



Исследование фитопланктона в озерах и реках

Петрозаводск
2012

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Инновационно-технологический центр
по садковому рыбоводству

Исследование фитопланктона в озерах и реках

Методические рекомендации

Петрозаводск
Издательство ПетрГУ
2012

*Рассмотрены и рекомендованы к печати
на заседании редакционной комиссии по отрасли
науки и техники «Биология» 17 декабря 2011 года*

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Петрозаводского государственного университета*

*Разработаны в лаборатории экологических проблем Севера
эколого-биологического факультета
Петрозаводского государственного университета*

С о с т а в и т е л и:

М. А. Лесонен, Т. А. Иешко

В методическом пособии представлены орудия лова, методы отбора, сгущения, консервирования, этикетирования проб, обработки, подсчета клеток водорослей, а также вычисление биомассы фитопланктона.

Предназначено для работников рыбоводных хозяйств, научных организаций, студентов и аспирантов.

Введение

Решение многих важнейших вопросов практического использования природных вод невозможно без длительного изучения водоемов, их гидрологии, гидрохимии, гидробиологии. В комплексном изучении водоемов, особенно в связи с разработкой теории их биологической продуктивности, являющейся научной основой управления биологическими ресурсами водных экосистем, важное место занимают исследования фитопланктона и первичной продукции. Фитопланктону принадлежит основная роль в образовании органического вещества в водоемах. Именно он в конечном итоге определяет их биологическую продуктивность и качество воды.

Фитопланктон — одна из наиболее значимых групп организмов водной биоты, являющаяся основным продуцентом органического вещества в морях и океанах. От его состава и количественных показателей зависит развитие других трофических уровней в водных экосистемах и их биологическая продуктивность.

Фитопланктоном называют микроскопические водоросли, свободно «парящие» в толще воды. Для жизни в таком состоянии в процессе эволюции у них выработался ряд приспособлений, который способствует уменьшению относительной плотности клеток (накопление включений, образование газовых пузырьков) и увеличению их трения (отростки различной формы, выросты). Водоросли представляют собой группу низших растений, которая объединяет растительные организмы, живущие в различных пресных водоемах. Таллом водорослей в большинстве случаев микроскопических размеров. Только у некоторых морских форм он достигает значительной величины и имеет вид пластин различных очертаний или кустика из ветвящихся нитей.

Из всего многообразия видов пресноводного фитопланктона наиболее многочисленны и особенно ценны в кормовом отношении диатомовые, зеленые и сине-зеленые водоросли.

1. Характеристика фитопланктона пресных водоемов

Термин «планктон» (от греч. *планктос*, что означает «блуждающий вокруг») впервые был введен в науку немецким ученым О. Гензеном в 1887 году.

О. Гензен под планктоном понимал все, что пассивно увлечено водой, поэтому рыб он относил к планктону только в стадии икры и молоди. Несколько позже К. Шретер оставил как характерный признак планктона его пассивность, но относил к нему только живые организмы. П. Кольквиту (1912 г.) ввел понятие «сейстон», относя к нему все живое и неживое в толще воды. В этом случае планктон оказывался частью сейстона. В настоящее время к планктону относят организмы неподвижные или недостаточно подвижные, лишенные возможности преодолеть даже слабые течения; к фитопланктону — одноклеточные, колониальные и нитчатые водоросли.

В планктоне преобладают одноклеточные или колониальные организмы, состоящие из клеток с малым удельным весом.

Развитие фитопланктонных сообществ происходит с определенной периодичностью и зависит от различных факторов. Например, прирост биомассы микроводорослей до определенного момента происходит пропорционально количеству поглощаемого света. Зеленые и сине-зеленые водоросли наиболее интенсивно размножаются при круглосуточном освещении, диатомовые — при более коротком фотопериоде. Начало вегетации фитопланктона в марте — апреле в немалой степени связано с повышением температуры воды. Диатомовым водорослям свойствен низкий температурный оптимум, для зеленых и сине-зеленых — более высокий. Поэтому весной и осенью при температуре воды от 4 до 15 °С в водоемах доминируют диатомовые водоросли. Увеличение мутности воды, вызываемое минеральными взвесями, снижает интенсивность развития фитопланктона, особенно сине-зеленых водорослей. Менее чувствительны к повышению мутности воды диатомовые и протокочковые. В воде, богатой нитратами, фосфатами и силикатами,

развиваются преимущественно диатомовые водоросли; в то же время зеленые и сине-зеленые менее требовательны к содержанию этих биогенных элементов.

