

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет)  
Факультет Химический  
Кафедра Экология и природопользование

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент: к.п.н., доцент  
каф. анатомии УралГУФК



И.Ф. Харина/

«01» 2016 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой,  
д.х.н., профессор

В.В. Авдин/

«01» 2016 г.

Сравнительная оценка фитопланктонных сообществ  
озер Ильменское и Увильды

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
ЮУрГУ–241000.62.2016.886.ПЗ КП

Руководитель

к.х.н., доцент

А.М. Кострюкова/

«01» июня 2016 г.

Автор

студент группы Х-444

Е.С. Маврина/

«02» июня 2016 г.

Нормоконтролер

к.т.н., доцент, с.н.с.

В.Р. Гофман/


«02» июня 2016 г.

Челябинск 2016

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)

Факультет «Химический»  
Кафедра «Экология и природопользование»  
Специальность «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической  
технологии, нефтехимии и биотехнологии»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

  
/В.В. Авдин/

«01» 06 2016 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу студента  
Маврина Екатерина Сергеевна  
Группа Хим-444

1 Тема НИР

Сравнительная оценка фитопланктонных сообществ озер Ильменское и  
Увильды

утверждена приказом по университету от 15.04.2016. № 661

2 Плановый срок сдачи студентом законченной НИР 1 июня 2016

3 Исходные данные к НИР

Результаты анализа литературных данных по исследованию качества  
воды водного объекта биологическими методами; материалы полевых  
исследований.

4 Перечень вопросов, подлежащих разработке:

1) Анализ литературных источников по гидробиологическим  
исследованиям;



2) изучение водных объектов на местности, камеральная обработка полученных данных;

3) Анализ результатов исследования фитопланктонного и перифитонного сообществ озёр Ильменское и Увильды;

4) Сопоставление полученных результатов исследования сапробности озёр по фитопланктонному и перифитонному сообществам.

5) Перечень иллюстративного материала (плакаты, альбомы, раздаточный материал, макеты, электронные носители и др.) и общего количества иллюстраций по НИР.

1. Типовые листы;
2. Цели и задачи;
3. Карта-схема озёр Ильменское и Увильды;
4. Таксономический состав водорослей озера Ильменское;
5. Таксономический состав водорослей озера Увильды;
6. Распределение видов водорослей по численности (озеро Ильменское);
7. Распределение различных водорослей по численности (озеро Увильды);
8. Живого-географический анализ альгофлоры озера;
9. Живого-географический анализ альгофлоры озера;
10. Число видов водорослей - сапробинтов;
11. Значения индекса сапробности точек озера Ильменское и Увильды;
12. Доминантные виды фитопланктона озера Ильменское и Увильды;
13. Выводы.

6 Дата выдачи задания 1 февраля 2016

Руководитель \_\_\_\_\_ (А.М. Кострюков)

(подпись)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ (Е.С. Маврина)

(подпись)

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование разделов НИР	Срок выполнения раздела НИР	Отметка о выполнении руководителя
Сбор и камеральная обработка данных натуральных исследований	1.02.2016	<i>AK</i>
Анализ литературных данных и составление литературного обзора по проблеме исследования	30.03.2016.	<i>AK</i>
Разработка и обоснование методик исследования	27.04.2016.	<i>AK</i>
Обработка результатов исследований	19.05.2016.	<i>AK</i>
Оформление пояснительной записки	20.05.2016.	<i>AK</i>
Получение рецензии, отзыва, подготовка доклада	01.06.2016.	<i>AK</i>

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ *AK* /В.В. Авдин/

Руководитель НИР \_\_\_\_\_ *AK* /А.М. Кострюкова/

Студент \_\_\_\_\_ *AK* /Е.С. Маврина/

## РЕФЕРАТ

Маврина Е. С. Сравнительная оценка фитопланктонных сообществ озер Ильменское и Увильды. Челябинск: ЮУрГУ, Хим-444, 65 с., 14 табл., 25 ил., библиогр. список – 22 наим.

Сравнительная оценка, фитопланктон, таксономический состав, эколого-географическая характеристика, сапробность.

Объектом исследования являются озера Ильменское и Увильды.

Цель работы – провести сравнительную оценку фитопланктонных сообществ озер Ильменское и Увильды.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- изучить литературный материал;
- выбрать точки для проведения отбора проб;
- исследовать видовой состав фитопланктонного сообщества озер Ильменское и Увильды;
- рассмотреть эколого-географическую характеристику фитопланктонного сообщества водоемов.

В ходе работы проводилось изучение видового состава и эколого-географическая характеристика фитопланктонного сообщества озер Ильменское и Увильды, и определение индекса сапробности по индикаторным организмам.

Сапробиологический анализ занимает одно из главных мест среди биологических методов анализа поверхностных вод. Сапробность – это комплекс физиологических свойств различных организмов, обуславливающий их способность развиваться в воде с тем или иным содержанием загрязняющих веществ.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	8
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	9
1.1 Ильменский государственный заповедник.....	9
1.1.1 Водоемы Ильменского заповедника.....	9
1.1.2 Озеро Ильменское .....	9
1.2 Озеро Увильды.....	10
1.3 Фитопланктон .....	12
1.3.1 Систематика водорослей.....	14
1.3.1.1. Отдел сине-зеленые водоросли (Cyanophyta).....	16
1.3.1.2 Отдел зеленые водоросли (Chlorophyta) .....	18
1.3.1.3 Отдел эвгленовые водоросли (Euglenophyta) .....	23
1.3.1.4 Отдел золотистые водоросли (Chrysophyta).....	24
1.3.1.5 Отдел динофитовые водоросли (Dinophyta).....	25
1.3.1.6 Отдел желто-зеленые водоросли (Xanthophyta).....	25
1.3.1.7 Отдел диатомовые водоросли (Bacillariophyta).....	27
1.3.1.8 Отдел бурые водоросли (Phaeophyta).....	28
1.3.1.9 Отдел красные водоросли (Rhodophyta) .....	31
1.3.2 Пресноводный фитопланктон .....	35
1.3.3 Факторы, влияющие на состав и распределение фитопланктона ...	40
1.4 Биоиндикация.....	41
1.4.1 Сапробиологический анализ .....	42
2 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	48
2.1 Отбор проб .....	48
2.2. Биологический контроль водоема методом сапробности .....	48
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ .....	50
3.1 Исследование видового состава фитопланктонных сообществ озер Ильменское и Увильды .....	50

3.2 Эколого-географическая характеристика фитопланктона озера Ильменское.....	55
3.3 Эколого-географическая характеристика фитопланктона озера Увильды .....	58
3.4 Сравнительная оценка видового состава фитопланктона озер Ильменское и Увильды .....	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	63
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	64

## ВВЕДЕНИЕ

Южный Урал является озерным краем, поскольку здесь насчитывается свыше 3,5 тысяч озер. Размеры их варьируются от 1–2 га до 70–80 км<sup>2</sup>. В основном преобладают малые озера, величина которых менее 0,5 км<sup>2</sup>, что составляет примерно 80 %.

Озера протянулись почти сплошной полосой от Чебаркульской озерной группы на юге (озеро Ильменское) до Синарской – на севере (озеро Увильды). Здесь наблюдаются самые крупные озера области, которые являются тектоническими и имеют глубокие котловины, размеры которых достигают до 30–40 м.

Восточный берег озера Ильменское находится на территории Ильменского государственного заповедника, озеро Увильды является памятником природы.

Следует отметить, что оба водоема подвергаются антропогенной нагрузке, для этого проводится изучение фитопланктонных сообществ, которое позволяет оценить их экологическое состояние.

Так же необходимо проводить разносторонний экологический мониторинг водных экосистем региона.

Существует достаточное количество методик по исследованию водных объектов и определению их качественного состояния и в конечном итоге прогнозированию их дальнейшего состояния. Одним из таких методов является сапробиологический анализ.

Цель работы – провести сравнительную оценку фитопланктонных сообществ озер Ильменское и Увильды.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- изучить литературный материал;
- выбрать точки для проведения отбора проб;
- исследовать видовой состав фитопланктонного сообщества озер Ильменское и Увильды;
- рассмотреть эколого-географическую характеристику фитопланктонного сообщества водоемов.



# 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1 Ильменский государственный заповедник

Ильменский государственный заповедник Челябинского научного центра УрО РАН – это уникальный минералогический объект и участок биосферы, представляющий ландшафтный комплекс Восточного Уральского хребта. Площадь заповедника составляет 303,8 км<sup>2</sup>, из которых примерно 9 % приходится на акватории, представленные многочисленными озерами. На территории заповедника находится 16 крупных и 14 мелких озер и озеровидных водоемов [1].

Следует отметить, что Ильменский заповедник является одним из первых заповедников в России, который был основан в соответствии с декретом СНК РСФСР 14 мая 1920 года. По истечению 15-ти лет Ильменский заповедник был преобразован в комплексный. Это было сделано с целью сохранения и изучения минеральных богатств, флоры и фауны Южного Урала. А в 1951 году вошел в состав Российской академии наук [2].

