



Городничев Руслан Михайлович,
к.б.н., зав. лаб. Биом ИЕН СВФУ



Пестрякова Людмила Агафьевна,
д.г.н., г.н.с. ИЕН СВФУ, руководи-
тель магистратуры по профилям
«Геоэкология» и «Биоэкология»



Ядрихинский Иван Васильевич,
к.г.н., м.н.с. лаб. Биом ИЕН СВФУ

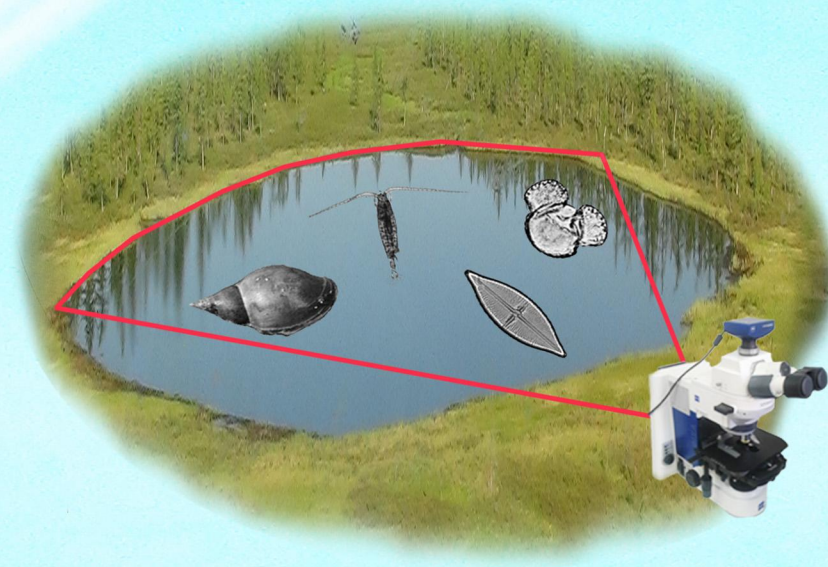


Ушницкая Лена Алексеевна,
н.с. лаб. Биом ИЕН СВФУ



Фролова Лариса Александровна,
к.б.н., доцент кафедры зоологии
и общей биологии ИФМиБ КФУ,
в.н.с., руководитель НИЛ «Палео-
климатологии, палеоэкологии и
палеомагнетизма» ИГиНГТ КФУ

Методы экологических исследований ОЗЕРНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ



Якутск 2017

Министерство образования и науки Российской Федерации
Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова
Институт естественных наук
Эколого-географическое отделение

Методы экологических исследований

ОЗЕРНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Учебно-методическое пособие

Якутск
2017

УДК 556(075.8)
ББК 26.22.6я73

Рекомендовано к печати учебно-методической комиссией ИЕН

Авторы:

Р.М. Городничев, Л.А. Пестрякова, И.В. Ядрихинский, Л.А. Ушницкая,
Л.А. Фролова

Рецензенты:

д.б.н. М.М. Черосов (Институт биологических проблем криолитозоны СО
РАН, г. Якутск)
д.г.н. Д.А. Субетто (Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, г. Пет-
розаводск)

Методы экологических исследований. Озерные экосистемы : учебно-методическое пособие / [Р.М. Городничев и др.]. – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2017. – 68 с.

ISBN 978-5-7513-2456-8

В пособии приведено описание методических основ изучения озерных экосистем, в том числе методов полевых исследований озер, отбора проб воды, донных отложений и сбора гидробиологического материала, приемов изучения зообентоса, зоопланктона, диатомовых водорослей, а также спорово-пыльцевого анализа донных отложений озер.

Предназначено для магистрантов направлений 022000 «Экология и природопользование» по профилю «Геоэкология» и 060401 «Биология» по профилю «Биоэкология».

УДК 556(075.8)
ББК 26.22.6я73

ISBN 978-5-7513-2456-8

© Северо-Восточный федеральный университет, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
1. Организация и проведение полевых работ на озере	6
2. Изучение животных – обитателей дна озера	17
3. Методические основы изучения зоопланктона	25
4. Диатомовый анализ.....	34
5. Спорово-пыльцевой анализ донных отложений озер	55
Литература	60
Глоссарий.....	63

ПРЕДИСЛОВИЕ

Все большую актуальность в современном мире (в условиях усиления негативного влияния человечества на природу) получают исследования взаимоотношений и взаимосвязей живых организмов между собой и с окружающей их средой. Такого рода исследовательские работы в широком смысле могут быть названы «экологическими». Живые организмы обитают в различных уголках и местах нашей планеты: на суше, в почве, в воздухе, в других организмах и в воде. Вместе со средой своего обитания, с которой они объединены комплексом взаимосвязей (прежде всего, пищевых и пространственных), организмы образуют более сложные биологические комплексы – экосистемы. Одной из наиболее чувствительных групп таких надорганизменных образований являются озерные экосистемы, которые обладают замедленным возобновлением водных масс, что обуславливает их низкую способность к самоочищению и самовосстановлению. Негативное антропогенное влияние особенно остро наблюдается на небольших по размерам озерах, являющихся типичными для территории Якутии. Изучению именно таких озерных экосистем и посвящено данное учебно-методическое пособие.

В пособии основной упор делается на описание методик и особенностей работы с материально-техническими средствами, которые в своей деятельности используют авторы и которыми оснащен Институт естественных наук (ИЕН) СВФУ. Также приведены рекомендации по организации, проведению и оснащению полевых исследований озерных экосистем, осуществлено описание методик исследования донных беспозвоночных животных, зоопланктона и диатомовых водорослей. В книге, наряду с оригинальными разделами, включены несколько переработанные и дополненные параграфы, получившие свое воплощение в пособии по палеоэкологическим исследованиям [Палеоэкология. Методологические..., 2016], которые в равной степени пригодны для выявления современного экологического состояния водоемов.

Настоящее учебно-методическое пособие предназначено, главным образом, для студентов и преподавателей эколого-географического

отделения ИЕН СВФУ, однако оно также может быть полезно для обучающихся и специалистов других подразделений и организаций, занимающихся вопросами экологии вод, лимнологии, гидрологии и гидробиологии.

Авторы желают читателю плодотворной, творческой и успешной деятельности и выражают надежду, что данное издание займет достойное место в его научном и образовательном процессе.

1. Организация и проведение полевых работ на озере

В данном разделе даны описания типовых исследований, реализуемых авторами пособия – сотрудниками эколого-географического отделения Института естественных наук СВФУ с учетом имеющейся материально-технической базы, а также в соответствии со спецификой научно-исследовательских работ, которые нами реализуются. Одними из объектов для широкого спектра экологических исследований на территории Якутии являются небольшие водоемы (озера). Основным источником информации о происходящих с озерной экосистемой изменениях выступают их донные отложения, они формируются из года в год, накапливаются на дне озерной котловины послойно. Изучая сведения, полученные из толщи отложений, можно установить много интересного об истории развития озера и окружающей его территории (узнать о составе растительных сообществ водосборной территории, о видах водорослей и беспозвоночных животных, останки некоторых отделов и типов которых хорошо сохраняются в течение тысячелетий др.).

Общие рекомендации к проведению полевых работ. Важными изучаемыми компонентами озера являются вода и донные отложения. Следовательно, при проведении такого исследования необходимо отобрать пробы воды и донных отложений озера. В каждом отдельном случае перед исследователем могут стоять определенные цели и задачи, которые выявляют, насколько детально нужно исследовать тот или иной компонент. Ниже приведены краткие рекомендации к проведению «типового» экологического исследования на озере и перечень необходимого для его выполнения оборудования и материалов (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Рекомендуемый перечень оборудования и материалов, необходимых для типовых экологических исследований на озере

№	Наименование оборудования и материалов	Назначение
1	Карта озера и прилегающей местности	Для ориентации на местности и измерения морфометрических па-

		раметров
2	Полевой блокнот (дневник), карандаш и измерительная линейка	Запись измерений портативного анализатора физико-химических параметров воды, значений максимальной глубины, прозрачности, даты исследования и примечаний
3	Фотокамера	Панорамное фото озера
4	Перманентный (водостойкий) маркер	Для маркировки проб
5	Резиновая лодка	Перемещение по озеру
6	Спасательные жилеты	Безопасность
7	GPS/ГЛОНАСС-навигатор	Ориентация на местности и запись координат исследуемых точек
8	Эхолот ручной	Измерение глубины, нахождение точки с максимальной глубиной
9	Веревка с промаркированной длиной и возможностью быстрого крепления и снятия приборов	Крепление приборов, определение глубины нахождения батометра
10	Диск Секки на веревке, размеченной по длине (глубине)	Определение прозрачности воды
11	Сеть Апштейна фитопланктонная с размером ячейки сита 5-7 мкм	Отбор проб фитопланктона
12	Сеть Апштейна зоопланктонная с размером ячейки сита 70-80 мкм	Отбор проб зоопланктона
13	Сито с ячейкой 0,25-0,5 мм	Процеживание и отбор мелких животных
14	Пинцет	Для отбора мелких животных из сита
15	Дночерпатель (например, дночерпатель типа Экмана-Берджи)	Отбор поверхностных проб донных отложений, отбор бентосных животных
16	Гравитационный бур ÜWITEC	Отбор колонок (кernов) донных отложений
17	Трубка (контейнер для пробы)	Хранение и транспортировка коло-

	гравитационного бура ÜWITEC с парой крышек	нок донных отложений
18	Бутылка для пробы воды на химический анализ (0,5-2,5 л)	Хранение пробы воды для химических исследований
19	Бутылка для пробы фитопланктона (0,1-0,25 л)	Хранение пробы фитопланктона
20	Бутылка для пробы зоопланктона (0,1-0,25 л)	Хранение пробы зоопланктона
21	Бутылка для донных (бентосных организмов) (0,1-0,5 л)	Хранение пробы донных (бентосных организмов)
22	Пакет (или бутылка) для поверхностной пробы донных отложений	Хранение пробы донных отложений
23	Портативный измеритель физико-химических параметров воды WTW Multi-340i	Измерение значений pH, температуры воды, удельной электропроводности, концентрации кислорода
24	Батарейки для GPS/ГЛОНАСС-навигатора и эхолота	Для перезарядки GPS/ГЛОНАСС-навигатора и эхолота
25	Резиновые сапоги	Защита от влаги
26	Пятиточечник – коврик, крепящийся к ягодицам и защищающий от влаги и холода	Защита от влаги
27	ПВХ-плащ	Защита от влаги

Обычно исследования проводятся в летний период (период жидкой фазы воды). При изучении озера необходимо с берега сделать его фото (желательно панорамное), которое в дальнейшем может выступать ценным источником информации о размерах, форме озера, характере берегов, водной и околосредовой растительности, представителях животного мира и погоде. Координаты точки берега, откуда производится фотографирование, фиксируются при помощи GPS/ГЛОНАСС-навигатора.

Отбор проб и транспортировка по озеру осуществляются на надувной резиновой лодке. Первое, что необходимо сделать, перемещаясь на

лодке, это определить глубину озера и найти точку с максимальной глубиной. Именно в точке с максимальной глубиной обычно производится отбор всех основных видов проб (донные отложения, поверхностные пробы воды на химический анализ, пробы фито- и зооплankтона). Измерение глубины можно производить классическим способом (груз, привязанный к размеченной по глубине веревке) или с использованием современных ручных портативных эхолотов.

***Примечание.** Все приборы, опускаемые в воду, прикреплены к веревкам, которые заранее размечены визуально (узелками, клейкой лентой и др.) через фиксированные промежутки длины. Это необходимо, чтобы знать, на какой глубине находится прибор (дночерпатель, батометр, бур и др.).*

Для того чтобы зафиксировать лодку в точке максимальной глубины, следует использовать заранее подготовленный якорь (камень в мешке, к которому прикреплена веревка, тяжелый предмет с веревкой, дночерпатель и др.). После того, как движение лодки прекращено, необходимо записать координаты точки ее местоположения (с помощью GPS/ГЛОНАСС-навигатора). Далее в этой точке производится отбор поверхностной пробы воды на химический анализ. Для этих целей используется стерильная пластиковая бутылка емкостью 0,5-2 л. Бутылка опускается в воду до глубины примерно 30 см. Также в этой точке можно отобрать пробы воды с различной глубины (у дна, в середине столба воды, через каждые 1-2 метра глубины и др.). Для этого используется батометр – емкость определенного объема (обычно около 1-2 л), опускаемая на веревке и способная закрываться или открываться по желанию исследователя, что позволяет отбирать пробы воды на любой глубине.

После отбора пробы воды на химический анализ (либо одновременно с ним) при помощи портативного многопараметрового измерителя (обычно используется WTW Multi-340i или аналог) осуществляется измерение таких физико-химических параметров воды, как рН, температура, концентрация кислорода, удельная электропроводность (рис. 1.1). Данные параметры необходимо измерять непосредственно в воде, опуская сенсоры (электроды) прибора в воду. Не допускается сначала

набирать воду в бутылку, а затем проводить измерения «в бутылке», так как полученные значения об исследуемых параметрах в этом случае обычно существенно отличаются. Все измеренные значения записываются в блокнот сразу, здесь же указываются название точки, дата (число, месяц, год, время), значение максимальной глубины (в метрах, с точностью до десятых долей) и координаты точки.

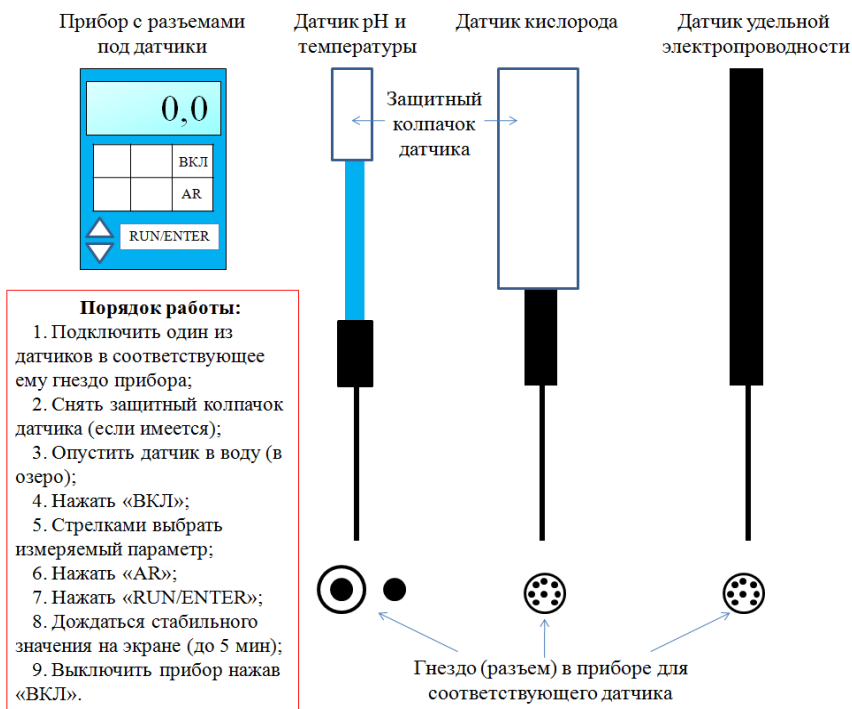


Рис. 1.1. Работа с портативным измерителем физико-химических параметров воды

Далее производится измерение прозрачности воды (рис. 1.2). Для этих целей используют диск Секки, который представляет собой металлический круг диаметром 20 см, обычно белого цвета (реже белый с черными полосами или сегментами), привязанный к веревке, на которой через каждые пять-десять сантиметров сделаны метки глубины

погружения диска. Диск опускается в воду (с теневой стороны лодки) до тех пор, пока не исчезнет из вида. Для определения прозрачности нужно измерить с помощью диска 2 глубины. Первая – глубина, на которой диск исчезает из вида, вторая – на которой диск снова становится видимым. Среднее арифметическое между двумя этими значениями и является прозрачностью воды.