На видовой состав и численность фитопланктона оказывают влияние и продукты жизнедеятельности самих водорослей, поэтому между некоторыми из них существуют антагонистические взаимоотношения. Антагонистические взаимоотношения, или антагонистический симбиоз, — это неблагоприятное воздействие одного вида микроорганизма на другой, что приводит к повреждению и даже гибели последнего.

Клетки диатомовых водорослей снабжены двустворчатой оболочкой из кремнезема. Их скопления отличаются характерной желтовато-бурой окраской. Эти микрофиты играют важную роль в питании зоопланктона, но из-за низкого содержания органического вещества их пищевая ценность не столь значительна, как, например, у протоккокковых водорослей.

На рис. 1 представлено внешнее строение озерных диатомовых водорослей.

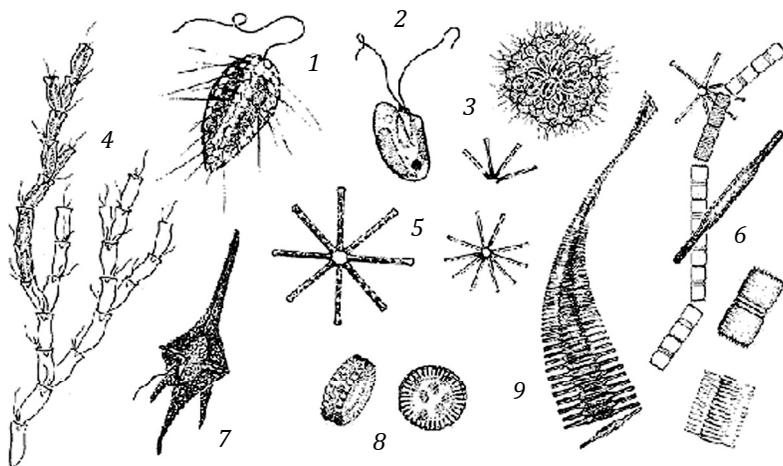


Рис. 1. Озерные диатомовые водоросли:
 1 — *Mallomonas*, 2 — *Cryptomonas*, 3 — *Synura*, 4 — *Dinobryon*,
 5 — *Asterionella*, 6 — *Melosira*, 7 — *Ceratium hirundinella*,
 8 — *Cyclotella*, 9 — *Fragilaria*

Отличительный признак зеленых водорослей — типичная зеленая окраска. Их клетки, содержащие ядро и хроматофор, различны по форме, часто снабжены шипами и щетинками. Некоторые имеют красный глазок (стигма). Из представителей этого отдела протококковые водоросли являются объектами массового культивирования (хлорелла, сценедесмус, анкistroдесмус). Их клетки отличаются микроскопическими размерами и легкодоступны фильтрующим гидробионтам. Калорийность сухого вещества этих водорослей приближается к 7 ккал/г. В них много жира, углеводов, витаминов.

Клетки сине-зеленых водорослей не имеют хроматофоров и ядер и равномерно окрашены в сине-зеленый цвет. Иногда их окраска может приобретать фиолетовый, розовый и другие оттенки. Калорийность сухого вещества достигает 5,4 ккал/г. Белок полноценен по аминокислотному составу, однако из-за слабой растворимости он малодоступен для рыб.

Пресноводный фитопланктон представлен в основном зелеными, сине-зелеными, диатомовыми, пиррифитовыми, золотистыми и эвгленовыми водорослями.

Фитопланктон озер очень чувствителен к антропогенным воздействиям. В частности, в результате эвтрофикации озер происходит рост его биомассы и глубокая качественная перестройка видовых сообществ.