### 1.1.1 Водоемы Ильменского заповедника

Водоемы Ильменского государственного заповедника (Южный Урал, Челябинская область) относятся к бассейну Иртыша, его крайней западной части. В Ильменском заповеднике преобладают крупные озера, которые имеют преимущественно тектоническое происхождение и довольно глубоки. К числу таких водоемов относятся озера Ильменское, Большое и Малое Миассово, Большой Таткуль, Большой Ишкуль, Большой Кисегач, Савелькуль и др. В них наблюдаются сгонно-нагонные явления, развита каменистая литораль, дно преимущественно песчаное или галечное, в отдельных местах покрыто крупными валунами.

На территории заповедника насчитывается более 40 речек, большинство их стекает с Ильменского хребта. Речки короткие, маловодные, с крутым падением в твердых каменистых берегах и каменистым ложем. Весной, при таянии снега или после большого дождя, речки превращаются в бурные пенящиеся потоки. Летом они обычно пересыхают, вода сохраняется только в наиболее глубоких ямах, под россыпями и в мощных родниках, питающих речки. Самая длинная река – Большая Черемшанка, протяженностью 9,8 км [3].

### 1.1.2 Озеро Ильменское

Озеро Ильменское расположено на южной границе Ильменского заповедника и находится на административной территории города Миасс. Относится к средним озерам по площади (4,56 км<sup>2</sup>), средняя глубина озера

2,8 м, а максимальная 6,1 м [4]. Общая длина озера 3,4 км при наибольшей ширине в 1,8 км [1].

Заповедной является только небольшая часть юго-восточного побережья. На западном берегу озера расположены две базы отдыха, а на северном берегу расположены жилой поселок и нефтебаза [5].

Озеро Ильменское принадлежит Карскому гидрографическому бассейну (или Обскому бассейну Северного Ледовитого океана). По региональной классификации изучаемое озеро расположено в Восточно-Предгорном лимнологическом районе, преимущественно тектонического происхождения, слабоводообменно, имеет сток в систему рек Миасс – Исеть – Тобол – Обь, тип водообмена аккумулятивно-транзитный, модуль среднегодового стока низок. Исследуемое озеро лежит в зоне предгорных южно-таежных ландшафтов на серых лесных маломощно-щебнистых почвах, покрытых сосново-березовыми лесами с примесью мелколиственных пород – осины, ольхи, липы. Водосборная площадь озера невелика. Морфометрическая характеристика озера представлена в таблице 1 [6].

Берега озера Ильменское примыкают к городской черте, на их водосборах расположены объекты рекреации, железная дорога, водоем испытывает антропогенный пресс. Озеро по типу минерализации является пресным водоемом, так как солесодержание составляет 79,3–164,7 мг/л, гидрокарбонатного типа  $\text{HCO}^{3-} - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$  [5].

Таблица 1 – Морфометрические характеристики озера Ильменское

Высота над уровнем моря, м	Площадь, км <sup>2</sup>	Объем, км <sup>3</sup>	Длина береговой линии, км	Ширина, км	Наибольшая глубина, м	Средняя глубина, м
331,4	4,76	14,6	3,5	1,8	6,1	3,0

По северному берегу озера проходит автомобильная дорога Миасс – Чебаркуль и железная дорога Уфа – Челябинск, так же, на северном берегу расположены здания, входящие в городскую застройку Миасса. Западный берег – рекреационная зона: на западном берегу находятся база отдыха и детский оздоровительный лагерь. Там же проходит Ильменский фестиваль авторской песни. Восточный берег располагается на территории Ильменского заповедника, в связи с чем, его не используют в хозяйственной деятельности [6].

## 1.2 Озеро Увильды

Увильды – озеро, которое находится в Аргаяшском районе, Карабашском и Кыштымском городских округах Челябинской области России. Учитывая то, что на его берегах находятся базы отдыха, детские оздоровительные

лагеря и большое количество частных коттеджей на озеро налагается значительная рекреационная нагрузка.

Следует отметить, что озеро Увильды является одним из нескольких озер Южного Урала с очень прозрачной водой. С чем связано данное явление не объяснимо, но в соседних озерах наблюдается мутная вода.

В переводе с башкирского языка слово «увильды» означает «голубая чаша», что подтверждается на практике, так как озеро напоминает гигантскую чашу, наполненную водой. Характеристики озера Увильды представлены в таблице 2 [7].

Таблица 2 – Морфометрические характеристики озера Увильды

Высота над уровнем моря, м	Площадь, км <sup>2</sup>	Объем, км <sup>3</sup>	Длина береговой линии, км	Наибольшая глубина, м	Средняя глубина, м	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>
272	68,1	0,8	120	38	13	144

Озеро Увильды объявлено памятником природы Челябинской области решением исполнительного комитета Челябинского областного Совета народных депутатов от 21.01.1969 № 29. Такое решение было принято в связи с тем, что озеро Увильды является одним из крупнейших озер Челябинской области, более того самое глубокое в регионе, окружено живописными берегами с богатым растительным и животным миром. Имеет большое рекреационное и лечебное значение.

Озеро расположено в Вишневогорско-Ильменском районе подзоны сосново-березовых лесов восточного склона Урала на границе с лесостепной зоной. Это особо охраняемая природная территория (ООПТ) по своим функциям относится к территориям целевой охраны.

Рекреационное использование озера началось в начале XX века, когда на берегах озера был создан дом отдыха ВЦИК (1931 год, сейчас это федеральный курорт «Увильды»). В 1933 году в юго-западной части озера открылся дом отдыха «Красный камень». Всего в период с 1970 года по 1980 год прошлого века общее количество санаториев, баз отдыха, детских оздоровительных лагерей, пансионатов, приютов и туристических центров достигло 80. В настоящее время по берегам озера продолжается дальнейшее расширение зон застройки и освоения. Ежегодно появляются многие десятки коттеджей, дач, баз отдыха, находящихся в частной собственности. Число рекреантов в летнее время многократно превышает допустимые нормы, примерно в 25 раз.

В сложившихся социальных условиях для этой особо охраняемой природной территории особенно остро стоит вопрос о сохранении естественных сообществ водоема и его окрестностей и, в частности,

сохранения охраняемых биологических видов, которые обитают на этой территории [8].

### 1.3 Фитопланктон

Термин «планктон» в переводе с греческого означает «блуждающие». Впервые в науке данный термин был зарегистрирован в 1887 году, который был введен ученым Гепзенем. По своему первоначальному представлению означал совокупность организмов, которые парят в воде. Годы позже в составе планктона стали различать:

- фитопланктон – растительный планктон;
- зоопланктон – животный планктон.

Таким образом, фитопланктон представляет собой совокупность свободноплавающих в толще воды мелких, зачастую микроскопических растений, большую часть которых составляют водоросли. Фитопланктон, как правило, это часть планктона, которая может осуществлять процесс фотосинтеза. Каждый отдельный организм из состава фитопланктона называют фитопланктером.

К фитопланктону относятся:

- протококковые водоросли;
- диатомовые водоросли;
- динофлагелляты;
- кокколитофориды;
- цианобактерии.

Фитопланктон обитает в фотической зоне водоёмов, населяя толщу воды. Он относится к первичному продуценту органического вещества в водоёме и служит пищей для зоопланктона и зообентоса.

Бурное размножение фитопланктона влечет за собой такое явление как «цветение воды».

Экологи считают, что фитопланктон в жизни больших водоемов играет точно такую же роль как растения на суше. Следует, что фитопланктон производит первичное органическое вещество, благодаря которому прямо или косвенно может существовать весь остальной мир на суше и на воде.

Планктонные организмы, как известно, способны существовать в воде во взвешенном состоянии, что осуществляется благодаря некоторым специальным приспособлениям. Так, на телах планктонов существуют различные выросты и придатки, такие как:

- шипы;
- щетинки;
- роговидные отростки;
- перепонки и прочее.

Известные выросты и придатки для существования их в воде во взвешенном состоянии представлены на рисунке 1.1.

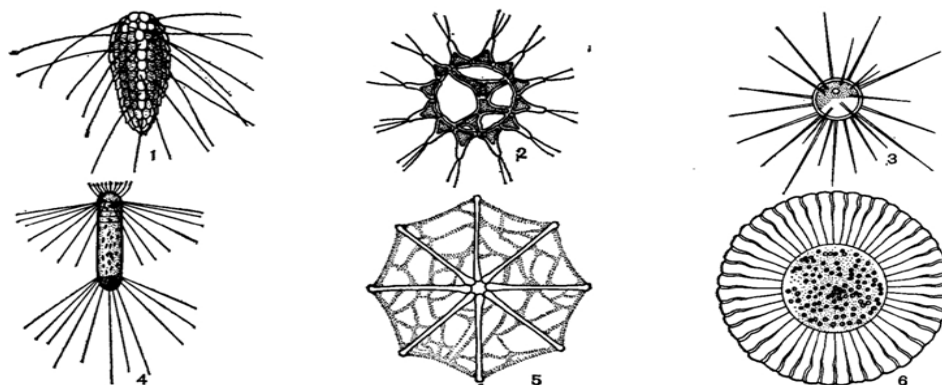


Рисунок 1.1 – Внешние приспособления к планктонному образу жизни у водорослей из разных систематических групп: 1–4 – шиповатые формы (1 – *Mallomonas*, одноклеточный жгутиконосец на золотистых водорослях с кремнелыми чешуйками на оболочке, снабженные отростками; 2 – колониальная зеленая водоросль педиаструм с шипами на краевых клетках; 3 – одноклеточная зеленая водоросль голенкиния с шипами, усеивающими оболочку; 4 – одноклеточная диатомея коретрон с тремя венчиками отростков на панцире); 5,6 – парашютные формы (5 – эвсадчатая колония диатомея астерионеллы со слизистыми тяжами между клетками, образующими парашют; 6 – одноклеточная диатомея планктониелла с плоской формой панциря)

В других случаях происходит накопление в теле веществ с удельным весом меньше единицы, например капель жира у газовых вакуолей (у некоторых сине-зеленых водорослей), представленное на рисунке 1.2.