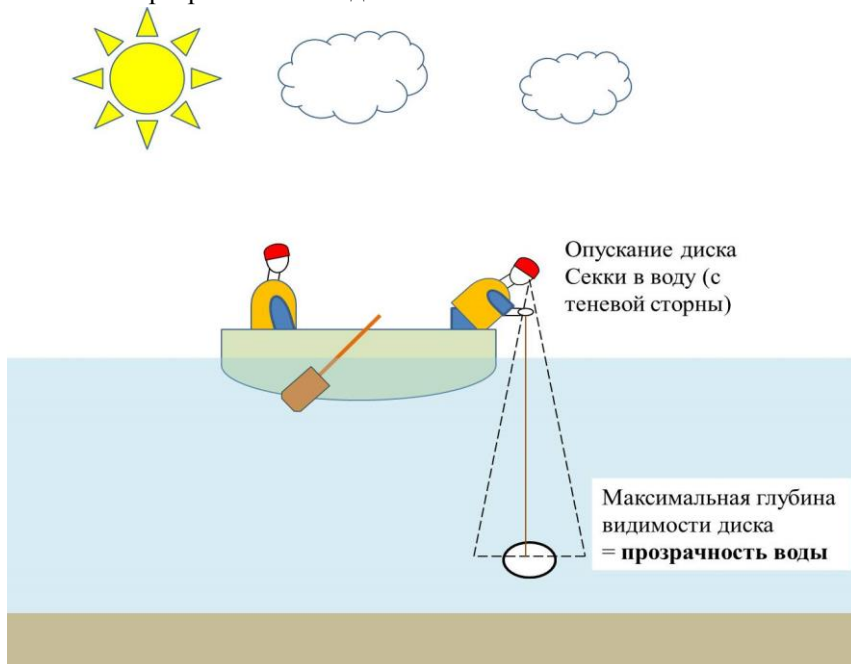


Рис. 1.2. Измерение прозрачности воды при помощи диска Секки

Сбор фито- и зоопланктона. Далее переходят к отбору проб фитопланктона и зоопланктона. Для этих целей используют специальные пробоотборники – сети Апштейна с размером ячейки сита 5-7 (для фитопланктона) и 80 (для зоопланктона) мкм. Размеры ячейки сита могут варьировать (в зависимости от производителя). Сеть Апштейна представляет собой специальный прибор, выполненный в виде сети конической формы. В узкой нижней части конуса закреплена бутылочка (объ-

ем в среднем 200 мл), в которой аккумулируются (невидимые глазу) планктонные организмы.

Работают с сетью Апштейна следующим образом (рис. 1.3): через нее пропускается определенный фиксированный объем воды, для этих целей удобно пользоваться ведром (5-10 л). Вода свободно проходит через сеть, а микроорганизмы в ней оседают с некоторым количеством воды, оставшейся в бутылочке. Далее «жидкая» проба фито- или зоопланктона переливается из бутылочки сети Апштейна в стерильную емкость (бутылка для отбора проб), где она будет в дальнейшем храниться. Для количественного учета проб зоопланктона через сеть обычно пропускают 50-100 л воды, для фитопланктона – 1-2 л.

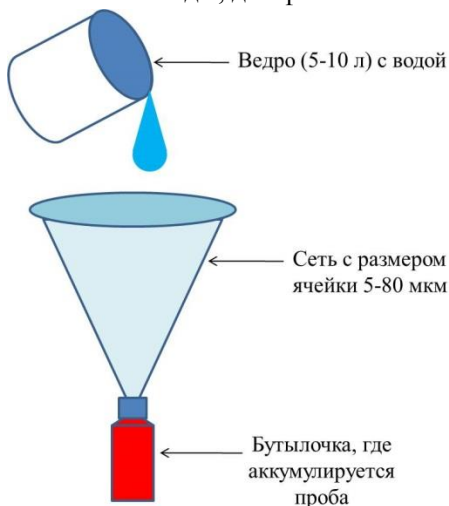


Рис. 1.3. Использование сети Апштейна

Отбор проб донных отложений. После проведения всех вышеуказанных манипуляций переходят к отбору донных отложений. Отбор донных отложений делается в последнюю очередь, чтобы избежать загрязнения воды поднимаемыми со дна частицами грунта. Для отбора донных отложений обычно используются 2 основных типа приборов: дночерпатели (рис. 1.4) и буры (рис. 1.5), которые закрепляются на веревке и опускаются в воду. Дночерпатели служат для отбора поверх-

ностного слоя донных отложений, а буры – для получения более мощных колонок грунта.

Дночерпатели обычно представляют собой металлическую коробку (размером 20 x 20 x 20 см), которая погружается в грунт, после чего днище коробочки закрывается, и донные отложения остаются внутри. Далее дночерпатель извлекается из воды, и донные пробы помещаются в бутылочки или пакеты (заранее подписанные).

Грунтовые буры по форме напоминают металлическую трубку. Они погружаются в грунт вертикально, так, чтобы внутри оказалась колонка (кern) донных отложений, где сохраняется ненарушенной вся их вертикальная структура. После чего колонка отложений аккуратно извлекается и упаковывается так, чтобы структура отложений не была нарушена. При этом необходимо обозначить верхнюю и нижнюю часть колонки. Обычно с лодки отбираются колонки с вертикальной мощностью не более 1 м (реже до 2 м).

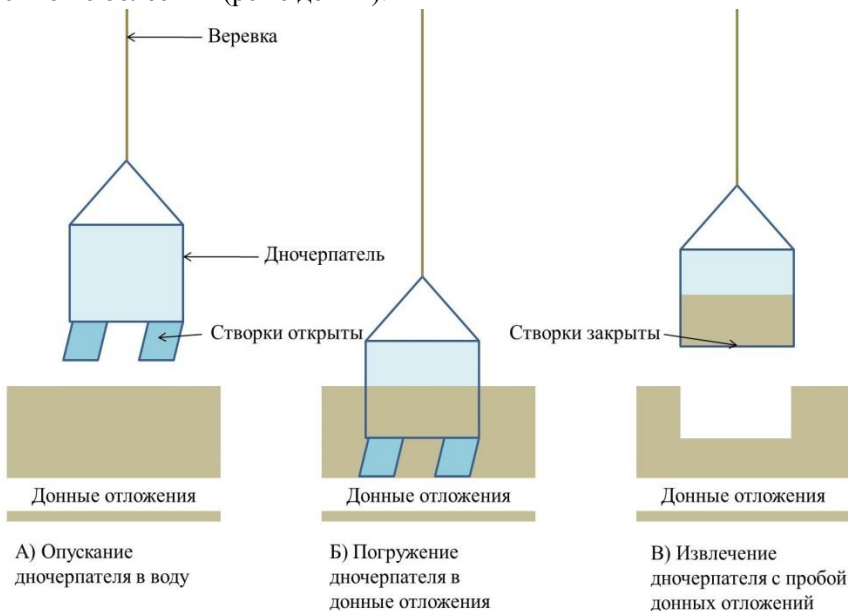


Рис. 1.4. Принцип работы дночерпателя

Существуют грунтовые буры разных типов для отбора кернов разной мощности. С лодки удобно пользоваться так называемым «гравитационным» буром ÜWITEC, который по строению несколько напоминает большой медицинский шприц (рис. 1.5). В него заранее устанавливаются прозрачные пластиковые трубки (диаметр 6 см, длина 60-150 см), в которые отбирается проба и которые служат контейнером для ее хранения. Гравитационный бур опускается из лодки, в результате свободного падения втыкается вертикально в грунт, после чего автоматически срабатывает механизм, закрывающий нижнее отверстие трубки, что препятствует вытеканию донных отложений. Далее оператор вытягивает бур за веревку вверх на лодку, после чего осуществляется аккуратная транспортировка бура с пробой на берег, где проводится извлечение трубки из бура и ее упаковка.

Для гравитационного бура ÜWITEC трубки (трубы) выступают в качестве расходных материалов. К трубкам для транспортировки поставляются специальные пластиковые крышечки, плотно надевающиеся с обоих концов трубы. Перед упаковкой колонки (керна) донных отложений необходимо обрезать излишек трубы ножом для водопроводных труб. После надевания крышек нужно прямо на упакованной трубке написать, с какой стороны находится верхняя, а с какой – нижняя часть колонки.

Прочие манипуляции. Далее непосредственно на берегу производят консервацию проб фито- и зоопланктона путем добавления в нее формалина (4 % раствор) или спирта (70 % раствор). Помимо указанных работ на озере также можно производить исследование фито- и зоопланктона близ берега, заходя в воду в болотных сапогах. С берега можно изучить качественный состав водных беспозвоночных животных, исследуя грунт, водную растительность, используя для этих целей сито (диаметр 1 мм и более) и пинцет. Все организмы отбираются в небольшую емкость (бутылку) с водой и фиксируются спиртом или формалином. Также можно отобрать дночерпателем поверхностные пробы донных отложений из различных частей озера (например, в точках с глубиной, соответствующей значению прозрачности воды), промыв данные пробы при помощи сита и пинцета, нужно извлечь всех

донных животных (зообентос) для дальнейших лабораторных исследований.

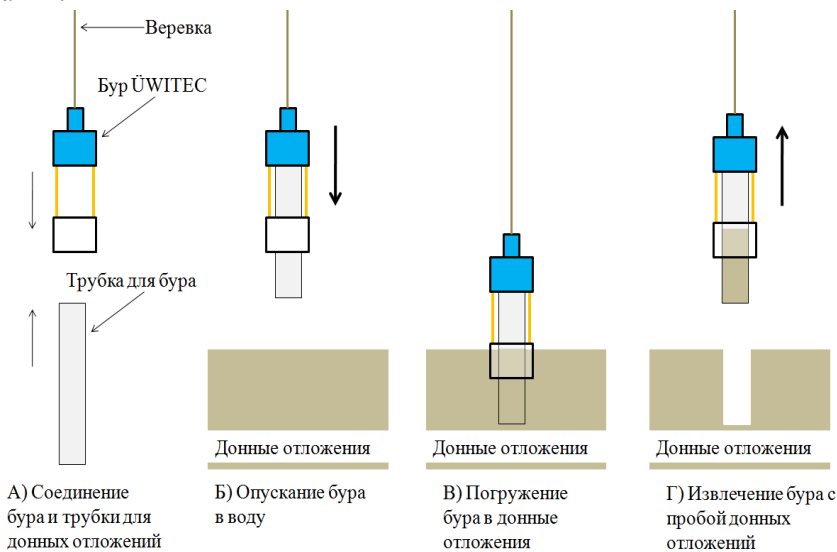


Рис. 1.5. Принцип работы гравитационного бура

Все отобранные на озере пробы должны быть хорошо упакованы, храниться при температуре (+4°C – температура стандартного бытового холодильника). Пробы на химический анализ воды могут быть профильтрованы с использованием шприца и целлюлозно-ацетатных шприцевых фильтров. Фильтрация осуществляется из бутылки с отобранной пробой в чистые стерильные бутылочки, обычно меньших размеров. Ряд компонентов химического состава воды (концентрация гидрокарбонатов, общего железа, кремния, фосфатов, общая жесткость и др.) могут быть определены титрованием в полевых условиях с использованием переносных лабораторий (например, лабораторные наборы Крисмас+). Общим требованием ко всем гидрохимическим пробам является скорейшая их доставка в лабораторию и проведение химических анализов. Также в полевых условиях можно определить значения таких основных морфометрических параметров озера (поми-

мо глубины, о которой говорилось ранее), как длина и максимальная ширина водного зеркала.

Примечание. Обычно измеряя морфометрические параметры озера, его водную поверхность именуют водным зеркалом.

Для установления значений длины и максимальной ширины озера могут быть использованы карты достаточно высокого разрешения с известным масштабом (например, 1:50000) или космические снимки и измерительная линейка. Космические снимки открытого доступа можно получить из информационных порталов Google, Yandex и др. Под длиной озера подразумевают кратчайшее расстояние между двумя наиболее удаленными точками береговой линии, проводимое по его водной поверхности. Максимальная ширина – линия, перпендикулярная длине, соединяющая наиболее удаленные точки противоположных берегов. Измерив линейкой длину и максимальную ширину в сантиметрах, умножаем полученное значение на масштаб карты и переводим получившийся результат в километры. Определение морфометрических параметров может быть осуществлено как до отбора проб, так и после.

В целом следует сказать, что выше приведена типовая схема работ на озере, которая может меняться в зависимости от целей и задач исследования с учетом возможностей исследователей и наличия соответствующих материалов и оборудования. Кратко рекомендуемая схема работ приведена на рисунке 1.6.

Основы безопасности. Полевые исследования на озере необходимо проводить с соблюдением правил техники безопасности. Исследователи, находящиеся в лодке, обязательно должны быть в спасательных жилетах, рассчитанных на массу их тела с учетом снаряжения. Категорически запрещается находиться в лодке в болотных резиновых сапогах, привязанных на стропах или резиновых жгутах к брючному ремню или же зафиксированных иным образом, затрудняющим их снятие. Запрещается крепить к себе снаряжение или экипировку, которые в случаях падения в воду мешают удерживать тело на плаву или тянут его ко дну.

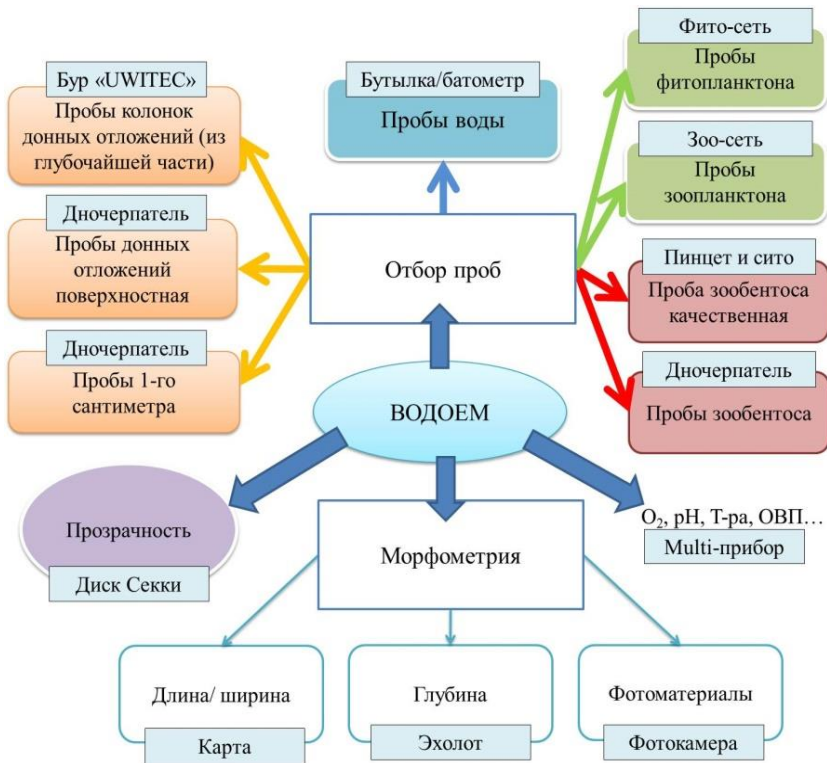


Рис. 1.6. Схема программы полевых исследований водоемов

2. Изучение животных – обитателей дна озера

Организмы, обитающие на дне водоема, называются бентосом [Абакумов, 1983; Жадин, 1950]. Бентос принято делить на растительный, который именуют фитобентосом, и животный, называемый зообентосом. Настоящий раздел посвящен изучению животного бентоса.