Водоросли очень распространенная группа растительных организмов. Для них характерно наличие хлорофилла, в связи с чем они обладают способностью синтезировать на свету органические вещества, поглощая при этом углекислый газ и выделяя кислород, необходимый для водных организмов. Обитая в водоеме, водоросли являются первопищей для всего живого населения. Микроводорослями питаются разнообразные мелкие животные — дафнии и циклопы, а они, в свою очередь, служат пищей для рыб. Фитопланктон — один из важнейших элементов водной экосистемы, участвующих в формировании качества вод.

На рис. 2 представлены некоторые виды озерных зеленых и сине-зеленых водорослей.

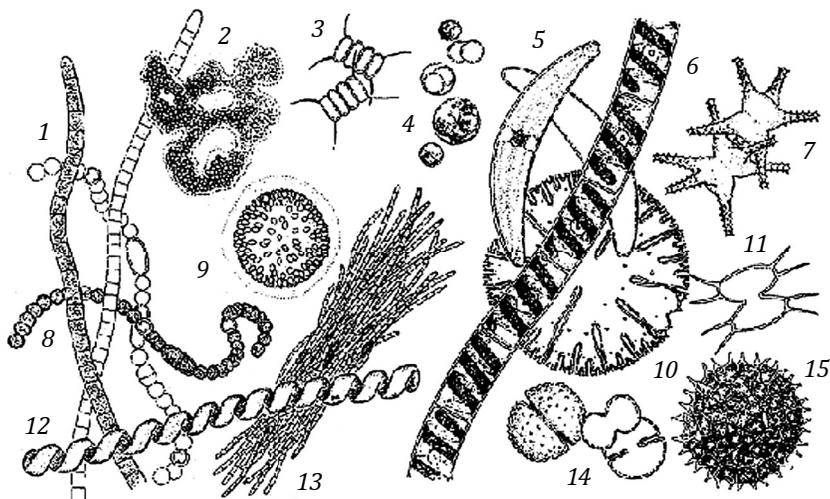


Рис. 2. Озерный фитопланктон:
сине-зеленые и зеленые водоросли:

- 1 — Oscillatoria, 2 — Microcystis aeruginosa, 3 — Scenedesmus,
4 — Chlorella, 5 — Closterium, 6 — Spirogyra, 7 — Staurastrum,
8 — Anabaena, 9 — Coelosphaerium, 10 — Micrasterias,
11 — Xanthidium, 12 — S-Spirulina, 13 — Aphanizomenon flos-aquae,
14 — Cosmarium, 15 — Pediastrum

2. Приборы и оборудование

Для исследования фитопланктона используются следующие приборы и оборудование:

1. Батометр Рутнера.
2. Ведро эмалированное или полиэтиленовое.
3. Микроскопы Биолам Р-6, МБИ-3, световой.
4. Объект-микрометр.
5. Окуляр-микрометр.
6. Камера для подсчета клеток Горяева, Нажотта ($V = 0.01$ мл).
7. Емкость по 0,5—1,0 л.

8. Банки стеклянные с навинчивающимися крышками объемом 100 мл.
9. Склянки объемом 10 мл.
10. Мерный цилиндр на 0,1—0,5 л.
11. Покровные стекла (24 × 32 мм).
12. Предметные стекла.
13. Пипетки глазные.
14. Медицинский лейкопластырь.
15. Формалин 40%-й.

3. Выбор станций исследования и горизонты отбора проб

Вполне естественно, что обследовать всю водную массу сколько-нибудь значительного водоема совершенно невозможно. Поэтому всегда применяют метод выборочного обследования, при котором отбирают пробы на станциях, расположенных в различных частях водоема. Выбор станций определяется морфометрией водоемов и преследует цель возможно полнее охватить экологически разнообразные участки. Так, при работе на озерах и водохранилищах необходимо исследовать впадающие реки и устья наиболее крупных ручьев, основные заливы. На остальной акватории, если она невелика, достаточно наметить 4—7 станций, расположенных равномерно. На крупных озерах и водохранилищах необходимо применять трансектирование акватории, причем число станций на трансектах должно быть пропорционально площади обследуемых заливов и плесов. При обследовании реки, особенно в месте впадения крупных притоков, закладывают поперечные трансекты, уменьшая число станций на них по мере смешивания водных масс основной и впадающей рек. При закладывании трансекты вдоль реки необходимо учитывать влияние крупных населенных пунктов и промышленных предприятий. Перед населенным пунктом можно отбирать пробу на одной русловой станции, но ниже необходимо закладывать 2—3 поперечные трансекты. Учитывая,

