. – Т. 19, № 2. – С. 4–5.

69. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / В. А. Абакумов [и др.]. – СПб. : Гидрометеиздат, 1992. – 318 с.

70. Семенченко, В. П. Экологическое качество поверхностных вод / В. П. Семенченко, В. И. Разлуцкий. – 2-е изд. испр. – Минск : Беларус. наука, 2011. – 329 с.

71. Сладечек, В. Общая биологическая схема качества воды. Санитарная и техническая гидробиология / В. Сладечек. – М. : Наука, 1967. – С. 26–31.

72. Смирнов, В. С. Применение метода морфофизиологических индикаторов в экологии рыб / В. С. Смирнов [и др.]. – Петрозаводск : Карелия, 1972. – 168 с.

73. Хаберман, Ю. Х. Сезонная динамика зоопланктона пелагиали и определяющие ее факторы в Псковско-Чудском озере и озере Выртсъярв / Ю. Х. Хаберман // Сезонные явления в биологии внутренних вод. – Тарту, 1978. – С. 52–58.

74. Шаров, А. Н. Фитопланктон водоемов Кольского полуострова / А. Н. Шаров. – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2004. – 113 с.

75. Шитиков, В. К. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: в 2 кн. Кн. 1. / В. К. Шитиков, Г. С. Розенберг, Т. Д. Зинченко. – М. : Наука, 2005. – 281 с.

76. Шитиков, В. К. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: в 2 кн. Кн. 2. / В. К. Шитиков, Г. С. Розенберг, Т. Д. Зинченко. – М. : Наука, 2005. – 337 с.

77. Шитиков, В. К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В. К. Шитиков, Г. С. Розенберг, Т. Д. Зинченко. – Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.

78. Шитиков, В. К. Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения / В. К. Шитиков, Г. С. Розенберг // Структурный анализ экологических систем. Количественные методы экологии и гидробиологии: сборник науч. тр., посвященный памяти А. И. Баканова. – Тольятти : СамНЦ РАН, 2005. – С. 91–129.

79. Яковлев, В. А. Пресноводный зообентос северной Фенноскандии (разнообразие, структура и антропогенная динамика) / В. А. Яковлев. – Апатиты : КНЦ РАН, 2005. – Ч. 2. – 145 с.

80. Яковлев, В. А. Реакция зоопланктона и зообентоса на изменение качества воды субарктического водоема (на примере озера Имандра) / В. А. Яковлев // Водные ресурсы. – 1998. – Т. 25, № 6. – С. 715.

81. Яковлев, В. А. Фаунистический обзор пресноводного зообентоса северо-восточной части Фенноскандии / В. А. Яковлев // Биология внутренних вод. – 2004. – № 3. – С. 16–23.

82. Amundsen, P.-A. Gill raker morphology and feeding ecology of two sympatric whitefish (*Coregonus lavaretus*) morphs. / P.-A. Amundsen, T. Bøhn, G. H. Våga // *Ann. Zool. Fennici*. – 2004. – 41. – P. 291–300.

83. Appelberg, M. Development and intercalibration of methods in Nordic freshwater fish monitoring / M. Appelberg [et al.] // *Water, Air and Soil Pollution* 85. – 1995. – P. 401–406.

84. Appleby, P. G. ^{210}Pb dating by low background gamma counting / P. G. Appleby [et al.] // *Hydrobiologia*. – 1986. – Vol. 141. – P. 21–27.

85. Axelsson, V. A gravity corer with a simple valve system / V. Axelsson, L. Håkanson // *J. Sediment. Petrol.* – 1978. – Vol. 48. – P. 630–633.

86. Berger, W. H. Diversity of Planktonic Foraminifera in Deep Sea Sediments / W. H. Berger, F. L. Parker // *Sci.* – 1970. – Vol. 168. – P. 1345.