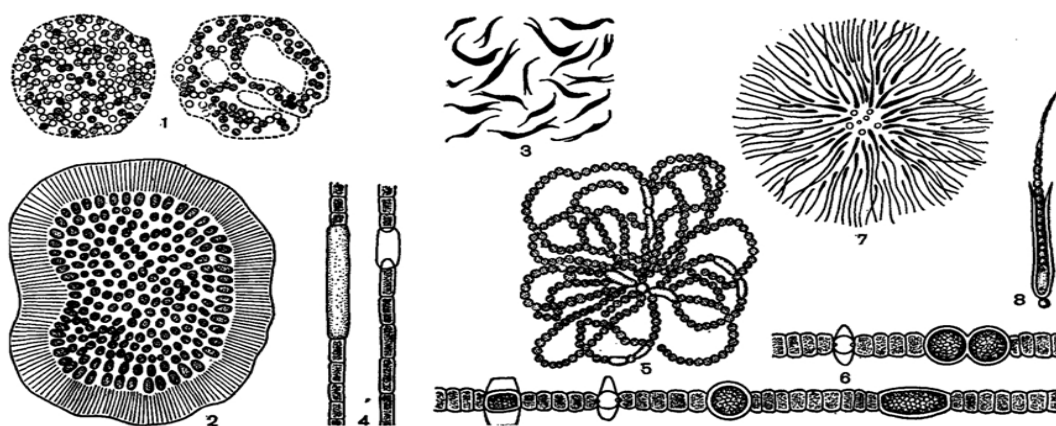


Рисунок 1.2 – Планктонные сине-зеленые водоросли с газовыми вакуолями в клетках, вызывающие «цветение» воды: 1 – две колонии микроцистиса, образованные бесструктурной слизью; 2 – колония



воронихинии с штриховатой наружной слизью; 3,4 – афанизоменон (3 – чешуйки из нитей в натуральную величину, 4 – участки нитей при большом увеличении); 5 – собранные в клубочек нити анабены; 6 – плавающие отдельные нити анабены; 7,8 – колония и отдельная нить глеотрихии при разных увеличениях. Газовые вакуоли под микроскопом кажутся черными

Следует отметить, что состав и экология различных представителей водорослевого фитопланктона в различных водоемах бывает разнообразной. Фитопланктон может существовать в водоемах различных по природе и размеров, так он может присутствовать как в океане, так и в маленькой луже. Отмечается его отсутствие только в водоемах с резко аномальным режимом, а так же в термальных (температура воды выше +70 и +80 °С), заморных (зараженных сероводородом), чистых приледниковых водах, которые не содержат минеральных питательных веществ. Помимо всего прочего, живой фитопланктон отсутствует в пещерных озерах и на больших глубинах водоемов, что связано с недостаточной солнечной энергией на глубине для фотосинтеза. Общее количество видов фитопланктона во всех морских и внутренних водоемах может достигать 3000 [9].

### **1.3.1 Систематика водорослей**

Наука, которая занимается изучением водорослей, называется альгология.

Водоросли – обширная группа разнородных в систематическом отношении организмов (как прокариот, так и эукариот), поэтому водоросли представляют собой группу скорее экологическую, объединенную водным образом жизни. Общим для всех водорослей является также наличие хлорофилла и обусловленное этим автотрофное питание – способность синтезировать на свету органические вещества из неорганических. У многих водорослей зеленая окраска хлорофилла замаскирована другими пигментами. Это преимущественно обитатели водной среды, но многие поселяются на стволах деревьев, в почве и на ее поверхности, а также в других наземных биотопах, хотя процесс размножения их непосредственно зависит от капельно-жидкой среды.

Клетки водорослей покрыты твердыми двойными оболочками. Во взрослых клетках цитоплазма расположена постенно, а центр занят вакуолью с клеточным соком. В клетке содержатся фотосинтезирующие хлорофиллы, также могут содержаться другие пигменты, которые формируются в хроматофорах, эндо-плазматический ретикулум, митохондрии, пиреноиды (тельца белковой природы, принимающие участие в процессе образования крахмала). Наличие или отсутствие в хроматофорах пиреноидов является систематическим признаком.

Водоросли крайне разнообразны по внешней форме, однако можно выделить несколько основных структур таллома:

- амебоидная;

- монадная;
- пальмеллоидная;
- коккоидная;
- трихальная;
- гетеротрихальная;
- сифоновая;
- сифонокладальная;
- пластинчатая;
- тканевая.

Представители многих отделов водорослей находят обширное применение в фармакологии [10].

К основным характеристикам фотосинтезирующих организмов можно отнести следующее:

- в жизненном цикле отсутствуют жгутиковые стадии, встречаются одноклеточные, колониальные и многоклеточные представители;
- из пигментов хлорофилл а, фикоцианин, аллофикоцианин и фикоэритрин;
- запасной полисахарид – цианофициновый крахмал, соединения азота запасаются в виде цианофициновых гранул, соединения фосфора – полифосфатных тел;
- клетки имеют прокариотическое строение, отсутствуют такие органеллы, окруженные мембраной, как ядро, хлоропласты, эндоплазматический ретикулум, аппарат Гольджи, лизосомы, митохондрии, вакуоль с клеточным соком, а также микротрубочки, центриоли, микрофилламенты;
- пигменты фотосинтеза локализованы в тилакоидах, свободнолежащие в цитоплазме или собранные в граны;
- ДНК лежит в центре клетки и не окружена мембранами, а также могут содержать плазмиды;
- размножение как вегетативное, так и бесполое, отмечается генетическая рекомбинация;
- в состав клеточной стенки входит пептидогликан, или его еще называют муреин [11].

В систематическом отношении водоросли делятся на множество самостоятельных отделов, различающихся по окраске, зависящей от набора пигментов, по организации клетки и структуре талломов. Выделяют следующие отделы:

- Cyanophyta – Сине-Зеленые;
- Chlorophyta – Зеленые;
- Euglenophyta – Эвгленовые;
- Chrysophyta – Золотистые;
- Dinophyta – Динофитовые;

- Xanthophyta – Желто-Зеленые;
- Bacillariophyta (Diatomophyta) – Диатомовые;
- Phaeophyta – Бурые;
- Rhodophyta – Красные [10].

### 1.3.1.1. Отдел сине-зеленые водоросли (Cyanophyta)

Цианобактерии, или оксифотобактерии, или синезелёные водоросли, или цианопрокариоты, или цианеи (лат. *Cyanobacteria* от греч. *Κυανος* – сине-зелёный) – тип крупных грамотрицательных бактерий, способных к фотосинтезу, сопровождающемуся выделением кислорода.

Цианобактерии наиболее близки к древнейшим микроорганизмам, остатки которых (строматолиты, возраст более 3,5 млрд лет) обнаружены на Земле. Это единственные бактерии, способные к кислородному фотосинтезу. Цианобактерии относятся к числу наиболее сложно организованных и морфологически дифференцированных прокариотных микроорганизмов.

Отдел включает одноклеточные, колониальные по организации и коккоидные, трихальные по структуре водоросли. Данный отдел характеризуется особым строением клетки, которая лишена оформленного ядра и хроматозом. Клеточная оболочка пектиновая, под ней располагается протопласт, лишенный вакуолей с клеточным соком. В протоплазме различают две части:

- хромотоплазма – периферическая окрашенная часть;
- центроплазма – центральная бесцветная часть.

В хромотоплазме содержатся такие пигменты, как хлорофилл *a*, каротин, ксантофилл, фикоциан (синего цвета) и фикоэритрин (красного цвета). Как раз таки различное соотношение этих пигментов присваивает различную окраску водорослям, которая варьируется для этого отдела от сине-зеленой окраски до желтой и даже красноватой. В отличие от бактерий, у сине-зеленых водорослей нет подвижных жгутиков стадий.

Половой процесс отсутствует, как и у всех прокариотических организмов. Размножение осуществляется делением клеток и распадом нитчатых форм на отдельные участки.

Сине-зеленые водоросли распространены как в пресных водоемах, так и в морских, могут обитать в горячих источниках и на поверхности почвы. Используются в биотехнологии и фармакологии для получения витаминов, таких как В12, аминокислот и других ценных веществ [10].

Цианеи по особенностям строения тела и размножения подразделяют на три класса:

- *Chroococophyceae* (Хроококковые);
- *Chamaesiphonophyceae* (Хамесифоновые);
- *Normogoniophyceae* (Нормогониевые).

Разнообразие сине-зеленых водорослей представлено на рисунке 1.3 [11].