что влияние промышленных и бытовых стоков на фитопланктон может сказаться только через двое-трое суток, по скорости течения реки просчитывают место заложения поперечных трансект. Так, при скорости течения 0,5 м/с рассчитывают у исследуемого пункта первую трансекту, которую целесообразно закладывать через 48 км, вторую — через 86 км, третью — через 130 км. Эти расстояния водная масса пройдет за 1, 2, 3 суток соответственно. При исследовании влияния сточных вод в мало или быстро проточных водоемах трансекты закладываются с учетом ветровых стоков, так как ветровые течения часто превосходят склоновые.

При работе на озерах отбор проб проводят по специально разработанной гидробиологической сетке. При прозрачности 3 м пробы отбирают до глубины 10 м, при прозрачности 5 м — до 15 м и т. д. Стандартные горизонты отбора проб: 0; 1; 2,5; 5; 10; 20 м. Все отобранные на станции пробы сливают в один сосуд (чистое эмалированное ведро), тщательно перемешивают и в зависимости от степени развития фитопланктона заполняют пол-литровые или литровые бутылки и консервируют. На мелководных водоемах производят тотальный отбор проб от поверхности до дна.

4. Методы отбора проб и орудия лова

Наиболее надежным методом отбора проб фитопланктона считается батометрический. Пробы, отображенные батометром, используются как для количественного учета фитопланктона, так и для качественной характеристики пробы.

Для отбора проб воды на гидрохимический анализ обычно используют батометр Рутнера (рис. 3), который вполне может быть пригоден для отбора фитопланктонных проб.



Рис. 3. Батометр Рутнера

Для наиболее полного выявления флористического состава фитопланктона используют пробы, отобранные планктонной сетью.

5. Бутылочный метод отбора проб

Применяется резиновая пробка, которая смачивается водой. Чем слабее закрыта пробка, тем легче она будет выдергиваться под водой. Для уменьшения удельного веса прибор погружают в воду, оставляя над поверхностью только горлышко бутылки. Пробка вставляется в горлышко, и прибор быстро опускается на дно водоема, затем пробка выдергивается — прибор поднимается к поверхности.

6. Методы сгущения и консервирования фитопланктона

В практике гидробиологических исследований наиболее распространенными методами концентрирования фитопланктона являются седиментация через мелкопористые мембранные фильтры. Седиментационный (осадочный или отстойный) метод, предложенный Р. Г. Гринбергом еще в 1915 г. и модифицированный П. И. Усачевым в 1926 г., распространен до настоящего времени.

Суть седиментационного метода заключается в том, что пробой воды, предназначенной для сгущения, заполняют поллитровые бутылки или бутылки объемом 1 л (в зависимости от степени развития фитопланктона) и консервируют 1 мл формалина. Через 3—4 дня после отстаивания в темноте воду над осевшими водорослями можно отсосать сифоном, оставив приблизительно 100 см³ пробы. За 2—3 дня до количественной обработки пробы разливаются по мерным цилиндрам, и после отстаивания в темноте их объем доводится до 5—10 см³. Затем они переносятся без потерь в склянки из-под пенициллина.

Основными достоинствами метода консервирования проб фитопланктона с помощью мембранных фильтров являются быстрота и портативность и в связи с этим возможность использования в экспедиционных условиях, а также просматривания живого материала.

7. Эtiquетирование проб

Эtiquетирование проб довольно ответственный момент. Каждая проба снабжается этикеткой, на которой указывают дату отбора пробы, место работы, № станции, орудие лова. Этикетку лучше всего делать из медицинского лейкопластыря и запись вести мягким черным грифелем или шариковой ручкой. Необходимо также вести журнальную запись о состоянии погоды,

температуре и прозрачности воды, скорости течения, дать визуальную оценку качества воды (наличие на поверхности воды пленок нефти, мусора, водорослей и пр.).