Зообентос в озерах занимает два биотопа: растительность и грунт. Наиболее подвижные представители донных животных могут плавать в воде близ поверхности субстрата или в зарослях водной растительности.

В зависимости от размеров тела зообентос делится на 3 группы: микробентос – меньше 0,5 мм; мезобентос – от 0,5 до 3 мм и макробентос – более 3 мм (реже более 2 мм).

Среди представителей макробентоса выделяют такие организмы, как личинки хирономид, половозрелые особи олигохет и двустворчатые моллюски.

Мезобентос состоит из животных, которые в процессе роста переходят в разряд макробентоса, и тех, чьи размеры во взрослом состоянии не превышают 2 мм. Микробентос – простейшие (например, инфузории), низшие ракообразные, нематоды и др.

Зообентос является одним из самых лучших индикаторов загрязнения придонного слоя воды и донных отложений озер.

Самыми лучшими индикаторами качества воды выступают личинки насекомых: хирономиды, поденки, ручейники и веснянки. Среди стойких к загрязнению представителей бентоса выделяются олигохеты и моллюски, характеризующиеся высокой продолжительностью жизни (до 7 лет).

Выбор места и времени отбора проб. До проведения исследований необходимо определиться, какие участки забора проб следует использовать. Размер участков исследования зависит от размеров исследуемого водного объекта. Чем больше водоем, тем большие участки следует исследовать. Количество станций (точек) отбора проб выбирается в зависимости от задач исследований, неоднородности условий внутри озера.

В небольших озерах (обладающих площадью меньше, чем 100 га) округлой формы с илистым грунтом достаточным количеством станций будет 5. В больших по площади водоемах с хорошо развитой литоральной частью и обилием заливов и плесов следует: в каждом достаточно крупном заливе (не менее 5 % площади озера) организовать 3-4 станции отбора проб, чтобы охватить центральную и прибрежную часть, различающиеся типом грунта; для каждого плеса организовать сеть станций вдоль поперечных размеров водоемов, так, чтобы в каждом разрезе было не менее 3 точек отбора проб.

Периоды отбора проб. Отбор проб главным образом проводится в период вегетации – после таяния льда (весной) до глубокой осени. Однако возможна организация круглогодичных и даже многолетних исследований, когда пробы отбираются и зимой. Круглогодичные и многолетние исследования проводятся для изучения продуктивности видов, изучения видового разнообразия, жизненных циклов и др. Периодичность отбора проб должна учитывать неодинаковую скорость гибели и воспроизводства видов. Частый отбор проб помогает проследить за развитием данного процесса.

Отбор проб бентоса. Основным прибором для отбора проб бентоса являются дночерпатели различных типов (Экмана-Берджи, Петерсена и др.) (рис. 2.1). Данные приборы позволяют отбирать пробы (находясь на борту лодки) со дна в тех местах озер, где невозможен ручной сбор бентоса, например в центральной части водоема. Подробное описание работы с дночерпателем приведено в разделе 1. Отбор проб бентоса можно проводить и на мелководье вручную. Для этих целей используются рамки, ограничивающие определенную площадь дна (например, 1 м²), в пределах которой производится отбор бентофауны. Рекомендуется комбинировать различные методы сбора проб для более полного охвата различных размерных и систематических групп донных животных.

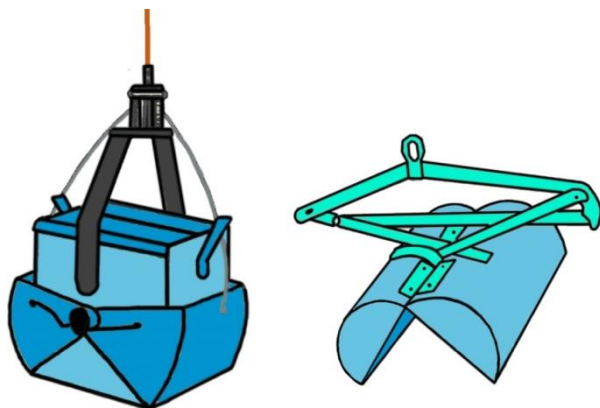


Рис. 2.1. Дночерпатели (слева – дночерпатель типа Экмана-Берджи, справа – Петерсена)

Дночерпатели отбирают пробы бентоса вместе с донными отложениями. После отбора донные отложения помещаются в таз или другую емкость. Из таза можно отобрать пробы донных отложений на различные седиментологические анализы (гранулометрический состав, химический состав и др.). Непосредственно в полевых условиях можно приблизительно определить тип донных отложений следующим образом:

- илистый – во время растирания пальцами не чувствуется частиц песка;
- глинистый – при растирании пальцами грунт проявляет пластичность;
- илисто-песчаный – ил преобладает, но чувствуются частички песка при растирании;
- песчано-илистый – песок покрыт илом (полностью или частично);
- песчаный – характеризуется преобладанием песка с редким появлением камней;
- каменисто-песчаный – преобладают камни, однако среди них встречаются участки открытого песчаного грунта;
- каменистый – дно покрыто преимущественно камнями;
- задернованный (здернованные почвы) – грунт с остатками дерна наземной растительности (встречается в различных искусственных водоемах – прудах, водохранилищах и др.).

Для отбора бентоса на качественный анализ можно также отбирать пробы скребками (рис. 2.2) на мелководье.

Для сбора крупных организмов, таких как двустворчатые моллюски, на мелководье можно применять рамку, ограничивающую участок дна, площадью 1 м². Рамка накладывается на грунт, ее положение фиксируется при помощи вдавленных в грунт шипов. В пределах ограниченного рамкой пространства крупных животных выбирают вручную, полученный материал просчитывают на месте, несколько экземпляров фиксируют формалином для уточнения видового состава, а остальных моллюсков возвращают в водоем.

После отбора дночерпателем проб донных отложений, содержащих бентос, их необходимо сразу промыть для отделения организмов от грунта. Для этих целей используют сита с различным диаметром ячеек

в зависимости от размеров организмов макро- и мезобентоса (например, с ячейкой в 1 мм).

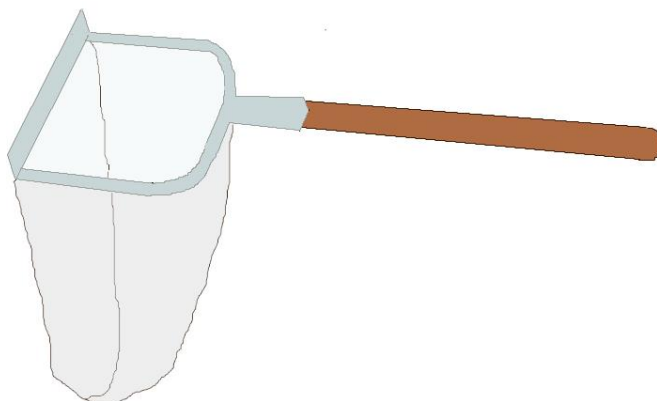


Рис. 2.2. Скребок для отбора проб зообентоса

Для выборки бентоса из песчаного грунта пробу подвергают отмучиванию. Для этого из дночерпателя пробу помещают в таз, который наполовину заполняют водой. После чего грунт осторожно перемешивается руками, чтобы животные всплыли, после чего их можно просеять. Процесс многократно повторяют до тех пор, пока в воде не перестанут оказываться представители бентофауны. После чего остаток грунта изучается, из него выбираются все оставшиеся животные.

Для грунта с большим объемом растительного субстрата целесообразно применять метод флотации: небольшие количества грунта помещают в раствор поваренной соли, после чего всплывающие организмы отбираются небольшим ситом, пинцетом, лопаткой или ложкой. Оставшийся грунт просматривается для сбора не всплывших организмов (например, моллюсков). Пробы мезобентоса фиксируются раствором формалина (4-10 %), выбор животных производится в лабораторных условиях. Рекомендуется использовать формалин, который был бы заранее нейтрализован насыщенным раствором соды (чтобы в нем не растворялись мелкие известковые раковины моллюсков). В качестве консервирующего средства нередко применяется и этанол (75 %).

Особым образом обстоит отбор обитателей каменистого грунта. Камни вручную собираются с доступной глубины. Для количественных исследований используют рамки, ограничивающие определенный участок дна. Чаще всего 0,25 м³. В пределах площади указанной рамки отбираются все камни и помещаются в таз. Далее камни внимательно осматриваются (по одному), всех обнаруженных животных помещают в заранее подготовленную банку с раствором формалина (4-10 %). Вода из таза промывается через сита, все обнаруженные животные помещаются в баночку с формалином, к которой прикрепляется этикетка с описанием мест отбора проб.

Этикетирование проб и ведение полевого дневника. Отобранные пробы должны быть подписаны с указанием названия водоема, места и времени отбора проб. На этикетке также можно указать имя отобравшего пробы. Этикетка может быть бумажной, заполняется простым карандашом или водостойким маркером. Для сохранности этикетку можно покрыть сверху слоем прозрачной изолянтной пленки.

В полевом дневнике нужно указать все сведения, отображенные на этикетке, в развернутом и дополненном виде, с указанием глубины, с которой отобрана проба, характера грунта, описанием особенностей озера и его местоположения. Следует также отметить особенности жизнедеятельности озерной экосистемы (большие количества раковин моллюсков и др.).

Лабораторные работы. Лабораторные работы включают в себя отбор и сортировку бентоса с разделением их на группы схожих организмов, которые представляют собой, по мнению исследователя, один вид (или другой таксон).

Основные этапы лабораторной обработки фиксированной пробы бентоса:

- осторожно отмыть пробу от формалина, используя сита и воду из-под крана;
- отмытый грунт помещается в емкость и заливается небольшим количеством воды, так, чтобы его можно было взмучивать. Далее вращательными движениями пробу взмучивают и сливают небольшое количество взвеси, содержащей организмы, в чашку Петри. Вся площадь

чашки Петри просматривается на бинокляре при 8-кратном увеличении. Все обнаруженные организмы отбираются пинцетом в заранее приготовленную пробирку с раствором формалина (4 %);

- если проба содержит фрагменты и стебли макрофитов, останки водорослей, то такие фрагменты необходимо разделять с использованием препаровальных игл;

- в пробе могут быть обнаружены взрослые стадии насекомых, домики ручейников и другие материалы, способные помочь в определении таксономической принадлежности исследуемых организмов зообентоса;

- если обработка пробы переносится на другой день, ее снова необходимо залить раствором формалина (4 %).

Разделенная проба сортируется в систематическом отношении до семейств. Для этой цели удобно использовать специальные кассеты из плексиглаза (рис. 2.3). Диаметр углублений кассеты соответствует полю зрения бинокляра при увеличении 8х.

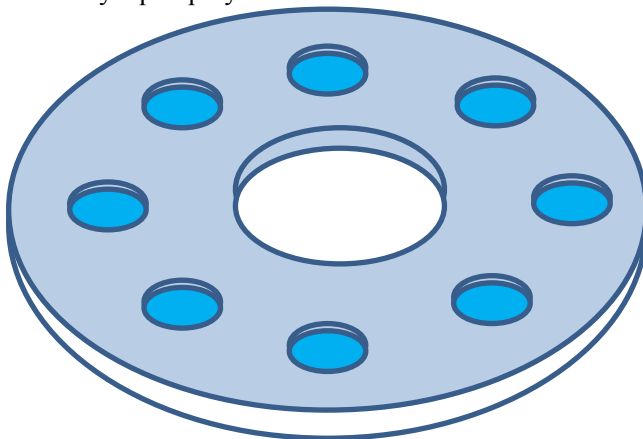


Рис. 2.3. Кассета для сортировки зообентоса

Изучение видового состава, численности и биомассы. Количественный анализ зообентоса состоит из трех этапов: изучение видового состава, установление численности каждого вида (или другого таксона), вычисление биомассы видов. Анализ видов производится по опре-

делителям зообентоса [Определитель зоопланктона..., 2016; Определитель пресноводных..., 1995; Кутикова, Старобогатов, 1977 и др.]. Для облегчения анализа рекомендуется завести отдельный журнал, где для каждого нового таксона можно схематически зарисовывать особенности его строения. В журнале необходимо указывать ссылку на определитель, по которому установлена таксономическая принадлежность, так как названия одного и того же таксона в разных определителях могут отличаться, что связано с постоянным пересмотром международной номенклатуры.

Численность организмов того или иного вида определяют путем подсчета встреченных в пробе особей, а биомассу – путем их взвешивания на лабораторных весах. Перед взвешиванием организмы должны быть просушены на фильтровальной бумаге, до того момента, пока они не будут оставлять влажных следов на бумаге при легком давлении на них.

При высоком обилии одного вида (несколько тысяч экземпляров) в пробе для подсчета его биомассы можно определить среднюю массу особи выборки из 50-100 организмов и совершить пересчет для всей численности особей вида. Биомасса отдельного вида может быть установлена путем умножения численности данного вида на среднюю массу особи.

Результаты определения видового состава, численности и биомассы видов заносятся в электронные таблицы (MS Excel), по которым производится дальнейшая обработка результатов, перерасчет количественных показателей на площадь (на 1 м^2), определение по численности и биомассе доминантов и субдоминантов, оценки качества воды, определение трофического статуса водоема и др.

При перерасчете показателей на 1 м^2 необходимо учитывать площади орудий сбора проб (например, площадь захвата дночерпателя, площадь захвата скребка, площадь, с которой осуществлен ручной сбор). Например, у дночерпателя Экмана-Берджи площадь захвата $0,025 \text{ м}^2$, и поэтому для перерасчета на 1 м^2 биомассу и численность определенных видов нужно умножить на 40.

3. Методические основы изучения зоопланктона

Состав и уровень количественного развития водных беспозвоночных организмов является высокочувствительным показателем степени загрязнения водоема и нарушения чистоты его вод [Макрушин, 1974; Унифицированные методы..., 1976].

Одним из компонентов биологического анализа качества вод является изучение зоопланктонного сообщества, т.е. совокупности животных, населяющих толщу воды. Особенно велико участие зоопланктона в круговороте веществ в малопроточных водоемах — озерах, водохранилищах и прудах, несколько меньше — в реках [Константинов, 1979].