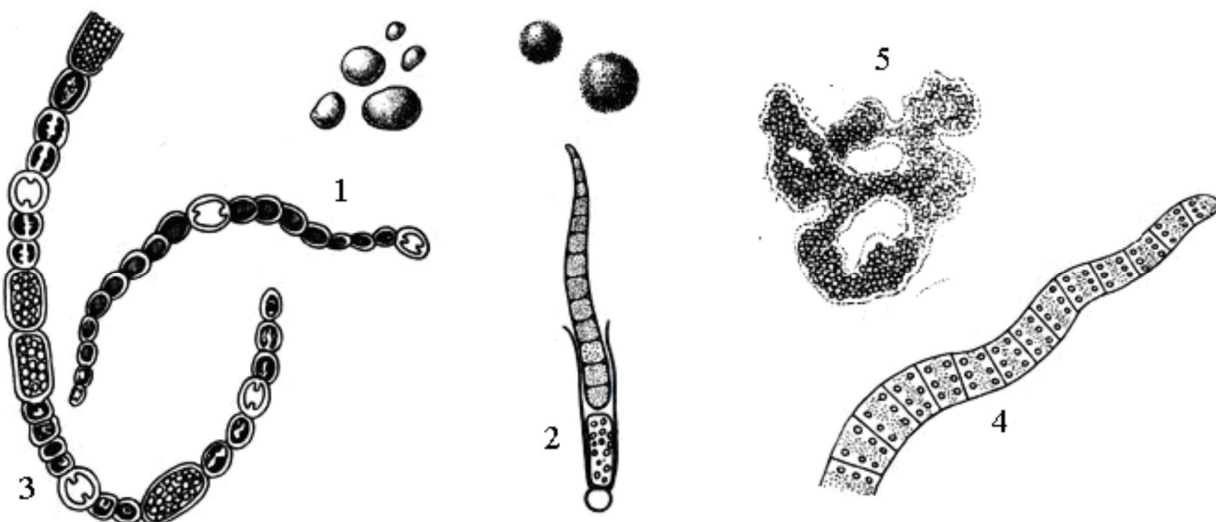


Рисунок 1.3 – Многообразие Cyanophyta: 1 – *Nostoc*; 2 – *Gloeotrichia*; 3 – *Anabaena*; 4 – *Oscillatoria*; 5 – *Microcystis aeruginosa*

Класс Хроококковые (*Chroococcophyceae*) объединяет колониальные, реже одноклеточные формы. Клетки обычно представлены шаровидной формой, имеющих коккоидную структуру. Размножение осуществляется путем деления клеток пополам. Иногда после деления клетки не расходятся и возникают слизистые колонии. Представитель хроококковых – *Microcystis* sp. (микроцистис), как правило, он представляет микроскопический организм, живущий в пресных водоемах и образующий колонии, часто вызывая «цветение» воды. Многие виды служат в качестве корма для различных обитателей водоемов [10].

Класс Хамесифоновые (*Chamaesiphonophyceae*) представляют собой одноклеточные и многоклеточные трихальные водоросли. Встречаются как в пресной, так и в морской воде. Способны вести прикрепленный образ жизни, прикрепляясь ко дну водоемов основанием клеток [10].

К классу Гормогониевые ( *hormogoniophyceae*) относится большинство нитчатых сине-зеленых водорослей. Нити могут размножаться путем распада на отдельные участки – гормогонии, тоже подвижные, которые в последующем вырастают в новые нити. Класс содержит несколько порядков:

- порядок *Oscillatoriales* – Осцилляториевые;
- порядок *Nostocales* – Ностоковые [10].

Основным представителем порядка Осцилляториевые (*Oscillatoriales*) является *Oscillatoria* sp. (осцилатория). Имеет трихальное строение. Многочисленные виды этого рода часто образуют сине-зеленые пленки, которые покрывают влажную землю после дождя и подводные предметы. Представляет собой длинные гомоцитные (состоящие из одинаковых клеток) нити, большей частью сине-зеленого цвета. Снаружи клетки покрыты слизистым чехлом, который выполняет защитную функцию [10].

Представители порядка Ностоковые (Nostocales) представлены гетероцитными (разноклеточными) нитями. Следует отметить, что в нитях, наряду с вегетативными клетками, темными от газовых вакуолей, также встречаются особые толстостенные клетки – гетероцисты, которые отличаются от вегетативных клеток по цвету, форме и размерам. По гетероцистам обычно происходит распад нитей на отдельные участки, называемые гормогониями.

Яркий представитель данного порядка – *Anabaena* sp. (анабэна). Способна вызывать обильное цветение воды в стоячих водоемах. Нити свободноплавающие, бывают одиночные, или соединенные между собой в своеобразный клубок [10].

### 1.3.1.2 Отдел зеленые водоросли (Chlorophyta)

Зелёные водоросли – самый обширный на данное время отдел водорослей, так как по подсчётам сюда входит от 13 000 до 20 000 видов.

Зеленые водоросли являются наиболее разнообразной группой из всех водорослей как по строению, так и по жизненному циклу. Большинство из них обитает в воде, но некоторые и в других местообитаниях, таких как почва, в симбиозе с грибами, на стволах деревьев, на снегу и т.д. Зеленые водоросли содержат хлорофиллы а и b, способны накапливать запасной крахмал внутри пластид, имеют жесткие клеточные стенки, которые образованы у некоторых родов целлюлозой. Некоторые исследователи предполагают, что по этой причине зеленые водоросли дали начало растениям [10].

Chlorophyta в основном обитатели пресных водоемов (*Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Volvox*, *Spirogyra*), имеются также морские водоросли (*Ulva*), некоторые представители *Desmidiaceae* (*Closterium*, *Cosmarium*) встречаются в условиях сильно загрязненных водоемов, в сточных водах, но также имеются виды, обитающие в неводных средах [11].

Размножение зеленых водорослей осуществляется с помощью всех трех типов:

- вегетативным;
- бесполом (зооспорами, апланоспорами);
- половым (хологамия, изогамия, гетерогамия, оогамия).

Зеленые водоросли, как правило, обитают в пресных, реже соленых водоемах, на увлажненной почве и других местообитаниях.

Широко используются в фармакологии для получения антибиотических веществ, а также для изготовления биологически-активных пищевых добавок.

В отделе выделяют 3 класса:

- *Euchlorophyceae* (собственно зеленые водоросли);
- *Conjugatophyceae* (конъюгаты или сцеплянки);
- *Charophyceae* (харовые водоросли) [10].



Класс собственно Зеленые (Euchlorophyceae) представлен наибольшим количеством видов. Характеризуется бесполом размножением зооспорами с двумя или четырьмя жгутиками одинаковой длины. Организация: неклеточная, одноклеточная, многоклеточная, колониальная. Структура: всех типов, кроме амебоидной и тканевой. К классу относятся несколько порядков:

- порядок Volvocales – Вольвоксовые;
- порядок Chlorococcales – Хлорококковые;
- порядок Ulothrichales – Улотриковые;
- порядок Chaetophorales – Хетофоровые;
- порядок Oedogoniales – Эдогониевые;
- порядок Siphonocladiales – Сифонокладиевые [10].

Порядок Вольвоксовые (Volvocales) объединяет одноклеточные или колониальные (по организации) зеленые водоросли, снабженные жгутиками. Структура талломов – монадная (подвижные клетки, снабженные жгутиками).

Типичным представителем данного порядка является одноклеточная водоросль из рода хламидомонада – *Chlamydomonas* (хламидомонада). Обитает в пресных водоемах. Имеет округлую форму, зеленую окраску. Передвигаются присущими им резкими толчками, которые обусловлены биением двух гладких жгутиков, находящихся на переднем конце клетки. Каждая клетка хламидомонады имеет крупный хроматофор, содержащий красное пигментное тельце, несущее функцию фоторецептора. Половой процесс осуществляется изогамией [10].

Представители рода *Volvox* (вольвокс) – колониальные водоросли, образованные до 60 тысяч клеток. Строение *Volvox* представлено на рисунке 1.4 [11].

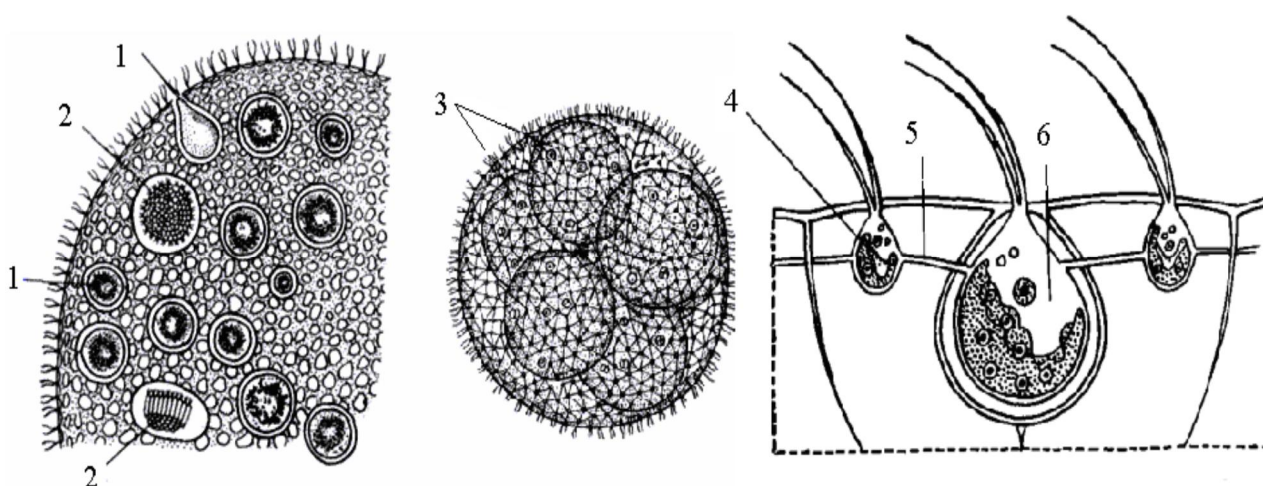


Рисунок 1.4 – Строение *Volvox*: 1 – яйцеклетка; 2 – сперматозоиды; 3 – дочерние колонии; 4 – вегетативная клетка; 5 – цитоплазматический мостик; 6 – гонидия

Наблюдается четкое разделение функций между клетками: вегетативные ответственны за движение (подвижные клетки) и построения каркаса колонии, другие – репродуктивные, которые отвечают за бесполое (партеногонидии) и половое размножение (неподвижные). Половой процесс – оогамия.