8. Методы определения фитопланктона

Для видовой идентификации следует пользоваться наиболее широко применяемыми определителями /4, 5, 9—11, 16, 17/. Необходимо отметить, что при проведении гидробиологического контроля за состоянием поверхностных вод суши определение качественного состава основной массы организмов фитопланктона нужно проводить до вида. Это требуется для выявления организмов-индикаторов, развитие которых позволяет судить о качестве исследуемых вод.

9. Количественные методы. Методы подсчета численности водорослей

Для подсчета численности водорослей используют счетные камеры Нажетта, Горяева, «Учинская». Перед подсчетом пробу тщательно перемешивают и одну каплю вносят в камеру. Очень важно хорошо перемешать пробу, так как этим достигается равномерное распределение водорослей. Это необходимо для уменьшения ошибки выборки, обусловленной тем, что просчитывается не вся проба, а ее часть. Камеру закрывают покровным стеклом и после оседания водорослей проводят определение и подсчет всех встреченных видов, кроме того производят замеры необходимых параметров для последующего вычисления объема клеток. За счетную единицу принимается клетка.

Важный момент: в камере 0,01 мл объем одного квадрата составляет 0,00002 мл, а общее количество квадратов — 256.

Для статистической достоверности подсчета и установления биомассы доминирующих видов необходимо, чтобы каждый из них был встречен не менее 100 раз.

Подсчет общей численности производится по формуле

$$N = \frac{nv_1}{v_2 W},$$

где N — число клеток в 1 см³ воды, n — число клеток в камере объемом 1 мм³, V_1 — объем концентрата пробы, V_2 — объем камеры, W — объем профильтрованной воды. Если объем профильтрованной воды и концентрата пробы постоянны ($W = 500$ см³, $V_1 = 5$ см³), то формула принимает вид

$$N = n \times 10.$$

Пример. В камере объемом 1 мм³ (приблизительно объем камеры Горяева) было просчитано 400 клеток. Объем $V_1 = 5$ см³, $W = 500$ см³. Подставляя эти значения в формулу, имеем

$$N = \frac{400 \times 5}{0,001 \times 500} = 4000 \text{ кл/мл},$$

или в пересчете на л — 4 млн кл/л.

Как показали исследования, для достоверной оценки общей численности фитопланктона плотность его в пробе должна быть не менее 3 тыс. кл/л. Степень концентрации исходной пробы необходимо устанавливать, принимая во внимание это условие.

10. Методы вычисления биомассы

При получении данных, характеризующих уровень развития фитопланктона, особое внимание уделяется биомассе, которая является косвенным показателем продукционных возможностей озер. По биомассе фитопланктона можно судить о структуре планктоценоза в целом при переходе к высшим звеньям

пищевой цепи. Биомасса фитопланктона зависит от биологического типа водоема и его широтного положения. В водной среде растительные организмы представлены, главным образом, одноклеточными водорослями фитопланктона. Биомасса фитопланктона мала, нередко меньше биомассы питающихся за его счет животных. Это возможно благодаря интенсивному обмену веществ и фотосинтезу одноклеточных водорослей, обеспечивающему высокую скорость прироста фитопланктона. На основании исследований большого количества озер Европы и Америки (более 1000) по содержанию летней биомассы фитопланктона все озера подразделяются на олиготрофные — с биомассой менее 1 г/м^3 , мезотрофные — $1\text{—}4 \text{ г/м}^3$, евтрофные — $4\text{—}16 \text{ г/м}^3$ и гипертрофные — более 16 г/м^3 . Обычно в зонах тундры и тайги основная часть озер (74—85 %) имеет биомассу фитопланктона менее 1 г/м^3 .

Вычисление биомассы производится наиболее распространенным в пресноводной гидробиологии методом суммирования биомасс отдельных популяций, для чего требуется установление средней массы (объема) клеток водорослей, составляющих популяции в пробе.