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

Орудия для сбора зоопланктона. Метод отбора проб зоопланктона зависит от размерных характеристик исследуемых нами групп зоопланктона, типа водоема, его глубины, размеров. В крупных и средних водоемах с замедленным водообменом (озерах, водохранилищах) пробы зоопланктона отбирают количественной сетью Джеди фракционно (последовательно облавливают эпи-, мета- и гипolimнион) по стандартным горизонтам: поверхность — 0,5 м глубины; поверхность — 2 м; 2-5 м; 5-10 м; 10-25 м; 25-50 м; 50-100 м. В мелких водоемах (прудах, малых лесных озерах, лагунах), глубина которых не превышает 3-4 м, отбор проб осуществляется тотально также количественной сетью Джеди (облавливают весь столб воды от дна до поверхности).

Используются также планктоночерпатели различных конструкций. В водотоках, главным образом реках, для сбора качественных проб используется цилиндрическая сеть Лангганса ("Цеппелин"), для сбора количественных проб — батометр Жуковского. Наиболее простым и доступным, не требующим сложного оборудования, является способ отбора проб путем процеживания 50-100 л воды, взятой сосудом определенной вместимости (литровая кружка, полиэтиленовое 5-литровое ведро), через качественную сеть Апштейна (газ № 64-77). 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 нужного горизонта фильтруется через качественную сеть Апштейна.

Кроме описанного метода существует отстойный метод, который обычно применяется для выявления видового состава и количественного распределения мелких коловраток. Вода с поверхности или с определенного горизонта, взятая кружкой, ведром, батометром, выливается в сосуд определенной вместимости, фиксируется и отстаивается 7-10 сут. По истечении указанного времени вода над осадком выливается с помощью сифона (резиновой трубки, затянутой снизу мельничным газом № 77). Осадок просматривается под микроскопом.

Классическим орудием сбора зоопланктона является коническая планктонная сеть Апштейна, состоящая из шелкового или капронового конуса (усеченного), сверху нашитая на металлическое кольцо, а снизу имеющая стакан в который собирается планктон. 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 мельничное шелковое или капроновое сито (газ), отличающееся большой прочностью и равномерностью распределения нитей. Номер сита соответствует числу ячеек в 1 см ткани. Наиболее частый газ — № 77, наиболее редкий — №7. Для улавливания микропланктона применяется газ № 64-77, мезопланктона — № 38-64. Нанно- и ультрапланктон сетью не улавливаются.

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.

Существует целый ряд количественных сетей, самыми распространенными из которых являются сети Джели, Нансена. Основные различия в их конструкции сводятся к различиям в форме надставки и в механизме замыкания сети при ловах по горизонтам. Наиболее удобна для лова мезопланктона сеть Джели. В озерах и водохранилищах зоопланктон собирается количественной сетью Джели в эпилимнионе, металимнионе и гипolimнионе или по стандартным горизонтам: поверхность — 0,5 м; поверхность — 2 м; 2-5 м; 5-10 м; 10-25 м; 25-50 м; 50-100 м. Отбор проб следует начинать с верхних горизонтов. Скорость подъема открытой сети не должна быть меньше 0,25 м/с и больше 0,5 м/с. После замыкания сети скорость подъема увеличивают, а затем перед поверхностью несколько снижают, чтобы сеть плавно выйти из воды.

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

Для взятия пробы с глубины удобны любые батометры, применяемые для отбора гидрохимических проб, например батометр Руттнера. Объем воды (50-100 л) с помощью батометра определенного объема (1, 2, 3 л) с нужного горизонта фильтруется через качественную сеть Апштейна. Отобранные различными способами пробы переливаются из стакана в обычные стеклянные банки, бутылки, хлорвиниловую посуду (50-100 мл). Банки тщательно закрываются завинчивающимися крышками с резиновыми прокладками, бутылки — плотными резиновыми и хлорвиниловыми пробками.

Консервация и этикетирование планктонных проб. Следующие операции являются не менее значимыми, чем сбор зоопланктона в водоеме. Каждая проба зоопланктона, если она не обрабатывается в живом состоянии, должна быть сразу зафиксирована. Фиксируют зоопланктонную пробу обычно 40%-м формалином. Формалин приливают в пробу с таким расчетом, чтобы получился его 4%-й раствор (1 часть формалина на 9 частей воды). Хорошо зафиксированная проба должна

иметь устойчивый запах формалина. Применяемый формалин не должен иметь осадка. Кроме того, рекомендуется фиксировать пробы нейтральным формалином, так как в пробах, обладающих кислой реакцией, происходит растворение оболочек некоторых нежных организмов. Для нейтрализации формалина готовят насыщенный раствор бикарбоната натрия (NaHCO_3), который затем при постоянном перемешивании добавляют в 40%-й формалин до появления нейтральной реакции (устанавливают лакмусовой бумажкой).

Если нельзя обеспечить хранение проб в теплом месте (зимний период, полярные условия), пробы зоопланктона фиксируются спиртом. С этой целью объем воды в пробе доводится до возможного минимума, и в банку наливается 96%-й спирт с таким расчетом, чтобы его концентрацию привести к 70%.

Каждая проба зоопланктона должна быть тщательно этикетирована и записана в специальный журнал или полевой дневник.

Образец этикетки	Образец журнальной записи
Водоем _____ Дата _____	Орудие лова _____
Номер створа (номер станции) _____	Учреждение _____
Местонахождение створа (станции) _____	Водоем _____
_____	Номер створа (номер станции) _____
Глубина _____	Местонахождение створа (станции) _____
Горизонт, облавливаемый слой или	_____
объем профильтрованной воды _____	Дата _____
_____	Время _____
	Общая глубина _____

Этикетка пишется на пергаментной бумаге и вкладывается под прокладку крышки. Иногда проба снабжается второй этикеткой, которая опускается внутрь сосуда. На пробке или стенке банки ставится номер пробы. Номер на пробе соответствует номеру, записанному в полевом дневнике.

Пробки банок с зафиксированным планктоном и этикетками заливают парафином или смесью воска и парафина. Банки хранят в порядке сборов и записей в защищенном от прямого света помещении. При транспортировке, пересылке проб рекомендуется банки заполнять 4%-

м раствором формалина доверху, что позволяет сохранить в целости хрупкие части тела ракообразных. Зимой сборы, зафиксированные формалином, пересылать не следует.

Место и периодичность отбора проб. Сбор зоопланктона обычно осуществляется в местах постоянных гидробиологических наблюдений и приурочен к стандартным гидрохимическим створам. В ряде случаев места гидробиологических станций на водных объектах выбирают исходя из цели исследования и поставленных задач. Выбор станций наблюдения на водном объекте, т.е. пунктов отбора проб зависит, прежде всего, от местонахождения источников загрязнения (промышленные предприятия, бытовые стоки, сельскохозяйственные угодья). Необходимо установить биологический фон данного водного объекта, для чего следует выбрать ряд станций в незагрязненных участках, например выше источника загрязнения или по возможности вне сферы влияния сточных вод на разном расстоянии от источника загрязнения.

Типовой программой наблюдений за состоянием пресноводных экосистем запланировано подробное изучение зоопланктонного сообщества. В свете положений этой программы прежде всего решаются такие важнейшие задачи, как установление видового состава, определение зоопланктонных организмов до вида и подвида, выявление общего числа видов, числа видов в основных группах, установление количественной характеристики зоопланктонного сообщества, включающей в себя вычисление численности и биомассы отдельно для каждого вида, группы, для всего сообщества. Кроме того, немаловажную роль играют определение размерно-возрастной структуры сообщества, установление функционального состояния организма (питание, плодовитость). В задачу всестороннего изучения экосистемы входят также определение продукции, индекса видового разнообразия, пространственной и временной структуры зоопланктонного сообщества. Таким образом, исходя из цели и задач исследования выбор места отбора проб является ответственным моментом и производится с таким расчетом, чтобы усредненные полученные величины дали наиболее объективное представление о видовом составе, продуктивности зоопланктона всего водоема в целом.

Станции (точки отбора) чаще всего располагаются по продольной или поперечной оси водоема (если это озеро) с тем, чтобы охватить наиболее глубокие участки пелагиали, участки со средней глубиной, расположенные над сублиторалью, и прибрежные участки литорали водоема. Кроме того, необходим специальный облов зарослей высшей водной растительности.

В водотоках зоопланктон отбирается на всем протяжении — от истоков до устья, в главном русле — на поперечных створах в поверхностных и придонных слоях. Кроме того, планктон собирается в заливах береговой полосы.

Наблюдениями следует охватить все биологические сезоны. Видовой состав и уровень количественного развития зоопланктона испытывают сезонные колебания. Вследствие этого при изучении влияния загрязнения на основании анализа зоопланктонного сообщества желательно производить отбор проб по 1 разу зимой, весной и осенью и 3 раза летом.

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-дублиры, которые не фиксируют.

Живые пробы обрабатывают по возможности немедленно после сбора. Если время не позволяет сделать это, то пробы сохраняют до обработки в прохладном месте, защищенном от солнца, причем банки плотно не закрываются.

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 опреде-

ляют главным образом мелкие формы беспанцирных коловраток (*Synchaeta*, *Floscularia*), поэтому покровное стекло не требуется снабжать восковыми или пластилиновыми ножками; последнее 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 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). Для сохранения препарата на длительное время материал заключают в твердую среду (глицерин-желатин, канадский бальзам). Чтобы воспрепятствовать подсыханию среды, препарат по краю покровного стекла окружают лаком (удобен обычный лак для ногтей). Определение организмов зоопланктона пресных вод производится до вида по определителям.

Количественная обработка проб. Далее следует количественная обработка проб, которая заключается в подсчете количества организмов каждого вида по возможности по возрастным стадиям или размерным группам. Счетный метод довольно трудоемкий, но в то же время самый точный. 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 лишь при счетном методе.

Для этого удобно использовать камеру Богорова или кристаллизатор Цеба. Камера Богорова имеет вид стеклянной пластинки с желобом или с сообщающимися канавками, разделенными призматическими перегородками. Кристаллизатор Цеба 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.

При относительно бедных планктоном водах организмы зоопланктона подсчитываются целиком во всей пробе. 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 мл) 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. Предложено разбавлять пробу в том случае, если количество просчитываемых организмов в порции более 1000, или "сгущать" ее, если количество организмов в порции менее 100.

Приведенная к известному объему проба выливается в круглодонную колбу и равномерно взбалтывается. С помощью штемпель-пипетки разной вместимости (от 0,1 до 5 мл), не допуская оседания организмов на дно, отбирают порцию пробы. Часть пробы, взятую штемпель-пипеткой, выливают в камеру Богорова и в ней просчитывают число организмов каждого вида. Эта операция проводится дважды, после чего всю пробу просматривают под бинокюляром в кристаллизаторе Цеба для определения и подсчета редких и крупных видов. В случае отсутствия штемпель-пипетки пользуются обычной градуированной пипеткой на 10 мл с достаточно широким диаметром (желательно 10 мм), предварительно отрезав нижнюю оттянутую ее часть. Число организмов в порциях пересчитывается на весь объем пробы и записывается в специальную карточку.

От определения количества организмов в пробе переходят к определению численности (количество организмов в 1 м^3) зоопланктона. Если проба отобрана путем процеживания объема воды через сеть Апштейна, то расчет производится следующим образом (3.1):

$$x = \frac{1000n}{v}, \quad (3.1)$$

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

Если отбор проб произведен количественной сетью Джеди, то прежде всего рассчитывают коэффициент планктонной сети (или множитель перевода в м), исходя из радиуса ее входного отверстия. Коэффициент сети рассчитывается следующим образом (3.2):

$$k = \frac{1000000}{SH}, \quad (3.2)$$

где S — площадь входного отверстия сети, см², H — горизонт, слой облова, см.

Вычислив таким образом коэффициент сети при горизонте облова 0-1 м, находим коэффициенты при горизонтах 0-2, 2-5, 5-10 м и т. д. простым делением значения k при 1 м соответственно на 2, 3 и 5.

Метод определения массы организмов путем непосредственного взвешивания очень трудоемок. Поэтому уже достаточно продолжительное время широко используется способ, при котором учитывается соотношение между массой и длиной тела особи. При этом необходимо учитывать особенности морфометрических измерений различных систематических групп зоопланктонных организмов.

Следующим этапом количественной обработки проб зоопланктона является получение данных по биомассе. Биомасса зоопланктона определяется путем умножения индивидуальной массы каждого организма на его численность.

Использование стандартных индивидуальных масс животных безотносительно к размерно-возрастному составу популяции приводит к большим погрешностям. Поэтому для получения сопоставимых данных по биомассе зоопланктона необходимо пользоваться единым способом расчета индивидуальной массы животных с учетом их размера (возраста). В качестве общего способа выражения зависимости между массой и длиной тела особи было предложено уравнение 3.3:

$$w = gl^b, \quad (3.3)$$

где w — масса тела, мг; l — длина тела организма, мм; g — масса тела при длине тела 1 мм, мг сырого вещества; b — показатель степени. При изометрическом росте $b = 3$, при аллометрическом росте — больше или меньше 3. Для расчета индивидуальной массы организмов используют видоспецифические уравнения, приведенные в литературе [например, Методические рекомендации..., 1982].

4. Диатомовый анализ

Диатомовые водоросли составляют самостоятельный отдел водорослей (Bacillariophyta), прошедший длительный эволюционный путь развития [Диатомовые водоросли..., 1974]. Наиболее древние находки панцирей диатомей известны из отложений раннего мела, а к началу четвертичного времени сформировались практически все ныне живущие роды и многочисленные их виды.

В настоящее время диатомовые — богатый видами и чрезвычайно широко распространенный отдел водорослей, представители которого обитают преимущественно в водоемах Севера и умеренных широт. Диатомеи поселяются в верховых болотах и моховых подушках, на камнях и скалах, в почвах и на их поверхности, на снегу и льду.

Водные и вневодные местообитания неодинаковы как по видовому составу диатомей, так и по их количеству. Число видов, населяющих вневодные биотопы, невелико, и все они относятся к наиболее широко распространенным представителям отдела. Только почвенные сообщества более богаты в видовом отношении. На снегу и льду диатомеи могут развиваться в массе, и тогда они окрашивают их в бурый цвет.

Водная среда — основное и первичное местообитание диатомей; здесь они возникли и прошли длительный путь эволюции. Они завоевали все типы современных водоемов и принимают участие в образовании различных фитоценозов, преобладая качественно и количественно над другими микроскопическими водорослями. В морских и

континентальных водоемах диатомовые являются преобладающей экологической группой водорослей.

Диатомеи продуцируют до 50 % органического вещества мирового океана. Еще более существенна роль диатомей в континентальных водоемах, особенно субарктических, где сравнительно низкие температуры лимитируют развитие водорослей других отделов. Основным свойством этой группы водорослей является наличие у них нерастворимой при нормальных условиях кремневой оболочки – панциря с видоспецифичной структурой [Николаев, Харвуд, 2002], состоящего из двух створок. Кремневые панцири диатомей хорошо сохраняются в донных осадках озер, что делает возможным определение видового состава, характерного для данной стадии существования водоема. Многие виды диатомей имеют достаточно узкий диапазон обитания, их чрезвычайная чувствительность к малейшим изменениям физических и химических параметров среды (трофического уровня водоема, его pH, сапробности, солености) позволяет применять диатомовый анализ для экологической реконструкции состояния водоема на протяжении периода накопления донных отложений.