Порядок Хлорококковые (Chlorococcales) объединяет коккоидные, одноклеточные и колониальные зеленые водоросли. Типичным представителем является *Chlorella* (хлорелла), которая представляет из себя одноклеточную зеленую водоросль, лишенную жгутиков. Имеет округлую форму, распространена как в пресной, так и в соленой воде, а также в почве. Единственный способ размножения – бесполой (каждая клетка делится дважды или трижды и из нее образуется соответственно 4 или 8 потомков).

Род *Hydrodictyon* (водяная сеточка) – неподвижная колониальная водоросль. Клетки соединяются своими концами, образуя подобие сетки. Бесполом путем размножается, образуя одноядерные двужгутиковые зооспоры. Половой процесс – изогамия [10].

Представители хлорококковых водорослей представлены на рисунке 1.5 [11].

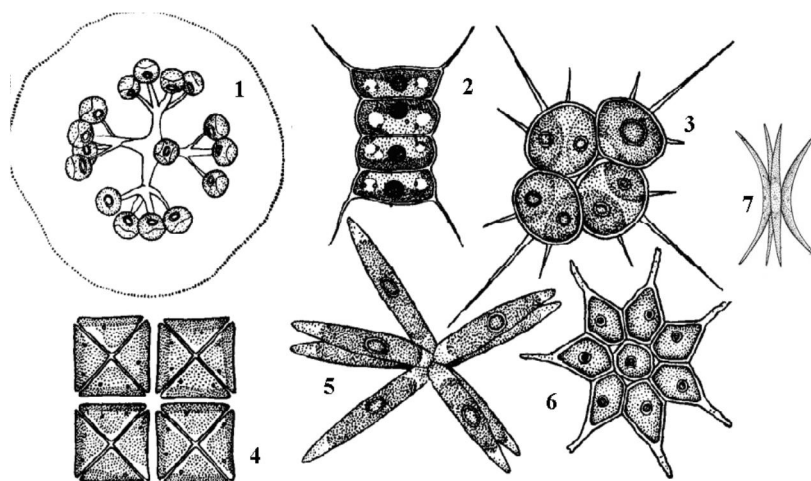


Рисунок 1.5 – Многообразие хлорококковых водорослей: 1 – *Crucigenia tetrapedia*; 2 – *Scenedesmus*; 3 – *Tetrastrum*; 4 – *Crucigenia tetrapedia*; 5 – *Actinastrum*; 6 – *Pediastrum*; 7 – *Ankistrodesmus*

Типичным представителем порядка Улотриковые (Ulothrichales) является *Ulothrix* (улотрикс), который предстает из себя водоросль, обитающая в холодных ручьях, прудах и озерах. Обладает трихальной структурой. Бесполое размножение осуществляется путем образования 4-жгутиковых зооспор, в результате чего в каждой клетке их может образовываться до 32. Последующее их происходит через боковое отверстие в клеточной стенке. Характерна изоморфная смена поколений (спорофит морфологически не отличается от гаметофита).

Представители рода *Ulva*, или привычный для нас на наших столах морской салат, представляют из себя водоросли, встречающиеся вдоль морских побережий всех умеренных областей земного шара. Талломы имеют пластинчатую структуру, достигающие в длину метра и более. На ранних стадиях развития талломы состоят из прикрепленной к субстрату выростами базальных клеток нити, однако затем кроме поперечных делений нити наступают продольные, ведущие к формированию двухслойной пластинки. Каждая клетка содержит ядро и хроматофор. Половой процесс – изогамия и для данного рода характерна изоморфная смена поколений [10].

Наиболее ярким представителем порядка Хетофоровые (*Chaetophorales*) являются *Chaetophora* (хетофора) и *Draparnaldia* (драпарнальдия) [10]. Хетофоровые представлены на рисунке 1.6 [11]. Обладают гетеротрихальной структурой. Клетки часто специализированны с точки зрения выполняемых функций. Имеют главную ось и боковые ответвления от нее – ассимиляторы. Половой процесс – изогамия, гетерогамия и оогамия [10].

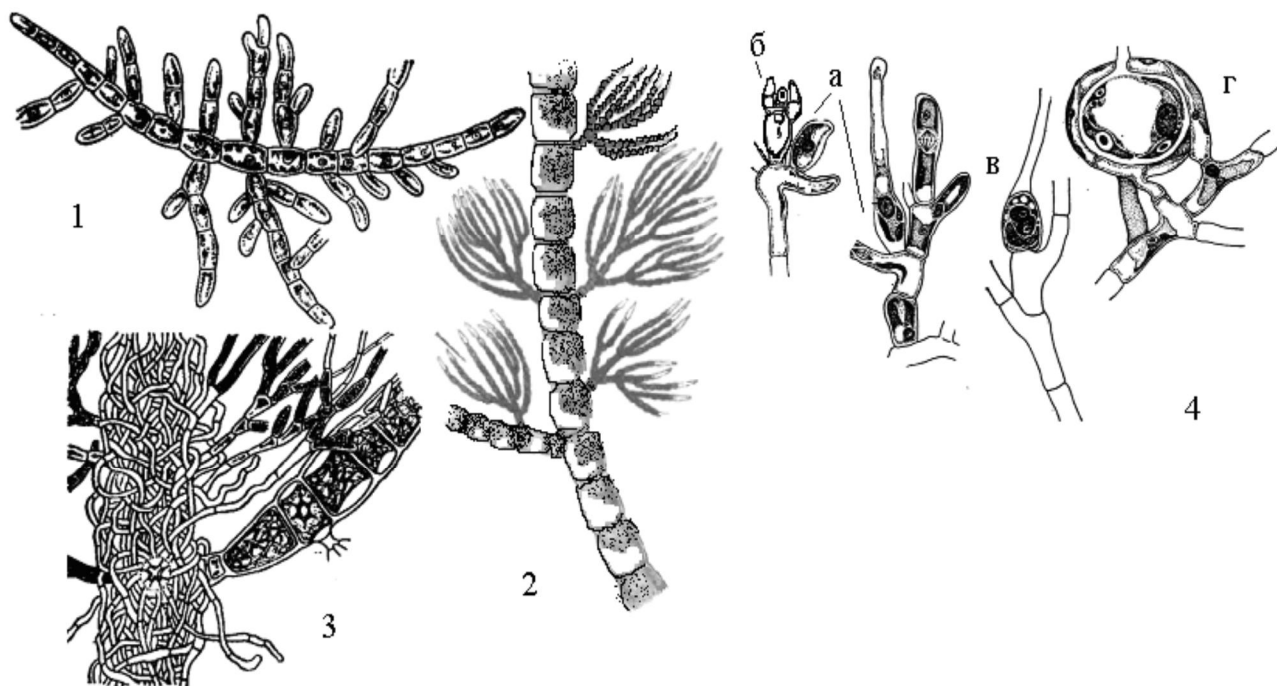


Рисунок 1.6 – Представители хетофоровых водорослей: 1 – *Stigeoclonium*; 2 – *Draparnaldia*; 3 – *Draparnaldiopsis*; 4 – *Coleochaete*. Этапы формирования ооспоры: а – оогоний; б – антеридий; в – оогоний после оплодотворения; г – образование обертки вокруг оплодотворенного оогония

Представителем порядка Эдогониевые (*Oedogoniales*) является *Oedogonium* (эдогоний). Это неразветвленная нитчатая водоросль, прикрепленная к субстрату базальным образованием. Клетки одноядерные с периферическим сетчатым хроматофором. Бесполое размножение происходит зооспорами, каждая из которых имеет по 120 жгутиков. Половое размножение – оогамия. У некоторых видов антеридии (мужские органы

полового размножения) образуются на особых мужских карликовых растениях – наннандриях [10].

В порядок Сифонокладиевые (Siphonocladiales) объединены многоклеточные водоросли с сифонокладальной структурой. Представитель – *Cladophora* sp. (кладофора). Распространена в пресной и морской воде. Имеет нитчатый, сильно разветвленный таллом. Бесполое размножение – зооспорами. Половой процесс – изогамия. У морских видов рода чередуются изоморфные поколения, а у пресноводных чередование поколений вообще отсутствует – по-видимому, утеряно в ходе эволюции [10].