Определение объема клеток водорослей осуществляется следующим образом. Каждую из встреченных особей измеряют, используя для этого окуляр — микрометр или специальную сеточку, вставленную в окуляр. Размер стороны квадрата окулярной сеточки находится сопоставлением сторон сеточки с делениями объекта — микрометра, одно деление которого равно 10 мкм . Форма клеток приравнивается к близкому геометрическому телу. Поскольку большинство обильных видов водорослей имеет форму шара, цилиндра, эллипсоида или двух конусов, то каждый исследователь может составить себе таблицы объемов этих тел и постоянно пользоваться ими. На основании многочисленных промеров для дальнейшего вычисления биомассы, особенно доминирующих видов, получают среднее значение всех необходимых параметров. Найденный для каждой клетки объем (в мкм^3) умножается на ее численность, и получают значение биомассы в мг/л или г/м^3 с точностью до $0,01$. Удельный вес водорослей условно принимается равным единице. Учитывая довольно большую вариабельность размеров

клеток водорослей в зависимости от климатических зон, типов водоемов, сезонных факторов, необходимо в каждом конкретном случае проводить их замеры и определять значение биомассы для исследуемого материала.

Существуют ориентировочные таблицы клеточных объемов для пресноводного планктона /14, 15, 18/, данные которых можно использовать для сравнения с результатами собственных исследований.

11. Трофность

Трофность — это первичная биопродукция (т. е. органика, производимая на нижнем этаже водной экологической пирамиды) и общее содержание органики биогенного происхождения. Эвтрофикация (синонимы — евтрофикация, евтрофирование) — важнейший процесс, происходящий с любым водоемом; закономерная эволюция экосистемы в направлении, которое следует из фундаментального понимания Вернадским (2001) законов развития живого мира. Эвтрофикация является нарушением лимнологической системы в том плане, что прежняя структура экологических и, в частности, трофических отношений нарушается и возникает новая. Однако в конечном итоге общая биологическая масса на территории водного бассейна возрастает и биогенная миграция стремится к росту. Повышение трофности приводит к цветению воды, т. е. численному росту цианобактерий и низших одноклеточных водорослей — зеленых, диатомовых.

Цветение не стихийное явление, оно подготавливается в течение довольно продолжительного времени, иногда двух и более вегетационных периодов. Предпосылки резкого возрастания численности фитопланктона — наличие водорослей в водоеме и их способность к размножению при благоприятных условиях. Развитие диатомовых, например, в значительной мере зависит от содержания в воде железа. Лимитирующим фактором для

зеленых водорослей является азот, сине-зеленых — марганец. Цветение воды считается слабым, если биомасса фитопланктона находится в пределах 0,5—0,9 мг/л, умеренным — 1—9,9 мг/л, интенсивным — 10—99,9 мг/л, а при гиперцветении она превышает 100 мг/л.

Методы борьбы с этим явлением пока еще не настолько совершенны, чтобы можно было считать проблему окончательно решенной. В качестве альгицидов (химических средств борьбы с цветением) применяют производные карбамида — диурон и монурон — в дозах 0,1—2 мг/л. Для временной очистки отдельных участков водоемов вносят сернистый алюминий. Однако прибегать к ядохимикатам следует с осторожностью, так как они потенциально опасны не только для гидробионтов, но и для человека.

В последние годы в этих целях широко используют растительноядных рыб. Так, белый толстолобик потребляет различные виды протококковых и диатомовых водорослей. Сине-зеленые, продуцирующие при массовом развитии токсические метаболиты, усваиваются им хуже, однако в рационе взрослых особей они могут составлять значительную долю. Фитопланктон охотно поедают тилапия, серебряный карась, пестрый толстолобик, а также сиговые, большеротый буффало, веслонос.

В определенной мере ограничивать интенсивность цветения воды могут и макрофиты. Помимо выделения в воду вредных для фитопланктона веществ, они затеняют поверхность близлежащих участков, препятствуя фотосинтезу.

Фитопланктон наиболее точно определяет трофический уровень водоема. К примеру, для олиготрофных и мезотрофных вод характерно низкое отношение численности фитопланктона к его биомассе, а для гипертрофных — высокое. Биомасса фитопланктона в гипертрофных водоемах составляет более 400 мг/л, в эвтрофных — 40,1—400 мг/л, в дистрофных — 0,5—1 мг/л.