Специфика условий существования многих видов диатомей требует изучения разнотипных водоемов, отличающихся по своему географическому положению в природно-ландшафтных комплексах.

Видовой состав диатомовых водорослей в водоемах определяется комплексом физико-химических факторов, из которых большое значение имеет в первую очередь *соленость воды*. По отношению к солености все диатомеи разделяются на морские, солоноватоводные и пресноводные. Особенно четко проявляется их реакция на содержание в воде поваренной соли (NaCl), что позволяет различать у них три группы видов. Первую составляют эвгалобы, для развития которых наличие хлоридов обязательно. Сюда относятся типично морские обитатели (полигалобы) и представители солоноватых вод (мезогалобы), живущие во внутренних морях и опресненных морских бухтах. Во вторую группу входят олигогалобы – обитатели пресных вод с соленостью не более 5 ‰. Среди них различают галофилов, на которых незначительное повышение содержания в воде NaCl оказывает стимулирующее

действие (*Cyclotella meneghiniana*, *Synedra pulchella*, *Bacillaria paradoxa* и др.), и индифферентов – типичных представителей пресных водоемов, но способных переносить незначительное присутствие в воде NaCl, хотя их развитие при этом и подавляется (*Asterionella gracillima*, *Staurosirella pinnata* и многие виды родов *Cyclotella*, *Gomphonema*, *Cyatopleura*, *Surirella*). Третья группа – это настоящие пресноводные виды, на которых даже незначительное присутствие в воде NaCl действует губительно (виды родов *Eunotia*, *Pinnularia*, *Symbella*, *Frustulia*). Их называют галофобами.

Таких индикаторов солености, приуроченных к определенным ее величинам, среди диатомовых водорослей довольно много, и их список все время пополняется. Многие диатомовые водоросли настолько чувствительны к содержанию в воде NaCl, что не выдерживают даже незначительного изменения солености, – это так называемые стеногалинные (узкосолевые) виды, к которым принадлежат типично морские обитатели. Однако есть виды, степень чувствительности которых по отношению к NaCl не так высока, и они способны существовать в широких пределах изменения солености воды, от почти пресной до морской, – это эвригалинные (широкосолевые) виды; они обитают в водоемах, где содержание NaCl значительно колеблется.

Не менее важным экологическим фактором в развитии диатомей является *температура*. В общем эти водоросли вегетируют в широких температурных пределах – от 0 до +50°C, но все же они чутко реагируют на изменения температуры, – это находит свое выражение в сезонной динамике и пиках развития. Правда, в этом отношении не все диатомеи одинаковы. Существуют эвритермные виды, способные переносить значительные температурные колебания, и стенотермные виды, живущие в узких пределах температурного режима. Для развития большинства диатомей оптимальная температура от +10 до +20°C, но, кроме них, имеются тепловодные виды, оптимум развития которых приходится на высокую температуру, и холодноводные виды, предпочитающие низкую температуру. Промежуточное положение занимают умеренно холодноводные и умеренно тепловодные виды.

Известно, что температура имеет решающее значение для годовой и суточной циркуляции воды в водоеме, что в связи с физико-химическими факторами обуславливает весенний и осенний максимум развития диатомовых в умеренных широтах, а также летний и зимний максимум в Арктике и тропиках. Наблюдения показали, что температура влияет не только на цикл развития диатомовых, но у некоторых также на форму колоний и структуру панциря. Так, у *Asterionella* летом образуются только звездчатые, а зимой звездчато-зигзаговидные колонии. У диатомовых также известен и настоящий сезонный диморфизм, вызываемый температурными условиями. У некоторых видов наблюдаются сезонные формы, летняя и зимняя, которые резко отличаются по структуре панциря. Эти формы раньше принимали за различные виды, пока не был выяснен их цикл развития.

Степень освещенности и качество света также оказывают существенное влияние на развитие диатомовых водорослей в водоемах и определяют закономерности их распределения по глубинам. В свою очередь, освещенность зависит от прозрачности воды, а прозрачность в океанах всегда более высока, чем в пресных водоемах.

Степень освещенности и качество света также оказывают существенное влияние на развитие диатомовых водорослей в водоемах и определяют закономерности их распределения по глубинам. В свою очередь, освещенность зависит от прозрачности воды, а прозрачность в океанах всегда более высока, чем в пресных водоемах. Свет используется диатомовыми водорослями при фотосинтезе в такой же мере, как и другими водорослями, и является одним из факторов, ограничивающих расселение водорослей в глубинах и определяющих толщину продуктивного слоя водоема. Диатомеи в пресных водоемах обитают на глубине до 24 м, однако пределы обитания некоторых диатомовых значительно меньше и для различных водоемов индивидуальны в зависимости от прозрачности воды. Морские планктонные виды обитают в прибрежной полосе на глубине примерно до 200 м [Макарова, 1977].

Основные группы местообитаний – водные и сухопутные – в отношении диатомовых являются неравноценными ни по количеству видов, ни по характерной специфичности флоры. Флора диатомовых водных

местообитаний отличается богатством, в смысле количества видов, и разнообразием в отношении их морфологических и биологических особенностей. Особенностью диатомей водных местообитаний является их строгая приуроченность к определенной среде обитания. Это характерно не только для водоема в целом, но и для различных частей одного и того же водоема, где в связи с особенностями среды формируются сообщества диатомовых, различные по систематическому составу, биологическим и морфологическим свойствам.

Общеизвестно, что водная среда является основным и первичным местообитанием диатомовых водорослей, которые возникли в воде и где прошли долгий путь эволюции. И сейчас они в большинстве бассейнов обитают и развиваются, принимают участие в образовании разнообразных сообществ.

Каждый водоем имеет дно, или бенталь, соответственно этому обитатели бентали называются донными, или бентическими организмами, а также толщу воды, или пелагиаль, пассивно плавающие пелагические организмы называются планктическими или планктонными организмами. К этим организмам относятся и диатомовые водоросли.

Планктон морей и пресных водоемов очень богат диатомовыми водорослями, временами достигающими массового развития. Одной из главных особенностей планктонных диатомовых является их чрезвычайная приспособленность к “парению“. Они имеют очень тонкий и легкий панцирь, мелкие и тонкие хроматофоры, часто наблюдается скопление капель масла и газовых вакуолей – все это ведет к уменьшению удельного веса клетки. Кроме того, клетки многих диатомовых имеют большую поверхность, что еще более увеличивает их способность к парению. Одни из планктонных диатомовых имеют очень длинные палочковидные клетки, длина которых во много десятков, а иногда и сотен раз превышает ширину (р.р. *Thalassiothrix*, *T.halassiosira*, *Synedra*). Другие диатомовые имеют дисковидные клетки с очень большим диаметром (р.р. *Coscinodiscus*, *Asteromphalalus*, *Asterolampra*, *Actynociclys*). Иногда по окружности диск снабжен длинными щетинками (р.р. *Jossilerialla*, *Thealassiosira*, *Corethon*, *Stephanodiscus*).

Таким образом, по местообитанию условно выделяются диатомей планктона, перифитона (обрастание водных макрофитов) и донные. Хотя такое подразделение вида всегда считается достаточно условным. Так, при обозначении «планктонный вид», «обрастатель», или «донный», имеется в виду указание на преимущественный способ его существования.

Диатомовые водоросли, населяющие как водоемы, так и вневодные биотопы, приурочены к определенным *географическим зонам*, т.е. имеют определенный ареал. Многие морские виды отличаются строгой зональностью, в то время как другие распространены широко и даже повсеместно. Особенно часто встречаются космополиты среди диатомей, обитающих в пресных континентальных водоемах. Наоборот, известны и эндемичные виды диатомовых, живущие только в каком-нибудь одном или нескольких водоемах одного района. Некоторые водоемы, например озера Байкал и Танганьика, очень богаты эндемиками. Ограниченные ареалы имеют также реликтовые виды, живущие ныне в некоторых древних пресных водоемах – Байкале, Хубсугуле, Эльгыгытгине, озерах Кольского полуострова, африканских озерах и др. Известны реликты в Черном, Азовском и Каспийском морях, сохранившиеся от верхнетретичных морей Черноморского бассейна.

Закономерности географического распространения диатомей отчетливее всего проявляются в водах Мирового океана. Если принять деление Мирового океана на географические зоны по температурному режиму поверхностных слоев воды, то, как показывает анализ, в двух полярных зонах (арктической и антарктической), где преобладает низкая температура с незначительными годовыми колебаниями (2-3°), обитают холодолюбивые стенотермные виды диатомей. Умеренные зоны обоих полушарий – северного (бореальная) и южного (нотальная) – характеризуются температурным режимом широкого диапазона, здесь годовые колебания доходят до 15-20°C. Этим зонам свойственны преимущественно эвритермные, а также умеренно холодноводные и умеренно тепловодные виды диатомей, достигающие массового развития в тот или иной сезон. В тропической зоне, где температура поверхностных вод не опускается ниже +15°C, а годовые температурные ко-

лебания незначительны (в среднем около 2°), обитают теплолюбивые stenothermные виды. Некоторые виды диатомей могут обитать в двух смежных зонах – это арктическо-бореальные и бореально-тропические виды, приспособившиеся к широкому температурному диапазону.

Наиболее богата по видовому составу и количеству диатомей бореальная зона, отличающаяся оптимальной для их развития температурой (от +10 до +20°C). Здесь они вегетируют почти круглый год, но особенно обильно развиваются весной и осенью. В арктической и тропической зонах вегетация диатомей кратковременная: в арктических морях она приурочена к короткому летнему периоду, так как осенний и весенний расцветы диатомей здесь по времени сближаются, в тропических – к более холодному зимнему периоду.

Географические закономерности распределения диатомей в континентальных водоемах выражены значительно менее отчетливо из-за их крайнего типологического разнообразия. Влияние местных экологических условий на водоросли здесь настолько велико, что в большой мере нивелирует облик флоры, отвечающий географическому положению каждого данного водоема. Поэтому различия флористического состава диатомей часто отчетливо проявляются, например, в двух соседних, но типологически неоднородных озерах, в то время как в различных географических зонах, но в водоемах с одинаковыми экологическими условиями флоры диатомей могут оказаться весьма близкими.

Диатомовые комплексы в отложениях крупных глубоководных стратифицированных озер, таких как Ладожское и Онежское, отражают интегральную картину распределения в озерах различных водных масс с их специфическим составом фитопланктона [Трифенова, 1979]. Диатомовые комплексы донных отложений глубоководных районов различаются не только по составу доминирующих планктонных диатомей, но и по степени участия в них литоральных диатомей бентоса.

В озерах, для которых в летний период характерно состояние гомотермии, процессы осадконакопления лишь отчасти связаны со строением озерных котловин, а в большей степени обусловлены особенностями водной динамики. Состав диатомовых комплексов в их осадках отличается большой однородностью. Створки диатомей концентриру-

ются в иловых толщах центральных частей озер, где водная динамика не столь активна.

Таким образом, характер диатомовых комплексов и численность диатомей в осадках являются показателями не только продуктивности водорослевых сообществ, но и водно-динамических процессов в озерах и связанных с ними особенностей осадконакопления.

В небольших глубоких стратифицированных озерах седиментация продуцируемых в них диатомей планктона и бентоса происходит *in situ*, поэтому даже на небольших расстояниях диатомовые комплексы в отложениях существенно различаются по составу, который зависит от местных факторов – строения донного рельефа, наличия зарослей макрофитов и др.

Состав диатомовых комплексов в осадках озер позволяет судить о процессах эвтрофирования, происходящих в них не только под воздействием природных, но и антропогенных факторов.

Палеолимнологические исследования с применением метода диатомового анализа следует предварять исследованиями состава и особенностей строения диатомовых комплексов, формирующихся в современных осадках озер.

Основные принципы применения диатомового анализа для геологических и палеогеографических реконструкций, сформированные советскими диатомологами, остаются актуальными и лежат в основе современных исследований диатомей. Изучение диатомовых водорослей в донных отложениях озер можно разделить на два основных направления: флористическое и палеолимнологическое.

Исследование диатомовой флоры поверхностного слоя донных отложений широко практикуется, так как вносит существенный вклад в изучение систематического состава современных диатомей, выявляет новые виды, в том числе эндемичные, и обычно сопровождается исчерпывающим эколого-географическим анализом изученной диатомовой флоры [Давыдова, 1985].

Изучение диатомовых комплексов в толще донных отложений представляет собой палеолимнологическое направление. Подобные исследования сопровождаются определением возраста слоев колонки

донных отложений с помощью радиоуглеродного метода, геохронологическим расчленением осадочной толщи с использованием палинологического анализа и последующим сопоставлением с результатами диатомового анализа. Знание экологии диатомовых помогает создать трансфертные функции для реконструкций важных абиотических факторов, подвергшихся наибольшему изменению в исследуемой экосистеме. Совокупность качественных (видовой состав) и количественных (количество створок) характеристик диатомовых водорослей в колонке донных отложений позволяет делать выводы по стратиграфии, палеогеографии, палеоэкологии, установить интенсивность процессов естественного и антропогенного эвтрофирования, реконструировать основные этапы жизни озер, судить о скорости и направленности изменений, происходящих в их экосистемах, прогнозировать развитие этих процессов в будущем.

Образцы на диатомовый анализ отбираются без пропусков: колонка делится на отрезки длиной от 1 до 2,5 см; для более древних осадков, представленных гомогенными глинами, мощность отрезков доходит до 5-20 см в зависимости от ширины лент. Толщина отбираемых слоев диктуется, таким образом, разным темпом седиментации. В озерах с высоким темпом седиментации илов, где общая мощность достигает 5-10 м и более, толщина слоев может быть увеличена до 3-6 см.

При отборе образцов поверхностных отложений используются дночерпатели различных систем, лот Воронкова, стратометр Перфильева и дночерпатель Ленца (фирма Гидро-Биос). Для анализа отбирается верхний жидкий неконсолидированный слой осадка, называемый наилком, или пелогеном.

Поднятые со дна колонки донных отложений описываются непосредственно после извлечения из трубок. По свежему срезу производится детальное описание, в котором указывается характер осадка, границы между генетическими горизонтами, цвет, структура, текстурные особенности, включения и запах. К каждому образцу прилагается этикетка, в которой даются основные сведения, необходимые для дальнейшей его обработки (рис. 4.1).