Следующий Класс Конъюгаты, или Сцеплянки (Conjugatophyceae), для которого характерно отсутствие подвижных стадий. Половой процесс в виде конъюгации, заключающейся в слиянии протопластов двух вегетативных клеток, не отличающихся какой-либо специальной дифференцировкой, как обособленные гаметы. Класс разделяется на 3 порядка

- порядок Desmidiales – Десмидиевые;
- порядок Mesotaeniales – Мезотениевые;
- порядок Zygnematales – Зигнемовые [10].

Представитель порядка Десмидиевые (Desmidiales) – *Desmidium* sp. (десмидий). В большинстве своем это одноклеточные водоросли, реже многоклеточные. Представители порядка предпочитают воду с кислой реакцией, бедную кальцием, в связи с чем они наиболее разнообразно представлены в торфяных болотах [10].

Многообразие десмидиевых водорослей представлено на рисунке 1.7 [11].

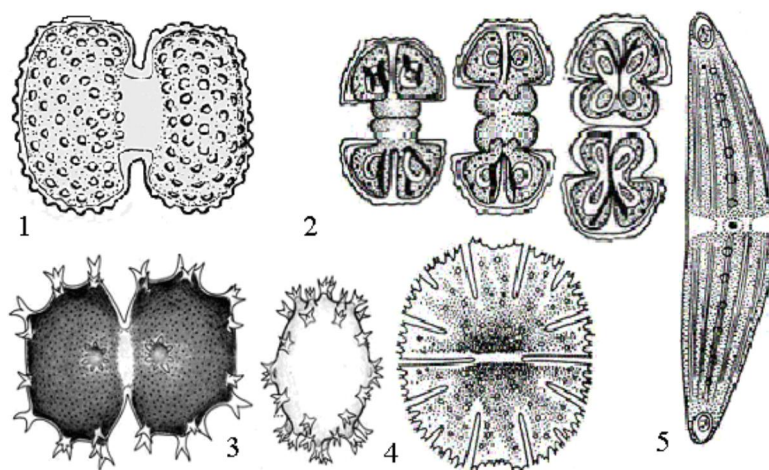


Рисунок 1.7 – Многообразие десмидиевых водорослей: 1 – *Cosmarium*; 2 – процесс вегетативного деления *Cosmarium*; 3 – *Xanthidium*; 4 – *Micrasterias*; 5 – *Closterium*

Наиболее ярким представителем порядка Мезотениевые (Mesotaeniales) является *Spirotaenia* sp. (спиротения), *Cylindrocystis* sp. (цилиндроцистис). Как правило, представляют из себя одноклеточных, цилиндрической формы, примитивных водорослей. Так же как и десмидиевые предпочитают воду с

кислой реакцией, бедную кальцием, в связи с чем они наиболее разнообразно представлены в торфяных болотах. В клетке наблюдается одно ядро и хроматофор в виде осевой пластинки [10].

Типичный представитель порядка Зигнемовые (*Zygnematales*) – *Spirogyra* sp. (спирогира). Это неразветвленная нитчатая водоросль, которая обитает в пресных водоемах. Каждая нить покрыта слизистым чехлом. Клетки цилиндрические, одноядерные. Имеют характерный спиралевидный хроматофор, в котором располагаются пиреноиды [10].

К классу Харовые (*Charophyceae*) относятся наиболее высокоорганизованные зеленые водоросли, характеризующиеся сложно построенным талломом. Единственный порядок – *Charales*, с типичным представителем – *Chara* sp (хара).

У харовых наблюдается апикальный (верхушечный) рост, а также боковые ответвления от четко выраженного главного стебля. Таллом дифференцирован на узлы и междоузлия. Прикрепляется к субстрату с помощью ризоидов. Таллом может достигать одного метра в длину. Клетка харовых имеет инкрустированную оболочку (она толстая, пропитана солями кальция). В молодых клетках ядро одно, но с возрастом оно делится и клетка становится многоядерной. В клетке много хроматофоров, они лишены пиреноидов.

Бесполое размножение отсутствует, вегетативное происходит с помощью клубеньков, формирующихся на ризоидах, половое размножение оогамного типа [10].

### **1.3.1.3 Отдел эвгленовые водоросли (*Euglenophyta*)**

К отделу относятся представители, имеющие микроскопические одноклеточные (по организации) и монадные (по структуре) талломы, снабженные на переднем конце клетки одним, либо двумя гетероморфными жгутиками. Типичный представитель отдела – *Euglena viridis* (эвглена зеленая). Обитает в небольших пресных водоемах, богатых органическими веществами. Эвглена способна передвигаться с помощью деятельности жгутика, а также метаболическим движением, заключающемся в изменении формы тела. Клетка не имеет настоящей оболочки, защитную функцию выполняет перипласт, одевающий клетку снаружи. На переднем конце тела находится глотка, состоящая из воронки, переходящей в глоточный канал и заканчивающаяся резервуаром. К резервуару прилегает глазок (стигма), имеющий функцию фоторецептора. Эвглена имеет два жгутика, однако из глотки выходит только один, а второй, рудиментарный, скрыт в ней. Основным запасным веществом является углевод парамилон. В хроматофорах содержатся хлорофиллы *a* и *b*.

Многие эвгленовые способны к миксотрофному питанию. Размножаются при помощи деления [10].



### 1.3.1.4 Отдел золотистые водоросли (Chrysophyta)

Представители отдела характеризуются золотисто-бурой окраской, обусловленной присутствием в хроматофорах наряду с хлорофиллом *a* (реже *c*) дополнительных пигментов фукоксантина, каротиноидов. По организации бывают одноклеточные, колониальные, реже многоклеточные. Структура талломов – амебоидная, монадная, пальмеллоидная, коккоидная, нитчатая.

Большинство золотистых водорослей подвижны, имеют один перистый, реже два гетероморфных жгутика. Бесполое размножение осуществляется при помощи деления, либо зооспор, половой процесс известен лишь у нескольких видов. Встречаются в чистых пресных водоемах, в сфагновых болотах, некоторые представители – в морях и на почве. Классификация отдела основана на особенностях строения талломов и жгутиков [10].

Разнообразие золотистых водорослей представлено на рисунке 1.8 [11].

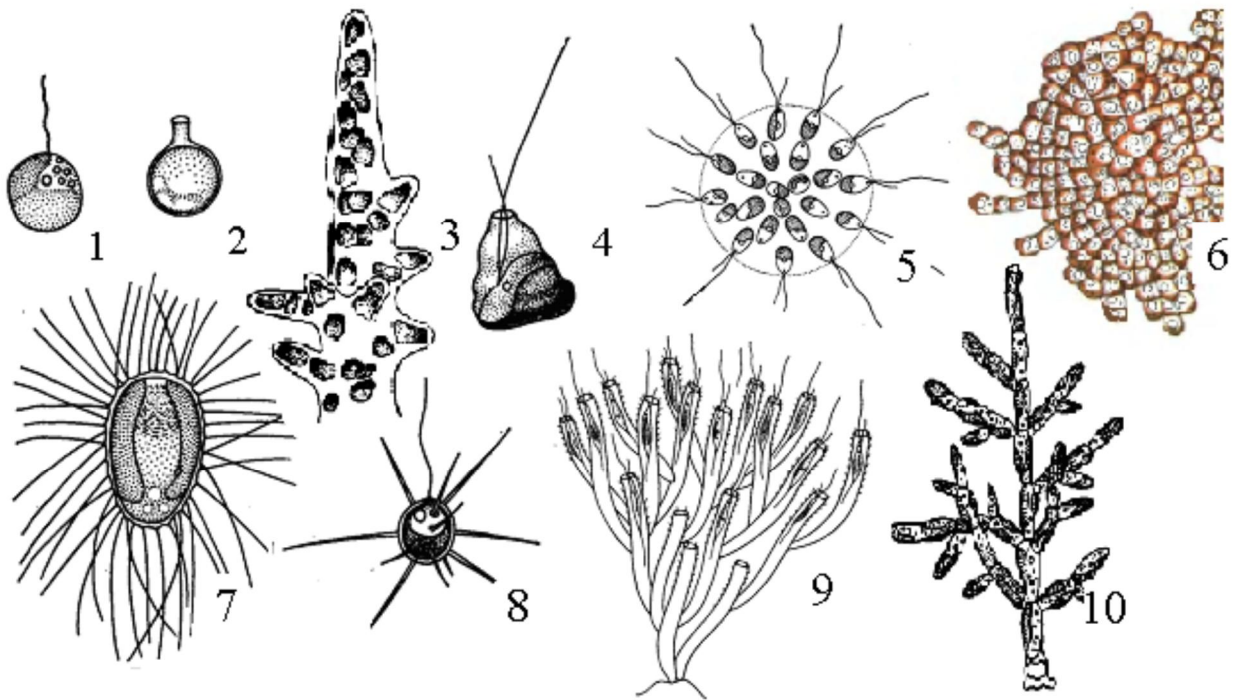


Рисунок 1.8 – Разнообразие Chrysophyta: 1 – Chromulina; 2 – циста Chromulina; 3 – Hydrurus; 4 – Pseudokephyrion; 5 – Uroglenopsis; 6 – Phacodermation; 7 – Mallomonas; 8 – Chrysococcus; 9 – Hyalobryon; 10 – Phaeothamnion

Типичным представителем класса Синуровые (Synurophyceae) является *Synura* sp. (синура), который представлен свободноплавающими сферическими колониями. Клетки соединяются в центре колонии своими концами, а их передние концы обращены кнаружи и несут по два гетероморфных жгутика. Каждая клетка одета пектиновой оболочкой, покрытой известковыми щитками. В протопласте находится ядро, два

пластинчатых хроматофора, занимающих постенное положение, пульсирующие вакуоли [10].