12. Формат отчетности и заключение об уровне загрязнения

Форма отчетности по фитопланктону имеет 4 графы. Первая графа включает в себя 5 подразделов, где дается характеристика створа и условие отбора пробы. Вторая графа состоит из 6 подразделов, в которых приводятся результаты обработки фитопланктонных проб с указанием общей численности и биомассы, общего числа видов, численности водорослей основных систематических групп (диатомовых, сине-зеленых, зеленых и т. д.), числа видов в каждой из этих групп и биомассы.

На основании сведений о количественном развитии видового состава фитопланктона имеется возможность выявления массовых и индикаторных форм (3-я графа). Определение до вида необходимо также для выявления связи между изменениями в структуре фитопланктонного сообщества и степенью загрязнения водоема. Изменение структуры фитопланктона выражается в нарушении соотношения в составе фитопланктона вплоть до необратимого выпадения отдельных видов, особенно чувствительных к воздействию тех или иных загрязняющих веществ.

Выявление массовых видов (4-я графа) приобретает особую важность в случае распространения загрязнения на большой площади, когда появление здесь индикаторных форм в небольших количествах не имеет большого значения для характеристики водоема. При этом необходимо учитывать не только возможность загрязнения, но также и биологические сезоны, когда появление в массе отдельных видов может быть вызвано вегетационными особенностями и гидробиологическим режимом.

Как указывалось выше, индикаторная роль фитопланктона определяется не только фактом нахождения или отсутствия определенных видов в водоеме, но и степенью их количественного развития. Вследствие этого характеристика водоема должна даваться с учетом не только видового состава, но также численности и биомассы водорослей. Эти материалы, в свою очередь, дадут возможность судить о тенденциях изменений состава фитопланктона, прогнозировать развитие сине-зеленых водорослей и т. д.

Формат отчетности по фитопланктону

Отбор пробы	Количественные показатели для полного сообщества фитопланктона							Количественные показатели для видов фитопланктона			Формы фитопланктона												
	Створ	Координаты створа	Глубина, м	Температура воды	Прозрачность воды	Отдел	Род	Вид	Число видов, шт.	Численность, кл/мл	Биомасса, мг/л	Численность, %	Частота встречаемости, баллы	Индивидуальный размер, мкм	Объем, мкм ³	г	Массовые	Индикаторные					

Заключение о состоянии водоема делается на основании всех полученных сведений о видовом составе, массовых формах, численности и биомассе основных групп организмов. Оценка степени загрязнения может быть достаточно хорошо отражена методом индикаторных организмов по Пантле и Бакку.

Литература

Методы изучения фитопланктона / Под ред. В. А. Абакумова // Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1983. С. 73—87.

Кузьмин Г. В. Фитопланктон // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. С. 74—87.

Лаугасте Р. Размеры и вес наиболее распространенных водорослей в озерах Чудско-Псковском и Выртсъярв // Гидробиологические исследования. Биология. 1974. Т. 6. С. 7—25.

Унифицированные методы исследования качества вод // Методы биологического анализа вод. Индикаторы сапробности. М.: СЭВ, 1977. Ч. 3. 91 с.

Чекрыжева Т. А. Видовой состав фитопланктона некоторых озер и рек Карелии. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1990. 39 с.

Комулайн С. Ф., Чекрыжева Т. А., Вислянская И. Г. Альгофлора озер и рек Карелии. Таксономический состав и экология. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2006. 81 с.

Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. 498 с.

Трифопова И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука, 1990. 184 с.

Sladecek Y. System of water quality from biological of view // Arch. Hydrobiol. Ergebnisse der Limnologie. 1973. 218 s.

Учебное издание

Исследование фитопланктона в озерах и реках

Методические рекомендации

С о с т а в и т е л и:

Лесонен Мария Александровна,

Иешко Татьяна Александровна

Редактор *Е. Е. Порывакина*

Компьютерная верстка *Ю. С. Марковой*

Подписано в печать 23.02.12. Формат 60 × 84 ¹/₁₆.

Уч.-изд. л. 0,7. Тираж 75 экз. Изд. № 25

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

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