87. Biodiversity: Measurement and Estimation / D. Hawksworth (Ed.). – London : Chapman & Hall, 1995.

88. Biodiversity. National Forum on Biodiversity (1986: Washington, D.C.) / E. O. Wilson (Ed.). – Washington : National Academy Press, 1988. – 520 p.
89. CEN 2005. Water quality – sampling fish with multi-mesh gillnets. European Standard EN 14757. – 2005. – 27 p.
90. Edgington, D. N. Records of lead deposition in Lake Michigan sediments since 1800 / D. N. Edgington, J. A. Robbins // *Environ. Sci. Technol.* – 1976. – Vol. 10. – P. 266–274.
91. Evolution of Biological Diversity / A. E. Magurran, R. M. May (Eds.). – N-Y : Oxford Univ. Press, 1999. – 329 p.
92. Förstner, U. Metal Pollution in the Aquatic Environment / U. Förstner, G. T. W Wittmann. – Berlin : Springer-Verlag, 1979. – 210 p.
93. Förstner, U. Trace metal analyses on polluted sediments / U. Förstner, W. Salamons // Delft, the Netherlands. – 1981. – Vol. 248. – P. 1–13.
94. Gardner, W. D. Sedimentation trap dynamics and calibration: A laboratory evaluation / W. D. Gardner // *Mar. Res.* – 1978. – Vol. 23. – P. 167–173.
95. Global biodiversity assessment / V. E. Heywood (ed.). – Cambridge : University Press, 1995. – 1152 p.
96. Håkanson, L. A bottom sediment trap for recent sedimentary deposits / L. Håkanson // *Limnol. Oceanogr.* – 1976. – Vol. 21. – P. 170–174.
97. Håkanson, L. An ecological risk index for aquatic pollution control – a sedimentological approach / L. Håkanson // *Water Res.* – 1980. – Vol. 14. – P. 975–1001.
98. Håkanson, L. Determination of characteristic values for physical and chemical lake sediment parameters / L. Håkanson // *Water Resour. Res.* – 1981. – Vol. 17. – P. 1625–1640.
99. Håkanson, L. Metals in fish and sediments from River Kolbaksan water system, Sweden / L. Håkanson // *Arch. Hydrobiol.* – 1984a. – Vol. 101. – P. 373–400.
100. Håkanson, L. Principles of lake sedimentology / L. Håkanson, M. Jansson. – Berlin : Springer-Verlag, 1983. – 316 p.
101. Håkanson L. Sediment sampling in different aquatic environments: Statistical aspects / L. Håkanson // *Water Resour. Res.* – 1984b. – Vol. 20, No 1. – P. 41–46.
102. Hutchinson, G. E. A Theoretical Ecological Model of Size Distribution among Species of Animal / G. E. Hutchinson, R. H. MacArthur // *American Nature.* – 1959. – Vol. 93. – P. 117–125.
103. Hutchinson, G. E. The concept of pattern in ecology / G. E. Hutchinson // *Proc. Acad. Natur. Sci.* – 1953. – Vol. 105. – P. 1–12.
104. Krammer, T. Bacillariophyceae (Achnantheacea, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolate) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis) / K. Krammer, H. Lange-Bertalot // *Subwasserflora*

von Mitteleuropa. – Stuttgart : Gustav Fisher Verlag, 1991a. – Vol. 2, No. 4. – P. 437.

105. Krammer, T. Bacillariophyceae (Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae) / K. Krammer, H. Lange-Bertalot Sübwasserflora von Mitteleuropa. – Stuttgart : Gustav Fisher Verlag, 1988. – Vol. 2, No. 2. – P. 596.

106. Krammer, T. Bacillariophyceae (Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae / K. Krammer, H. Lange-Bertalot // Sübwasserflora von Mitteleuropa, Stuttgart: Gustav Fisher Verlag, 1991b. – Vol. 2, No. 3. – P. 576.

107. Krammer, T. Bacillariophyceae (Naviculaceae) / K. Krammer, H. Lange-Bertalot // Sübwasserflora von Mitteleuropa. – Stuttgart : Gustav Fisher Verlag, 1986. – Vol. 2, No. 1. – P. 876.

108. Krammer, K. Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Vol. 1: The genus *Pinnularia* / K. Krammer. – A.R.G. Gantner Verlag K.G, Ruggell, 2000. – 703 p.

109. Krammer, K. Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Vol. 3: *Cymbella* / K. Krammer. – A.R.G. Gantner Verlag K.G, Ruggell, 2002. – 584 p.