Лабораторная обработка образцов на диатомовый анализ. При выполнении диатомового анализа донных осадков применяются следующая аппаратура, материалы, реактивы и растворы:

- микроскопы МБИ-15, БИОЛАМ, Carl Zeiss Axio Lab.A1 или другие, обеспечивающие увеличение не менее чем в 630-900 раз;
- весы электронные, например DL-3000 WP;
- стекла предметные (тонкие) и покровные (20x20);
- пробирки, градуированные с емкостью 15-25 мл по ГОСТу 10515-75, или другие такой же емкостью;
- пробирки емкостью 1,5 мл (Eppendorf Tubes), 15 мл (VWR™), 50 мл (AXYGEN®);
- штатив для пробирок;
- пенал для хранения слайдов (препаратов);
- палочки стеклянные с резиновыми наконечниками (длина около 300 мм, диаметр 384 мм);
- набор сит с разными диаметрами ячеек до 1,0 мм и менее;
- перекись водорода по ГОСТу 10929-64, 30 %-й раствор;
- высокопреломляющая смола Naphrax© для приготовления постоянных препаратов;
- иммерсионное масло (Immersion Oil™ 518 F, Carl Zeiss);
- глицерин по ГОСТу 6259-75;
- спирт;
- стаканы химические емкостью 0,5-1,0 л;
- пиррофосфат натрия (готовить следующим образом: растворяют 50 г натриевой соли пиррофосфорной кислоты в 1 л дистиллированной воды);
- HCl, 10 %-й раствор;
- H₂SO₄ концентрированная;

- тяжелая жидкость с удельным весом 2,4-2,65;
- плитка электрическая, лабораторная бытовая;
- центрифуга, например Eppendorf Centrifuge 5430;
- мерная стеклянная пипетка с объемом раствора 0,03 мл (код №7477 15);
- препаровальная игла и скальпель;
- универсальная индикаторная бумага pH 0-14 (фирмы Macherey-Nagel);
- шкаф сушильный.

Техническая обработка материала для диатомового анализа довольно трудоемкая и ведется по общепринятой методике, описанной в «Диатомовом анализе» [1949а, 1949б, 1950], модифицированной Институтом озероведения РАН [Давыдова, 1985; Общие закономерности..., 1986, Пестрякова, 1997].

Основной задачей технической обработки образцов является извлечение диатомовых водорослей из пород и очищение их панцирей от глинистых и иных частиц. Состоит из удаления протопласта путем химической обработки пробы и приготовления препарата в твердой или жидкой среде с высоким коэффициентом преломления, например Naphrax©.

Методика технической обработки образцов для извлечения из них панцирей и створок диатомей и очищения их для таксономического исследования зависит от качества материала. Она различна для осадочных пород, донных отложений современных морей и озер и для современных диатомей.

Глины, пески, алевроиты и другие породы во многих случаях содержат небольшое количество диатомей. Следовательно, для получения возможно более полного представления о составе флоры требуется техническая обработка ископаемых материалов в лаборатории. Она имеет следующие цели: разрыхление (дезинтеграция) пород, обогащение их диатомеями и очищение панцирей или отдельных створок от

органических и минеральных веществ, маскирующих детали их структуры.

Методика технической обработки проб для диатомового анализа зависит от литологического состава породы и задачи исследования. Но при любом методе образец породы предварительно должен быть очищен от поверхностного слоя во избежание возможного загрязнения; вода применяется только дистиллированная, все операции контролируются под микроскопом, чтобы не потерять крупные и очень мелкие створки диатомей.

Разрыхление породы. Способ разрыхления и длительность обработки зависят от характера породы. Навеска породы определяется в зависимости от литологического состава породы: диатомита 5-10 г, глины 10 г, суглинка 15 г, супеси 20 г, тонкозернистого песка 50 г, мелкозернистого песка 100 г, крупнозернистого или хорошо промытого и отсортированного песка 200 г.

Навеску породы помещаем в термостойкий химический стакан емкостью 0,5-0,75 л и кипятим в течение часа или дольше в 10 % (реже 30 %) растворе пергидроля или в 100-200 см³ раствора пиррофосфата натрия (для его получения растворяют 50 г натриевой соли пиррофосфорной кислоты в 1 л дистиллированной воды). В этих реактивах порода разрыхляется быстрее, чем при кипячении в воде, и лучше очищается от мелких глинистых частиц и органического вещества.

Удаление карбонатов и органических веществ. Карбонатные породы легко дезинтегрируются кипячением в 10 % HCl в течение 15-20 мин. Если порода содержит большое количество органических веществ, то после отмывания избытка HCl и образовавшихся в результате предыдущей операции солей осадок заливают 4-5 объемами концентрированной H₂SO₄, затем кипятят от нескольких минут до часа.

Удаление органического вещества горячим или холодным кислотным методом рекомендуется производить до обработки пробы тяжелой жидкостью: это несколько сокращает процесс отмывания пробы от H₂SO₄ и образовавшихся солей. Если же органического вещества в породе немного, то ее не обрабатывают H₂SO₄ и NaNO₃, а удаляют органическое вещество позднее, после разделения осадка тяжелой жидко-

стью более быстрым способом. Применение кислот недопустимо в тех случаях, когда кремний в панцире диатомей вторично замещен углекислым кальцием.

Удаление осадка на фракции отмучиванием. Рыхлые породы очищают от содержащихся в них крупных растительных остатков после дезинтеграции, пропуская через сито с отверстиями 1 мм². Целые панцири крупных диатомей остаются во фракции, получаемой на сите с диаметром отверстий 0,065 – 0,075 мм [Стрельникова, 1966]. Выделение средней фракции, наиболее обогащенной остатками диатомей, производится отмучиванием, или декантацией: при этом осадок одновременно отмывается от серной кислоты, если в процессе механической обработки породы она применялась для удаления органического вещества.

Для удаления крупной песчаной фракции осадок тщательно взмучивается быстрым вращательным движением стакана и через минуту сливается во второй стакан емкостью 1 литр. Это повторяется трижды, с добавлением каждый раз новой порции воды. Все крупные минеральные частицы, оставшиеся в первом стакане, удаляют, предварительно проверив под микроскопом. Для удаления мелкой глинистой фракции слива собранные во втором стакане диатомеи следует отстаивать в течение 8-12 часов, после чего суспензия выливается. Осадок доливают водой, затем взмучивают и отстаивают в течение 2 часов. Последующие сливы производятся через каждые полчаса. Чтобы не потерять диатомей, нужно перед сливом взять каплю суспензии над осадком и проверить под микроскопом; если в ней есть створки диатомей, время отстаивания следует увеличить. Сливать суспензию надо осторожно, не взмучивая осадок.

Разделение средней фракции от тяжелой фракции. Выделенную отмучиванием среднюю фракцию породы переносим в центрифужные пробирки емкостью 45-30 см с таким расчетом, чтобы осадок занимал не более 1/4 объема пробирки. После 10-минутного центрифугирования воду сливаем, стенки пробирки вытираем фильтровальной бумагой и осадок заливаем тройным объемом тяжелой кадмиевой жидкости,

представляющей собой водный раствор йодистого кадмия и йодистого калия, с удельным весом 2,4-2,65.

Таким образом, этапы технической обработки озерных отложений на диатомовый анализ выглядят следующим образом:

1. Берется 5 г (в случае сухого осадка – до 2 г) влажного осадка и высушивается при комнатной температуре, т.е. до воздушно-сухого состояния.

2. Дезинтеграция в перекиси водорода, залить перекисью водорода 100-200 мл.

3. Кипятить на плитке – 1 сутки при 20°C и 20 мин при 100°C. После кипячения каждый раз добавляем перекись водорода, до полного исчезновения органики.

4. Для разделения осадка лучше всего пользоваться тяжелой кадмиевой жидкостью, представляющей собой водный раствор йодистого кадмия и йодистого калия, с удельным весом 2,4-2,65. Центрифугирование с тяжелой жидкостью проводится при 1500 об/сек. – 10 мин., при 1000 об/сек. – 20 мин.

5. После центрифугирования всплывает легкая фракция с диатомеями ("кольцо") и столб тяжелой жидкости, а на самом дне – песок, пыльца, споры растений, детрит и т. д., то есть то, что осталось после декантации (отделения).

6. Диатомовое "кольцо" и тяжелую жидкость сливаем в стакан (не менее 300 см³), разбавляем 3-5 объемами воды и отстаиваем в течение 12-24 часов.

7. Затем столб жидкости сливается на регенерацию, а осадок переносится в центрифужную пробирку и отмывается центрифугированием при 1500 об/сек. – 3 раза.

8. Полученный осадок разбавляется определенным объемом дистиллированной воды (0,5-3,0 см³).

9. После тщательного перемешивания мерной пипеткой берется определенный объем взвеси из средней части столба и наносится на покровное стекло (размер 18x18 – 0,02-0,04 мл).

Для приготовления постоянных препаратов или слайдов используется высокопреломляющая смола (Naphrax©) с показателем преломле-

ния, значительно отличающимся от показателя преломления кремневого панциря диатомей, равного 1,43.

Схема приготовления постоянных препаратов состоит из нескольких этапов:

1. Взятые образцы размещаем в пронумерованные пробирки.



2. Затем заливаем их дистиллированной водой в соотношении 1 мл образца на 3 мл дистиллированной воды.



3. Тщательно перемешиваем пробирку. Наносим мерной пипеткой 1 каплю раствора на покровное стекло – 0,03 мл.



4. Препаровальной иглой разносим каплю по всей площади стекла. Если покровное стекло хорошо обезжирено, капля равномерно лежит на стекле.



5. Затем берем кусочек смолы на предметное стекло и растапливаем его над плитой до вязкого состояния.



6. На предметное стекло со смолой кладем покровное стекло с высушим на ней раствором.



7. Очищаем скальпелем выступающие части смолы из-под покровного стекла.



8. Затем подписываем постоянный препарат:

- название озера;

- глубина взятия образца;
- номер образца;
- грамм навески;
- мл – разбавления;
- год взятия пробы.

Проведение диатомового анализа. Препарат, приготовленный как описано выше, поместить на предметный столик микроскопа, закрепить в препаратодителе и последовательно просмотреть при увеличении в 630-900 раз. При просмотре препарата подсчет створок диатомей целесообразно вести в средней части стекла по горизонтальному ряду до 500 створок (учитывая степень раздробленности створок диатомей). Помимо общего содержания диатомей в осадках для каждого горизонта определяется видовой состав диатомей, численность каждого вида (в млн на 1 г воздушно-сухого осадка); процентное соотношение в диатомовых комплексах створок по преимущественному местообитанию (планктона, обрастателей и донных); по отношению к активной реакции среды (алкалофилов, алкалобионтов, нейтрофилов, ацидофилов, ацидобионтов); по биогеографическому распространению (бореальные, космополиты, североальпийские). Сумму створок диатомей принять за 100 % и содержание отдельных экологических групп выразить по отношению к этой сумме в процентах. В рабочем журнале сделать соответствующую запись (см. образец 1).

Образец 1

Название озера Сутуруоха (полевой номер 15-Su-01)

Увел. 100, размер покровного стекла 20x20

Названия диатомей	Эколого-географическая характеристика*						Кол-во створок
	I	II	III	IV	V	VI	
<i>Achnanthes obliqua</i> (Gegory) Hust.	О						2
<i>Amphora ovalis</i> Kutz.	Д	И	Ак	К	б		6
<i>Amphora pediculus</i> (Kutz.)Grun.	Д	И	Ак	К	б		2
<i>Asterionella formosa</i> Hass	П	И	Ак	К	Os	1,4	2
<i>Aulacoseira subarctica</i> (O.Mull.) Haworth	П	И	Ак	АА			90
<i>Caloneis bacillum</i> (Grun.) Cl.	Д	И	Ак	Б	х	0,4	2

<i>Caloneis silicula</i> (Ehr.) Cl.	Д	И	Ак	Б	b	1,5	2
<i>Cymbella mesiana</i> Cholnoky	О	И	Акб	К			2
<i>Cymbopleura naviculiformis</i>	О	И	Н	Б	b	2	2
<i>Diploneis finnica</i> (Ehr.)Cl.	Д	И	Н	АА			2
<i>Eunotia incisa</i> Gregory	О						2
<i>Eunotia</i> spp.	О						2
<i>Fragilaria constricta</i> Ehrenberg	О	И	Ац	АА			22
<i>Gomphonema clavatum</i> Ehr.	О	И	Н	Б			2
<i>Gyrosigma attenuatum</i> (Kütz.) Rabenhorst	Д	И	Акб	Б	b	1,8	2
<i>Neidium hitchcockii</i> (Ehr.) Cleve	Д	И	Ас	АА			4
<i>Pinnularia gibba</i> Ehr.	Д	И	Н	Б	x	0,2	2
<i>Pinnularia hemiptera</i> (Kutz.) Rabenh.	Д	И	Н	Б			2
<i>Pinnularia interrupta</i> W.Sm.	Д	И	Ац	Б			2
<i>Pinnularia major</i> (Kutz.) Rabenh.	Д	И	Ац	Б	b	2,1	2
<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehr.) Cl.	Д	И	Ац	Б	Os	0,8	8
<i>Pinnularia nodosa</i> (Ehr.) W.Smith	Д	И	Ац	АА			4
<i>Pinnularia semicrucata</i> (Ehr.) Cl.	Д	И		Б			2
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brebisson) L.-B.	О	И	Н	К	Os	0,75	2
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> (Grunow) Williams et Round	О	И	Ак	К			20
<i>Pseudostaurosira parasitica</i> var. <i>subconstricta</i> (Grunow) Morales	О	И	Ак	Б	a	2,5	4
<i>Sellaphora laevisissima</i> (Kütz.) D.G.Mann	Д	И		Б			8
<i>Sellaphora pupula</i> Kutz.	Д	Гл	Ак	К	b	2,2	14
<i>Stauroneis anceps</i> var. <i>sibirica</i> Grun.	Д	И	Ак	Б			2
<i>Stauroneis phoenicenteron</i> (Nitzsch.)Ehr.	Д	И	Ак	Б	b	1,7	2
<i>Stauroneis smithii</i> Grun.	Д	И	Ак	Б			2
<i>Stauroneis smithii</i> var. <i>sagitta</i> (Cleve) Hustedt	Д						2
<i>Staurosira berlinensis</i> (Lemm.) Lange-Bertalot	П	И		Б	b	2,15	130
<i>Staurosira venter</i> (Ehr.) Cleve & Möller	О	И	Ак	К			90
<i>Staurosirella pinnata</i> Ehr	О	И	Ак	Б	Os	1,4	32
<i>Surirella linearis</i> W.Sm.	Д	И	Н	Б	b	2,2	2
<i>Surirella</i> spp.	Д						2
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lungb.) Kutz.	П	Гб	Н	Б	Os	1,4	2
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth.) Kutz.	О	Гб	Ац	АА	Os	0,6	36
<i>Tetracyclus glans</i> (Ehr.)Mills	О	И	Ац	АА			2

Число просчитанных створок (e)

520

Разбавление, мл (b)	250
Число полей в ряду (d)	200
Число рядов в препарате при увеличении (c)	200
Число просмотренных полей зрения (h)	10
Навеска, г (f)	0,42
Объем капли, мл (g)	0,21

Примечание. **I** – по приуроченности к местообитанию: П – диатомеи планктона, Д – донные, О – обрастатели; **II** – по отношению к солености: И – индифференты, Гл – галофилы, Гб – галофобы; **III** – по отношению к рН: Акб – алкалибионты, Ак – алкалофилы, Н – нейтрофилы, Ац – ацидофилы; **IV** – по биогеографии: К – космополиты, Б – бореальные; АА – арктоальпийские; **V** – по сапробности: х – ксеносапробы. Os – олигосапробы, b – мезосапробы, а – мезосапробы.