Представитель класса Хризокапсовые (*Chrysocapsophyceae*) – *Hydrurus* sp. (гидрурус). Это макроскопические колонии (до 30 см длиной), прикрепляющиеся основанием к подводным камням. Структура таллома – пальмеллоидная. Vegetативные клетки таллома лишены жгутиков. В клетках хорошо различим один крупный хроматофор. Бесполое размножение осуществляется при помощи тетраэдрических зооспор, несущих один жгутик [10].

Представитель класса Хризосферовые (*Chrysosphaerophyceae*) – *Chrysosphaeria* sp. (хризосферия) характеризуется одноклеточным, имеющим коккоидную структуру. Жгутики отсутствуют на протяжении всего онтогенеза водоросли [10].

### **1.3.1.5 Отдел динофитовые водоросли (*Dinophyta*)**

Отдел объединяет представителей, имеющих, в основном, одноклеточные монадные организмы с двумя гетероконтными и гетероморфными жгутиками. Расположенный вдоль продольной оси клетки жгутик сообщает ей поступательное движение, второй, перпендикулярный первому – вращательное движение. Многие представители имеют плотные целлюлозные пластинки, образующие клеточную стенку (теку). В хроматофорах содержатся пигменты хлорофилл *a* и *c*, каротиноиды, ксантофиллы, близкий к фукоксантину перидин. Питание у большинства динофитовых миксотрофное (наряду с автотрофным наблюдается и гетеротрофное). Запасной продукт – крахмал и жир. Размножаются делением клетки, либо реже с помощью зооспор (с таким же расположением жгутиков, как и у вегетативной клетки). Половой процесс (изогамия) известен лишь у единичных представителей.

Массовое развитие динофитовых водорослей вызывает «цветение» воды, приводящее к гибели обитателей водоемов, вследствие выделения сакситоксина. Многие динофитовые входят в симбиоз с сине-зелеными водорослями, медузами, кораллами и т.д. [10].

### **1.3.1.6 Отдел желто-зеленые водоросли (*Xanthophyta*)**

К отделу относятся одноклеточные, колониальные, многоклеточные по организации водоросли, имеющие коккоидную, монадную, пальмеллоидную, нитчатую и сифоновую структуру таллома. Комбинации содержащихся в хроматофорах пигментов (хлорофиллы *a* и *c*,  $\alpha$ - и  $\beta$  каротины, ксантофиллы) определяют их окраску – светло- или темно-желтую, реже зеленую и голубую. В хроматофорах отсутствуют пиреноиды. Подвижные вегетативные клетки и зооспоры имеют два гетероконтных и гетероморфных жгутика. Жгутики прикрепляются на переднем конце клетки, реже сбоку от него.

Один жгутик – длинный, перистый, направлен при движении вперед, другой – короткий, гладкий, с утолщенным основанием и тонким концом, направленным назад, или в сторону. Бесполое размножение осуществляется при помощи зооспор, либо апланоспор, у немногих представителей наблюдается половой процесс в виде изогамии. Классификация отдела основана на особенностях строения таллома [10].

Типы талломов желто-зеленых водорослей представлены на рисунке 1.9 [11].

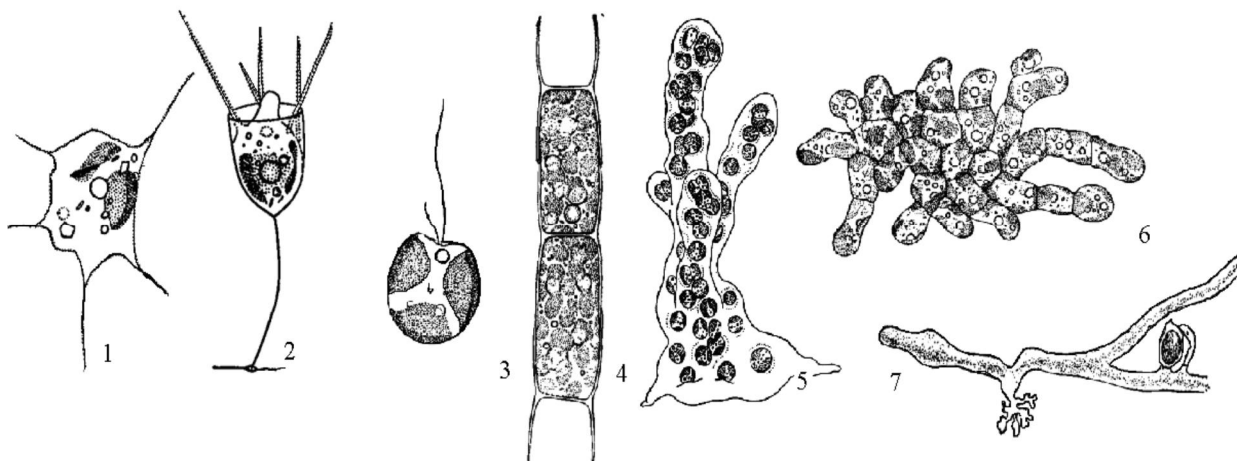


Рисунок 1.9 – Типы талломов Xantophyta: амебоидная: 1 – *Rhizochloris*; 2 – *Stipitococcus vas*; монадная: 3 – *Chlorocardion pleurochloron*; нитчатая: 4 – *Tribonema viride*; пальмеллоидная: 5 – *Helminthogloca ramose*; пластинчатая: 6 – *Heteropedia polychloris*; внеклеточная: 7 – *Vaucheria sessilis*

Представителем класса Ксантотриховые (*Xanthotrichophyceae*) является *Tribonema* sp. (трибонема). Имеет нитчатый (трихальный) таллом. Обитает в пресных водоемах. В начале жизни трибонема прикрепляется к субстрату с помощью базальной клетки, которая впоследствии отмирает, и водоросль всплывает на поверхность водоема, часто образуя тину. Клетки одноядерные, с желтовато-зелеными хроматофорами, расположенными постенно. Клеточная стенка состоит из двух H-образных половин. Бесполое размножение осуществляется при помощи разножгутиковых зооспор, формирующихся в вегетативных клетках таллома. В окружающую среду зооспоры выходят через створки клеток. При неблагоприятных климатических условиях трибонема образует акинеты [10].

Для класса Ксантосифоновые (*Xanthosiphonophyceae*) характерна структура таллома – сифоновая. Представитель – *Botrydium* sp. (ботридий). Обитает на влажной почве около воды в виде желто-зеленых шариков, диаметром до одного мм. Прикрепляется к субстрату с помощью базальных разветвлений клетки – ризоидов. Зооспоры массово образуются во время дождя и выходят в окружающую среду через отверстие на вершине таллома.

*Vaucheria* sp. (вошерия) представляет из себя крупные слабоветвленные грязно-зеленые нити (без клеточных перегородок, т.е. как бы одна вытянутая многоядерная клетка), обитающие в водоемах и на влажной почве. Хроматофоры расположены постенно, пиреноиды отсутствуют. Образующаяся при бесполом размножении крупная зооспора порята по периферии большим числом попарно расположенных гладких жгутиков (это происходит за счет того, что образующиеся в зооспорангии зооспоры не расходятся, соединяясь вместе, поэтому этот комплекс носит название синзооспора). Половой процесс – оогамия [10].

### 1.3.1.7 Отдел диатомовые водоросли (*Bacillariophyta*)

К отделу относятся микроскопические одноклеточные или колониальные по организации водоросли, лишенные подвижных жгутиковых стадий (за исключением наиболее примитивных) и имеющие коккоидную структуру таллома [10]. Основные представители диатомовых водорослей представлены на рисунке 1.10 [11].