110. Krammer, K. Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Vol. 4: *Cymbopleura*, *Delicata*, *Navicymbula*, *Gomphocymbellopsis*, *Afrocymbella* / K. Krammer. – A.R.G. Gantner Verlag K.G, Ruggell, 2003. – 530 p.

111. Kurkilahti, M. Nordic multimesh gillnet – robust gear for sampling fish populations : academic dissertation / Department of Biology. – University of Turku. 1999.

112. Lange-Bertalot, H. Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Vol. 2: *Navicula sensu stricto*. 10 Genera Separated from *Navicula sensu lato* / H. Lange-Bertalot. – Frustulia. A.R.G. Gantner Verlag K.G, Ruggell, 2001. – 526 p.

113. Magurran, A. E. Measuring biological diversity / A. E. Magurran. – Oxford : Blackwell Publishing, 2004. – 256 p.

114. Margalef, R. Information theory in ecology / R. Margalef // Gen. Syst. – 1958. – No. 3. – P. 36–71.

115. McArthur, R. H. Pattern of Terrestrial Bird Communities / R. H. McArthur // Avian Biology. – 1971. – Vol. I. P. – 189–221.

116. Norton, S. A. Trace metal pollution in eastern Finnmark, Norway and Kola Peninsula, Northeastern Russia as evidences by studies of lake sediment / S. A. Norton [et al.] // NIVA-Report 41/1996. – Oslo, 1996. – 18 p.

117. Norton, S. A. Trace metal pollution in eastern Finnmark, Norway, as evidenced by studies of lake sediments / S. A. Norton [et al.] // SFT-report 487/92. – Oslo, 1992. – 42 p.

118. Pantle R., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. Gas – und Wasserfach / R. Pantle, H. Buck. – 1955. – 604 p.

119. Renberg, I. Improved methods for sampling, photographing and varve-counting of varved lake sediments / I. Renberg // *Boreas*. – 1981. – Vol. 10. – P. 255–258.
120. Robbins, J. A. Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using ^{210}Pb and ^{137}Cs / J. A. Robbins, D. N. Edgington // *Geochim. Cosmochim. Acta*. – 1975. – Vol. 39. – P. 285–304.
121. Rognerud, S. Kvikksolv i Mjosa's sedimenter / S. Rognerud // NIVA-rapport 0-82105. – Oslo, 1985. – 47 p.
122. Rosenberg, D. M. Freshwater biomonitoring ana benthic macroinvertebrates / D. M. Rosenberg, V. H. Resh. – N.Y. : Chapman and Hall, 1993. – 488 p.
123. Shannon, C. E. The mathematical theory of communication / C. E. Shannon // *Bell Syst. Techn. J.* – 1948. – Vol. 27. – P. 379–423.
124. Shannon, C. E. The mathematical theory of communication / C. E. Shannon, W. Weaver. – Urbana, 1963. – P. 117.
125. Simpson, E. H. Measurement of species diversity / E. H. Simpson // *Nature*. – 1949. – Vol. 163. – 688.
126. Siwertsson, A. Temporal stability in gill raker numbers of subarctic European whitefish populations / A. Siwertsson, R. Knudsen, P.-A. Amundsen // *Advanc. Limnol.* – 2008. – Vol. 63. – P. 229–240.
127. Skogheim, O. K. Rapport fra Arungenprosjektet / O. K. Skogheim. – Oslo, 1979. – As- NLH, Nr. 2. – 7 p.
128. Sladeček V. System of water quality from the biological point of view. // *Arch. Hydrobiol., Beiheftz., Ergebnisse der Limnol.* – 1973. – Bd 7.– S. 1–218.
129. State of the Environment in the Norwegian, Finnish and Russian Border Area / K. Stebel, G. N. Christensen, J. Derome and I. Grekelä (Eds) // *The Finnish Environment*. – 2007. – Vol. 6. – 88 p.
130. Tikkanen, T. Kasviplanktonopas / T. Tikkanen. Forssan kirjapaino Oy, Forssa, 1986. – 278 p.
131. Wengelenska, T. Structure and dynamics of zooplankton / T. Wengelenska, L. Bownik-Dylinska, J. Ejsmont-Karabin // *Ekol. pol.* – 1983. – Vol. 31, No. 3. – P. 679–717.
132. Whittaker, R. H. Evolution and Measurement of Species Diversity / R. H. Whittaker // *Taxon*. – 1972. – Vol. 21. – P. 213–251.
133. Wiederholm, T. Use of benthos in lake monitoring / T. Wiederholm // *J. Water Pollut. Contr. Fed.* – 1980. – Vol. 52. – P. 537–547.