[a] число створок диатомей в 1 г осадка	5895,692
[b]разбавление	250
[c] число рядов в препарате при увеличении 100 раз	200
[d] число полей в ряду	200
[e] число просчитанных створок	520
[f] навеска	0,42
[g] объем капли	0,21
[h] число просмотренных полей зрения	10
	5200000000
	0,882
	5895691610

$$S \text{ (сапробность)} = 424 : 246 = 1,72$$

Для пересчета содержания створок диатомей в 1 г осадка применяется следующая формула (4.1):

$$a = \frac{bcde}{fgh}, \quad (4.1)$$

где *a* – число створок диатомей в 1 г осадка, *b* – разбавление, мл, *c* – число рядов в препарате при увеличении, *d* – число полей в ряду, *e* – число просчитанных створок, *f* – навеска, г, *g* – объем капли, мл, *h* – число просмотренных полей зрения.

Встреченные в препаратах диатомеи определяются до вида, разновидности и формы. Для выявления роли отдельных видов и состава доминирующих комплексов применяется следующее подразделение диатомей: единичные – створки которых составляют в осадках менее 1 % от их общей численности, обычные – от 1 до 5 %. Доминантами при количественной методике являются диатомеи, составляющие в осадках более 10 % створок, субдоминантами – от 5 до 10 %.

Оформление результатов. Результаты определения видового состава диатомовых объединяются в общий систематический список с эколого-географической характеристикой найденных видов. Количественные данные по створкам могут быть представлены различно – по балльным классификациям (шестибалльная шкала Вислоуха), в абсолютном количестве створок на 1 г осадка, в процентах от общего числа подсчитанных створок. Данные, полученные в результате определения диатомей в вертикальной серии образцов, иллюстрируют диатомовой диаграммой, соотнесенной с глубинами и возрастом исследованных горизонтов. Результаты исследований дополняют фотографиями новых, редких или, наоборот, доминирующих видов диатомовых водорослей. В последние годы при статистической обработке полученных данных широко используются программы, позволяющие строить диатомовые диаграммы, выделять наиболее важные абиотические факторы среды, а также временные промежутки, в которые происходили значимые изменения в экосистеме (С2, Сапосо и др.). Для реконструкции палеоэкологических условий и климата в прошлом становится необходимым создание калибровочного банка данных абиотических и биотических параметров озер, расположенных на различных природных зонах, характеризующих климатический или экологический градиент, достаточный для регионов Восточной Сибири. Для достоверной реконструкции особенностей эволюции водных бассейнов и ландшафтов, составляющих одну природную систему, существенное

значение имеет применение оптимального комплекса методов анализа природной среды. Необходимые звенья в палеоэкологических построениях и реконструкциях воссоздают другие методы, такие как литологический, биогеохимический, седиментологический и палинологический, которые используются для корреляции данных, характеризующих развитие озер и ландшафтов в голоцене.

Последовательность выполнения методики обработки и анализа собранного материала для палеолимнологической реконструкции схематично отражено на рисунке 4.1.

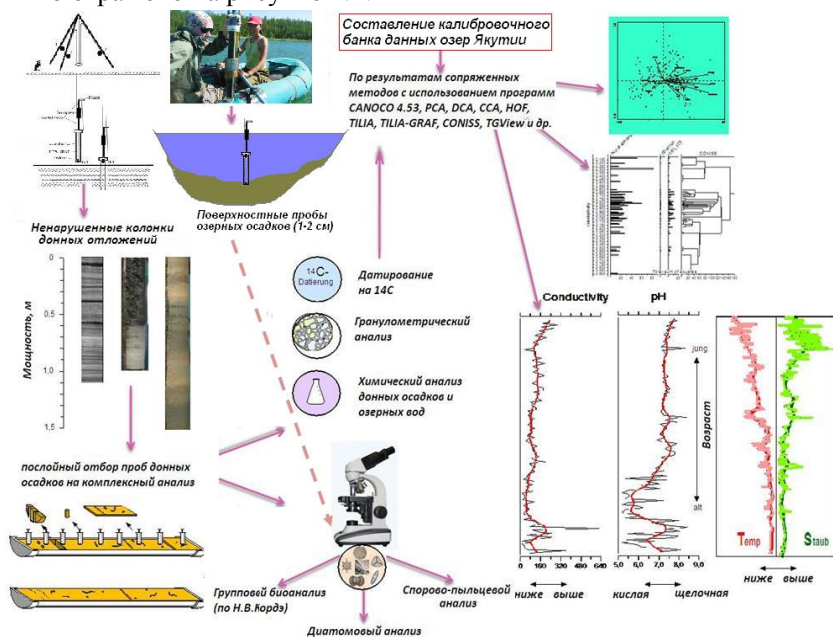


Рис. 4.1. Алгоритм последовательности выполнения палеолимнологической реконструкции [Пестрякова, 2008]

Географические, морфометрические и гидрологические характеристики обследованных озер:

1. Географические координаты.
2. Высота над уровнем моря.

3. Площадь зеркала воды.
4. Длина и ширина.
5. Максимальная глубина.
6. Прозрачность (по диску Секки).

Физико-гидрохимические показатели:

7. Концентрация кислорода.
8. Водородный показатель.
9. Жесткость воды.
10. Электропроводность.
11. Минерализация.
12. Азот аммонийный.
13. Азот нитритный.
14. Железо.
15. Калий.
16. Кальций.
17. Кремний.
18. Магний.
19. Натрий.
20. СО.
21. Сульфаты.
22. Фосфор общий.

Эколого-географическая группировка диатомовых водорослей:

23. По местообитанию (планктон, обрастатель, донный).
24. По отношению к солености (индифференты, галофилы, галофобы, мезогалофы).
25. По отношению к рН (алкалифилы, алкалибионты, ацидофилы, ацидобионты, нейтрофилы).
26. По биогеографии (бореальные, северо-альпийские, космополиты).

Таксономическая принадлежность диатомовой флоры:

27. Отдел.
28. Род.
29. Вид и разновидность.

Количественные показатели диатомовых водорослей:

30. Число видов, шт.
31. Численность, количество створок в граммe осадка.
32. Количественные показатели для видов.
33. Численность, %.
34. Частота встречаемости, баллы.
35. Сапробность видов.
36. Интегральный индекс сапробности сообщества.

5. Спорово-пыльцевой анализ донных отложений озер

Палинологический, или спорово-пыльцевой, анализ применяется для реконструкции растительного покрова, палеогеографических и палеоэкологических условий прошлых геологических эпох. Спорово-пыльцевой метод является одним из основных инструментов палеолимонологических исследований. Споры и пыльца растений очень хорошо сохраняются в озерных отложениях, где существуют анаэробные условия для фоссилизации. Объектами палинологического анализа являются палиноморфы. В первую очередь это пыльца покрытосеменных и голосеменных растений, а также споры растений и грибов, растительные устьица, остатки клеток водорослей, микроскопические остатки фауны (например, яйца тихоходок) и т.д. [Рудая, 2010].

Отбор образцов является первым шагом при палинологических исследованиях и палеолимонологических исследованиях. Механизм и методика отбора озерных отложений описаны в разделе 1 настоящего пособия. Для озерных отложений охват образцов составляет 0,5 или 1 см в зависимости от целей проводимой палеорекострукции или от особенностей проведения датировки образцов. Навески образцов из озерных кернов могут быть всего 1-2 г сухого осадка, в то же время образцы из небогатых пылью и спорами лессовидных отложений и некоторых типов почв могут достигать 250-300 гр.

Химическая обработка образцов. В лабораторных условиях отобранные пробы в полевых условиях подвергаются в химической обработке. Современная лаборатория для проведения химической обработ-

ки должна содержать следующие оборудования: весы для взвешивания образцов, вытяжной шкаф, где образцы подвергаются химическим реакциям, дистиллятор, центрифуга, водяная баня, ультразвуковая ванна, сито для пропускания образцов размером 0,3 мкм.

Для озерных отложений используется общепринятая методика Фаегри и Иверсена, специально разработанная для торфов и озерных отложений. Отличие данной методики от остальных – это использование 40% раствора плавиковой кислоты, которая при нагревании до определенной температуры удаляет силикаты, илы и глину.

Для химической обработки образцов требуются следующие химические реагенты: 10% раствор соляной кислоты, 10% раствор гидроксида калия, плавиковая кислота и глицерин. Лабораторный этап проходит как показано на рисунке 5.1.

Микроскопирование. Для микроскопирования используется световой микроскоп проходящего света с увеличением в 200-400 раз. Несколько капель содержимого пробирки капается на предметное стекло, прижимается покровным стеклом, и палинологический препарат готов для анализа. Для определения таксономической принадлежности пыльцы и спор следует пользоваться определителями и атласами [Савельева, 2013; Куприянова, Алешина, 1972, 1978; Reille, 1992, 1995, 1998]. При подсчете пыльцы и спор необходимо насчитывать статистически значимое количество зерен. По данным Е.Д. Заклинской, 150 зерен является минимальным количеством, при подсчете которых погрешности остаются такими же, как и при подсчете большего числа зерен [Пыльцевой анализ, 1950].

Если концентрация пыльцы в образцах средняя или высокая, то рекомендуется насчитывать 300-500 пыльцевых зерен и спор. Бланки с записями содержания пыльцы и спор оформляются в виде электронных таблиц, которые потом подвергаются статистической обработке и используются для построения диаграмм. Спорово-пыльцевая диаграмма отражает процентное распределение палинотаксонов относительно глубин (стратиграфических слоев). Спорово-пыльцевые диаграммы можно строить с применением различных компьютерных программ,

как специализированных (Tilia-Tiliagraph; POLPAL), так и программ широкого пользования (CorelDraw, MS Excel, MS PowerPoint).

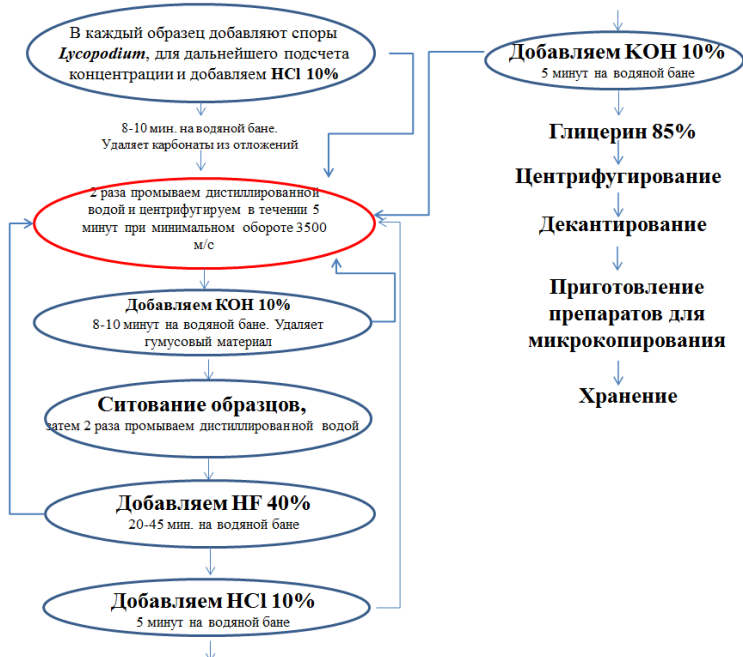


Рис. 5.1. Этапы химической обработки образцов на спорово-пыльцевой анализ [Fægri & Iversen, 1989]

Следующий этап после микрокопирования – *статистическая обработка результатов* определения и регистрации спор и пыльцы в геологических отложениях. Он приводит к выявлению спорово-пыльцевых спектров (палиноспектров) и спорово-пыльцевых комплексов (палинокомплексов) [Филиппова, 1997]. Палиноспектром называют совокупность спор, пыльцы и других палиноморф, выделенных при анализе единичной пробы. В то время как палинологический комплекс — это совокупность спор, пыльцы и других палиноморф определенного таксономического состава и структуры, характерной для отложений определенного стратиграфического интервала и отличающейся в качественном и количественном отношении от совокупности палиноморф

из подстилающих и покрывающих пород. Основой для выделения стратиграфических подразделений с применением спорово-пыльцевого анализа являются палинокомплексы. При выделении палиностратиграфических подразделений используются следующие критерии: изменение состава и соотношения таксонов, максимальное содержание таксонов – индикаторов палеоклиматических условий, исчезновение определенных форм [Рудая, 2010].

Элементарными палиностратиграфическими подразделениями являются палинозона и палиногоризонт. Под палинозоной понимается совокупность слоев горных пород, характеризующаяся определенным палинокомплексом, отличающимся в структурном и таксономическом отношении от подстилающих и перекрывающих слоев и отражающим соответствующие палеоклиматические условия. Палиногоризонт объединяет разновозрастные разнофациальные отложения и содержит ряд палинокомплексов одного типа, которые отражают определенные палеоэкологические условия и отличаются от ряда палинокомплексов подстилающих и перекрывающих горизонтов. Таксономическое и стратиграфическое строение разреза отражается на спорово-пыльцевой диаграмме, которая затем интерпретируется как качественными, так и количественными методами (рис. 5.2). В спорово-пыльцевой диаграмме отражаются следующие характеристики: глубина и мощность озерного керна, таксономические группы растительности, процентные соотношения таксонов, характер отложений и их приблизительный возраст и палинозоны, которые выделяют на основе метода кластеризации.

Применение палинологического метода для озерных отложений.

Как было упомянуто выше, спора и пыльца растений достаточно хорошо сохраняются в озерных отложениях. В таких условиях фоссилизации палиноморфы не подвергаются ни химическому, ни механическому воздействию. Для реконструкции условий палеосреды озерные отложения имеют наибольшую важность. В глубоководных участках водоемов в течение времени накапливаются осадки, сносимые с водосбора и содержащие остатки животных и растений, живших в водосборном бассейне, а также организмов, обитавших в озере. Озерные

отложения являются уникальными архивами непрерывных данных об изменениях природной среды, происходивших на локальном, региональном и даже глобальном уровнях. Накопление и расшифровка таких природных архивов позволяет не только реконструировать пространственное проявление тех или иных палеоэкологических изменений в определенные временные интервалы в прошлом, но и косвенно судить о возможных факторах, формирующих климат [Рудая, 2010]. Наиболее информативные в палеоклиматическом смысле донные осадки откладываются в глубоких тектонических озерах (например, мощность осадков оз. Байкал достигает 10 км, якутского оз. Большое Токо – 68 м). В регионах, где озера промерзают зимой, гидрологический режим носит сезонный характер, что приводит к формированию зимнего и летнего слоев. Мощности слоев зависят от количества воды и наносов, приносимых в озеро. Подсчет пар слоев дает возможность построить кривые скоростей седиментации и рассчитать возраст отложений. Озерные отложения являются также источником информации о лесных пожарах в бассейне озера (20-100 км).

Таксономические группы растительности

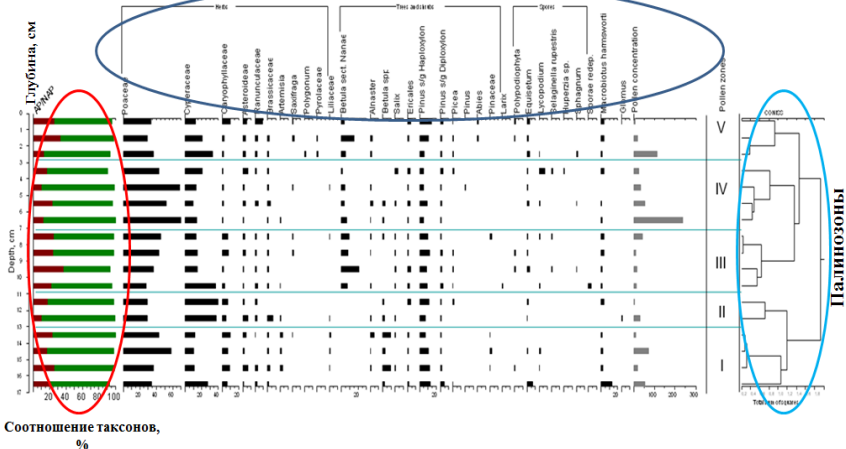


Рис. 5.2. Спорово-пыльцевая диаграмма на основе ПО Tilia Graph

Литература

Абакумов, В.А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод, донных отложений / В.А. Абакумов. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1983. – С. 59-78.

Давыдова, Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы экологических условий водоемов в голоцене / Н.Н. Давыдова. – Ленинград, 1985. – 244 с.

Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. – Ленинград, 1974. – Т. I. – 400 с.

Диатомовый анализ. – Ленинград : Госгеолиздат, 1949а. – Кн. 1. – 273 с.

Диатомовый анализ. – Ленинград : Госгеолиздат, 1949б. – Кн.2. – 283 с.

Диатомовый анализ. – Ленинград : Госгеолиздат, 1950. – Кн.3. – 398 с.

Жадин, В.И. Жизнь в реках. Бентос / В.И. Жадин // Жизнь пресных вод СССР / Под ред. Е.Н. Павловского и В.И. Жадина. – Москва; Ленинград : АН СССР, 1950. – Т.3. – С. 149-183.

Константинов, А.С. Общая гидробиология / А.С.Константинов. – Москва : Высшая школа, 1979. – 480 с.

Куприянова, Л.А. Пыльца двудольных растений флоры Европейской части СССР. Lamiaceae&Zygophyllaceae / Л.А. Куприянова, Л.А. Алешина. – Ленинград : Наука, 1978. – 183 с.

Куприянова, Л.А. Пыльца и споры растений флоры СССР / Л.А. Куприянова, Л.А. Алешина. – Ленинград : Наука, 1972. – Т. 1. – 171 с.

Кутикова, Л.А. Определитель пресноводных беспозвоночных европейской части СССР: планктон и бентос / Л.А. Кутикова, Я.И. Старобогатов. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1977. – 510 с.

Макарова, И.В. О новом местонахождении и систематическом положении малоизвестного вида *Thalassiosira allenii* Takano / И.В. Макарова // Новости систематики низших растений. – 1977. – Т. 14. – С. 31-33.

Макрушин, А.В. Биологический анализ качества вод / А.В. Макрушин; под ред. Г.Г. Винберга. – Ленинград : АН СССР, 1974. – 60 с.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Ред. Г.Г. Винберг, Г.М. Лаврентьева. – Ленинград : ГосНИОРХ, ЗИН АН СССР, 1982. – 33 с.

Николаев, В.А. Морфология, таксономия и система классификации центрических диатомовых водорослей / В.А. Николаев, Д.М. Харвуд. – Санкт-Петербург, 2002. – 118 с.

Общие закономерности возникновения и развития озер. Методы изучения озер // Серия история озер СССР. – Ленинград : Наука, 1986. – С.69-101.

Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. Зообентос / Под ред. В.Р. Алексеева и С.Я. Цалолихина. – Москва; Санкт-Петербург : Товарищество научных изданий КМК, 2016. – 457 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий, Т. 2. Ракообразные. – Санкт-Петербург : РАН, Зоологический ин-т, 1995. – С.129-156.

Палеоэкология. Методологические основы палеоэкологии : учебно-методическое пособие / Л.А. Пестрякова, А.Н. Николаев, Д.А. Субетто, Л.А. Фролова и др. – Якутск : Издательский дом Северо-Восточного федерального университета, 2016. – 84 с.

Пестрякова, Л.А. Диатомовые комплексы озер Якутии. – Якутск : Изд-во ЯГУ, 2008. – 177 с.

Пестрякова, Л.А. Исследование водных экосистем. Методы диатомового анализа. – Якутск : Изд-во ЯГУ, 1997. – 33 с.

Пыльцевой анализ / Под редакцией И.М. Покровской – Москва : Гос. изд-во геол. лит-ры, 1950. – 571 с.

Рудая, Н.А. Палинологический анализ : учеб.-метод. пособие / Н.А. Рудая. – Новосибирск, 2010. – 48 с.

Савельева, Л.А. Атлас фотографий растений и пыльцы дельты реки Лены / Л.А. Савельева, Е.А. Рашке, Д.В. Титова. – Санкт-Петербург, 2013. – 114 с.

Стрельникова, Н.И. Ревизия позднемиоценовых представителей родов *Gladius* Schulz и *Ruxilla* Grev. (Bacillariophyta) // Новости сист. низш. раст. – Москва; Ленинград : Наука, 1966. – С. 23-36.

Трифонова, И.С. Состав и продуктивность фитопланктона разнотипных озер Карельского перешейка / И.С. Трифонова. – Ленинград, 1979. – 168 с.

Унифицированные методы исследования качества вод. Часть 3. Методы биологического анализа вод / Под редакцией Г.Г. Винберга. – Москва : Изд-во СЭИ, 1976. – 185 с.

Филлипова, Н.Ю. Палинология верхнего плиоцена-среднего плейстоцена юга Каспийской области / Н.Ю. Филиппова. – Москва : Геос, 1997. – 161 с.

Fægri K., Iversen J. Textbook of pollen analysis. – New York, 1989. – 328 p.

Reille M. Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord Supplement 1. - Laboratoire de botanique historique et palynology. – URA CNRS. – Marseille, France, 1995. – 520 p.

Reille M. Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord Supplement 2. Laboratoire de botanique historique et palynology. – URA CNRS. – Marseille, France, 1998. – 530 p.

Reille M. Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord. Laboratoire de botanique historique et palynologie. – URA CNRS. – Marseille, France, 1992. – 520 p.

Глоссарий

Антропогенный фактор – любое прямое или косвенное воздействие человеческой деятельности на окружающую среду и отдельные ее компоненты (растительный, животный мир, водоемы, почвы, воздух и др.).

Бенталь (от греч. bentos – глубина) – часть дна и придонная область воды водоема, заселенная организмами.

Бентос (от греч. bentos – глубина) – организмы дна водных объектов (обитают в грунте или на грунте). Внутри озер выделяется донный участок озерной котловины (иногда озерной котловины и придонного слоя воды), где обитает бентос, данный участок называется «бенталь». Растения бентоса именуют фитобентосом, а животных – зообентосом.

Биоиндикаторы – живые компоненты различного уровня организации (от внутриклеточных структур, клеток микроорганизмов до крупных экосистем), являющиеся показателями состояния окружающей среды.

Биоиндикация – определение состояния окружающей среды и ее компонентов путем изучения количественных и качественных показателей биоиндикаторов (чувствительных к изменениям окружающей среды организмов или их частей, или надорганизменных биологических систем).

Биомасса – суммарная масса животных и растительных организмов биоценоза.

Биотоп (от греч. bios – жизнь и topos – место) – участок пространства, характеризующийся однородными условиями среды и занятый определенным биоценозом. Биоценоз + биотоп = биогеоценоз.

Водоросли – неоднородная группа фотосинтезирующих, главным образом водных, одноклеточных и многоклеточных микро- и макроорганизмов, тело которых не разделено на стебель, листья и корень (в отличие от высших растений).

Гидробиоценоз – исторически сложившаяся совокупность водных организмов (растений, животных и микроорганизмов) определенного биотопа (участка водоема), объединенных различными

взаимоотношениями (пищевыми, пространственными, конкурентными и др.).

Голоцен (постплейстоцен, постгляциал, послеледниковье, пост-вюрм) – последний этап геологической истории Земли, наступивший после окончания последнего оледенения. Охватывает примерно 11500 лет (до сегодняшнего дня). В начале и середине голоцена было два резких похолодания (чаластавская и чишурская фазы). Внутри голоцен подразделяется на пребореал, бореал, атлантис, суббореал и субатлантис.

Гомотермия (от греч. *homos* – одинаковый, равный и *therme* – тепло) – явление практически постоянной (без температурного скачка) температуры (и плотности) воды озера (или др. водоема) от поверхности до дна. Гомотермия для озер умеренного пояса наблюдается осенью и весной.

Детрит – продукты расложения различных органических соединений (главным образом мертвых организмов и продуктов жизнедеятельности организмов), присутствует в озере в виде органических и минеральных частиц на дне озера и во взвешенном состоянии в воде.

Диатомовые водоросли (диатомеи, водоросли отдела *Bacillariophyta*) – одноклеточные микроскопические (от 4 до 2000 мкм) водоросли, покрытые силикатным панцирем, различной формы и орнаментации. Широко распространены в различных увлажненных биотопах (в соленых и пресных водоемах, почве, в обрастаниях на твердых субстратах наземно-воздушной среды). Панцири диатомей хорошо сохраняются в отложениях озер и других водных объектов и могут выступать ценным источником палеоэкологической информации. Формируют залежи горной породы под названием «диатомит».

Зообентос – животные, обитающие на дне или в грунте озера (черви, пиявки, моллюски, личинки насекомых и др.).

Зоопланктон – составной элемент планктона, представленный мелкими и микроскопическими животными, не способными к активному перемещению в водной толще и переносимые водными течениями.

Индикаторные виды – живые организмы-показатели определенных условий окружающей среды. При помощи индикаторных видов можно осуществлять качественную и (реже) количественную характеристику состояния окружающей среды

Керн – проба горной породы, обычно в виде цилиндра, извлекаемая с помощью специальных пробоотборников (буров) в результате бурения. Керны обычно отбираются послойно (вертикально) с целью охватить различные временные промежутки образования горных пород и определения их мощности, условий формирования и залегания.

Лимитирующий фактор – экологический фактор, значения или диапазоны которого выступают ограничителями проявления жизнедеятельности организмов.

Лимнология (или озероведение) – наука, объектом изучения которой являются озера и другие водоемы с замедленным водообменом (водохранилища, пруды, полигональные водоемы и др.). Лимнология изучает химические и физические свойства воды, гидробионтов, законы формирования и развития озер и другие аспекты функционирования водоемов.

Литораль – прибрежная мелководная часть озера. Выделяют несколькими способами, например: от уреза воды до нижней границы произрастания высшей водной растительности (реже до нижней границы многоклеточных водорослей), от уреза воды до участков, где солнечный свет достигает дна.

Макрозообентос – животные бентоса, обладающие длиной тела, превышающей 3 мм.

Макрофиты – водные растения, обладающие относительно крупными размерами (главным образом высшая водная растительность). Макрофиты образуют различные экологические группы: растения с плавающими листьями (кувшинка, рдест, ряска, кубышка); надводные (тростник, рогоз); подводные (элодея, рдесты, уруть и роголистник).

Мейобентос – животные бентоса, обладающие размером тела от 0,1 до 3,0 мм.

Микрофитобентос – микроскопические водоросли, обитающие на дне водоема (из диатомовых водорослей роды *Cymbella*, *Navicula*, *Pinnularia* и др.).

Многолетняя мерзлота (вечная мерзлота, многолетняя криолитозона, многолетнемерзлые породы, ММП) – составной элемент криолитозоны, характеризующийся отсутствием периодического протаивания. Общая площадь многолетней мерзлоты на планете составляет около 35 млн км².

Наиллок (пелоген) – глинисто-алевритовые частицы грунта, переносимые водотоками в виде взвеси.

Олиготрофные озера – озера с небольшим количеством «питательных веществ», обычно обладают достаточно высокой глубиной, высоким объемом воды, высокой прозрачностью, естественным цветом воды (голубой, синий). Вода характеризуется высокими концентрациями кислорода, содержание которого постепенно уменьшается ко дну, где его концентрация высока (более 2/5 от концентрации в поверхностном слое).

Перифитон – организмы-«обрастатели», поселяющиеся на поверхности погруженных в воду естественных (камни, пни и др.) и искусственных объектов (днище кораблей, свай, гидротехнические сооружения и др.).

Планктон – мелкие и микроскопические живые организмы (водоросли, бактерии, животные, личинки и яйца рыб, насекомых, беспозвоночных), обитающие в толще воды и не способные к свободному перемещению. В планктоне нередко выделяют фито-, зоо-, бактериопланктон. Планктонные организмы в водных экосистемах, как правило, выступают основой пищевых цепей и сетей.

Профундаль (от лат. *profundus* – глубокий) – глубокая часть озера, где отсутствует донная растительность, ветровое перемешивание и волновые движения водной массы.

Сапропель – разновидность донных отложений пресноводных водоемов, содержащая большое количество органических соединений. Сапропели формируются в результате разложения останков гидробионтов (водной флоры и фауны) и находят применение как удобрение в сель-

ском хозяйстве, а также в медицине (лечебные грязи, маски, витамины и др.) и промышленности (строительные материалы, химическое сырье и др.).

Седименты (озерные) – отлагающиеся на дне озера рыхлые осадки различной природы и состава (биогенные и минеральные частицы).

Створки диатомей – клетка диатомовой водоросли (одноклеточный организм), покрытая панцирем, состоящим из двух половинок (створок). Одна створка находит на другую. Более крупная створка, называемая эпитекой, одевается на более мелкую, именуемую гипотекой. Панцирь диатомей состоит главным образом из оксида кремния, включая различные примеси в небольшом количестве (окислы алюминия, органические вещества и др.).

Таксон (биологический) – ранг в биологической систематике живых организмов, выделяемый на основании степени родства или схожести всех живых существ на планете. Выделяются такие крупные таксоны, как надцарство и царство (царства животных, растений и др.), объединяющие организмы по наиболее общим признакам. Наиболее мелкими (низкими) таксонами являются виды и подвиды живых организмов. Крупные таксоны включают в себя более мелкие (по принципу иерархии).

Фитоценоз – сообщество растений, которое населяет определенный биотоп (характеризуется единством биотопа).

Экология (от др.-греч. *oikos* – местообитание; *logos* – учение) – наука о взаимоотношениях и взаимосвязях живых организмов между собой и окружающей средой. Основоположник экологии – немецкий биолог Эрнст Геккель, ввел термин «экология» в 1866 г.

Экосистема, или экологическая система, – комплекс, объединяющий живых организмов и среду их обитания путем обмена веществ и потоком энергии. Экосистема является универсальным понятием и включает в себя различные по размерам и свойствам надорганизменные образования (от капли воды, населенной живыми организмами (микробами), до биосферы). Обязательные компоненты экосистемы: живые организмы, органические, неорганические вещества и «неживая» среда.

Учебное издание

Городничев Р.М., Пестрякова Л.А., Ядрихинский И.В. и др.

**Методы экологических исследований
Озерные экосистемы**

Учебно-методическое пособие

Печатается в авторской редакции
Дизайн обложки: *Р.М. Городничев*

Подписано в печать 28.12.17. Формат 60x84/16.
Печать цифровая. Печ.л. 4,25. Уч.-изд. 5,3. Тираж 50 экз. Заказ № 231.
Издательский дом Северо-Восточного федерального университета,
677891, г. Якутск, ул. Петровского, 5

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии Издательского дома СВФУ