Типы отбираемых проб

Тип пробы	Область применения
1. Точечные	<p>Отбор точечных проб применяют, когда поток воды не однороден, значения определяемых показателей не постоянны (использование составной пробы делает неясными различия между отдельными пробами); при исследовании возможного наличия загрязнения или для определения времени (в случае автоматического отбора проб) его появления, а также при проведении обширной программы отбора проб.</p> <p>Точечные пробы предпочтительнее, если цель программы отбора проб – оценить качество воды по отношению к нормативам содержания (предельно допустимых концентрации) показателей в воде, установленных в НД, а также рекомендуются для определения неустойчивых показателей (концентрация растворенных газов, остаточного хлора, растворимых сульфидов и др.)</p>
2. Периодические (периодический отбор)	
времязависящие	<p>Пробы отбирают в одну или более емкостей. За фиксированное время (используется устройство отсчета времени начала и окончания отбора) в каждую емкость для отбора проб отбирается один и тот же установленный объем.</p> <p><i>Примечание:</i> время отбора может зависеть от определяемого показателя</p>
потокозависящие	<p>Пробы различных объемов берутся за постоянные интервалы времени, объем зависит от потока. Метод отбора применяют, если изменения в составе воды и скорость потока не взаимосвязаны</p>
объемозависящие	<p>Для каждой единицы объема потока воды проба берется независимо от времени. Метод отбора применяют, если изменения в составе воды и скорость потока не взаимосвязаны</p>
3. Непрерывные (непрерывный отбор)	
отобранные при постоянной скорости потока	<p>Пробы позволяют получить все сведения о показателях воды за период отбора проб, но во многих случаях не обеспечивают информацией о различиях в концентрациях определяемых показателей</p>

отобранные при непостоянной скорости потока	Пробы отбирают пропорционально потоку воды. Метод используют при определении состава большого объема воды. Это наиболее точный метод отбора проб проточной воды, если скорость потока и концентрация определяемых показателей изменяются значительно
4. Отбор проб сериями	
пробы глубинного профиля	Серия проб воды, отобранных на различных глубинах исследуемой воды в конкретном месте
пробы профиля площади	Серия проб воды, отобранных на определенной глубине исследуемой воды в различных местах.
5. Составная	Составная проба может быть получена вручную или автоматически независимо от метода отбора проб (например, непрерывно взятые пробы могут быть соединены вместе для получения составных проб). Составные пробы применяют в случаях, когда требуются усредненные данные о составе воды
6. Пробы большого объема	Пробы объемом от 50 дм ³ до нескольких кубических метров. Пробу отбирают в емкость (цистерну) пропусканием измеренного объема через фильтр в зависимости от определяемого показателя (например, ионообменный фильтр или фильтр с активированным углем используют для отбора проб некоторых пестицидов, фильтр из полипропилена со средним диаметром пор 1 мкм – для криптоспоридий). При подаче воды под давлением для контроля потока применяют регулирующий клапан. Насос располагают после фильтра и после измерителя: если пробу отбирают для определения легкотекучего показателя, то насос располагают ближе к месту отбору пробы, измеритель – после фильтра. При отборе пробы воды, содержащей взвешенные твердые частицы, которые могут загрязнять фильтр, применяют дополнительные фильтры, расположенные параллельно. При использовании более одного фильтра пробу рассматривают как составную пробу. Сточная вода, для которой режим отбора проб предусматривает возврат в основную часть исследуемой воды, из которой отбирают пробы, должна возвращаться достаточно далеко от точки отбора проб, чтобы она не могла влиять на воду, из которой отбирают пробы