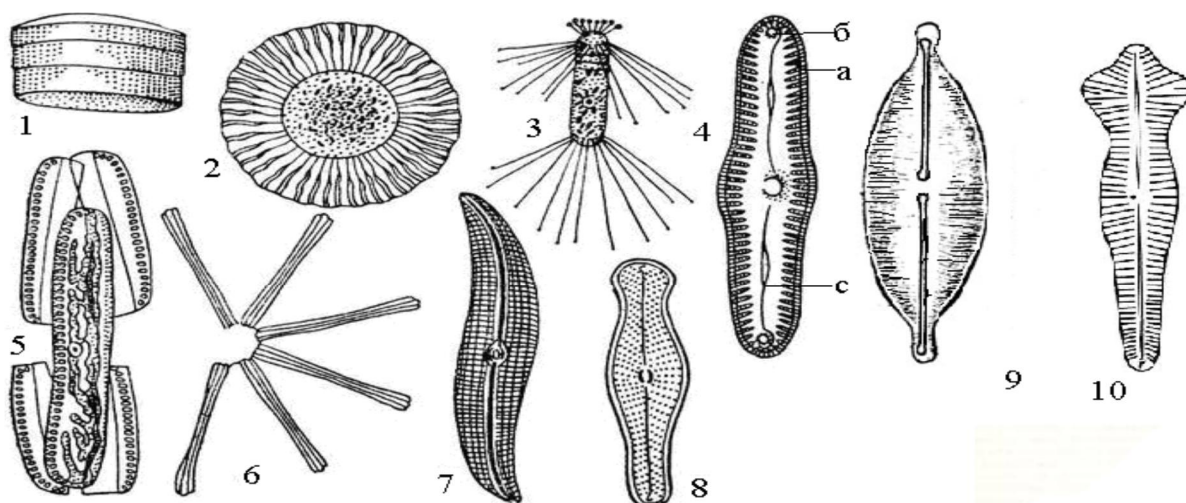


Рисунок 1.10 – Многообразие диатомовых водорослей: 1 – *Ethmodiscus gazellae*; 2 – *Planktoniella sol*; 3 – *Corethron valdiviae*; 4 – *Pinnularia viridis*: а – скопление пор; б – периферические узелки; с – щелевидный шов; 5 – *Surirella saxonica* (образование ауксоспор); 6 – *Asterionella gracillima*; 7 – *Gyrosigma acuminatum*; 8 – *Didymosphenia geminata*; 9 – *Navicula*; 10 – *Gomphonema*

Характерная особенность диатомовых заключается в строении клеточной оболочки. К наружному уплотненному слою протопласта клетки плотно прилегает панцирь из кремниевого гидрогеля. Панцирь состоит из двух половинок, надевающихся друг на друга, как крышка на коробку. Каждая половинка состоит из створки («доньшка») и спаянного с ней пояскового кольца. Большая часть створки называется эпитека, меньшая часть –

гипотека. В хроматофорах содержатся хлорофиллы *a* и *c*, фукоксантин, придающий талломам буроватый цвет. Ядро расположено в цитоплазменном мостике. В качестве запасных веществ выступают: масло, волютин, хризоламинарин. Размножение происходит вегетативным путем при помощи деления, либо половым процессом в виде конъюгации, изогамии, реже оогамии.

Вследствие особенностей строения, диатомовые водоросли используются в медицине для изготовления фильтров и адсорбционных поверхностей.

Деление отдела на классы производится на основании строения панциря [10].

Представители класса Перистые (*Pennatorhysae*) имеют панцири, через створки которых можно провести не более двух осей симметрии. Встречаются в пресных водоемах. Типичные представители: *Pinnularia* sp. (пиннулярия) – одноклеточная подвижная водоросль эллиптической формы; *Tabellaria* sp. (табеллярия) – колониальная водоросль, клетки которой соединены в виде зигзагообразной цепочки [10].

Представители класса Центрические (*Centrophysae*) имеют панцири, через створки которых можно провести больше двух осей симметрии, т.е. это круглые, многоугольные, эллиптические водоросли. Преобладают в морях. В цикле развития некоторых видов сохранились подвижные клетки (мужские гаметы – сперматозоиды) с одним перистым жгутиком. У других видов половой процесс редуцирован и половые гаметы не образуются. Типичный представитель *Melosira* sp. (мелозира) – колониальная форма, состоящая из цилиндрических клеток, соединяющихся створками в нити или цепочки; *Cyclotella* sp. (циклотелла) – одиночные одноклеточные талломы, напоминающие круглую коробочку [10].

### **1.3.1.8 Отдел бурые водоросли (*Phaeophyta*)**

Большинство представителей отдела бурых водорослей представляют из себя макроскопических (крупных по размеру) организмов, которые живут в морской воде [10]. Все они характеризуются бурой окраской, которая обусловлена присутствием в хроматофорах коричневого пигмента фукоксантина. Организация таллома – многоклеточная. По структуре бурые водоросли бывают трихальные (нитчатые), гетеротрихальные (разнонитчатые), пластинчатые (причем в этом случае ткани дифференцируются на ассимилирующую, покровную, проводящую и запасающую). Клетка одноядерная, содержит много различных по форме хроматофоров; одета твердой оболочкой; состоит из целлюлозного и пектинового слоя. У большинства представителей в клетке отсутствуют пиреноиды. Запасные продукты: углеводы, глюкоза, полисахарид ламинарин, шестиатомный спирт маннит, жиры и другие. Размножение: вегетативное – обрывками таллома; бесполое – осуществляется с помощью зооспор (в этом случае на талломах возникают специальные одноклеточные образования –

зооспорангии с зооспорами, снабженными двумя неравными по длине жгутиками на боковой поверхности); с помощью неподвижных апланоспор у некоторых видов; с помощью тетраспор (в этом случае на талломе образуются тетраспорангии, в которых находятся четыре неподвижные тетраспоры); половое размножение – изогамия, гетерогамия (у наиболее примитивных), оогамия (у более высокоорганизованных).

Основные представители отдела бурых водорослей представлены на рисунке 1.11 [11].

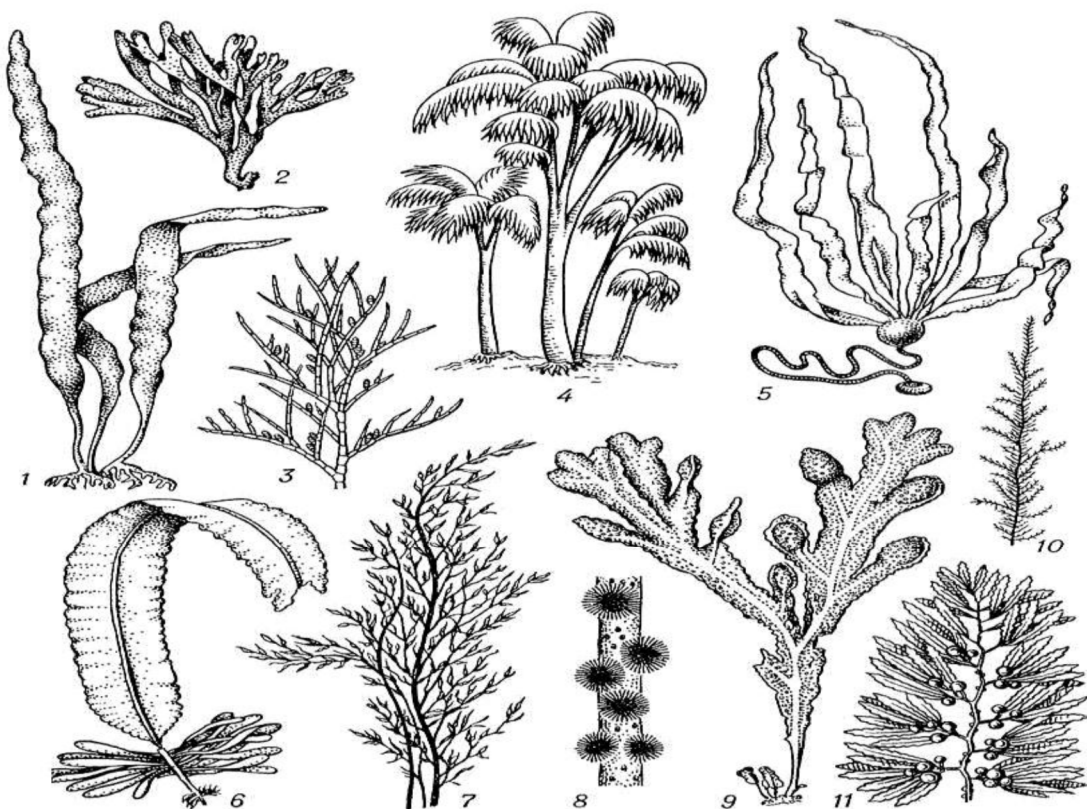


Рисунок 1.11 – Многообразие бурых водорослей: 1 – Ламинария; 2 – Диктиота; 3 – Эктокарпус; 4 – Лессония; 5 – Нереоцистис; 6 – Алярия; 7 – Цистозира; 8 - кустики Элахисты на стволике другой водоросли; 9 – Фукус; 10 – Диктиосифон; 11 – Саргассум

Практически у всех бурых водорослей наблюдается смена поколений (генераций) – т.е. органы полового и бесполого размножения формируются на разных растениях – гаметофите и спорофите (гаплоидные зооспоры или апланоспоры, развивающиеся на спорофите, несущем органы бесполого размножения (зооспорангии, тетраспорангии), прорастают в гаплоидные растения – гаметофиты, несущие органы полового размножения).

Бурые водоросли широко применяются в медицинской промышленности благодаря высокому содержанию таких веществ как альгинат, витамины, микроэлементы. При производстве таблеток и диабетических продуктов



питания находит применение шестиатомный спирт маннит, являющийся запасным продуктом бурых водорослей.

В основу классификации бурых водорослей положены разные типы жизненного цикла – их разделяют на три класса:

- *Isogeneratophyceae* (изоморфная смена поколений);
- *Heterogeneratophyceae* (гетероморфная смена поколений);
- *Cyclosporophyceae* (смена поколений отсутствует) [10].

Класс Изогенератные (*Isogeneratophyceae*) объединяет бурые водоросли, у которых в цикле развития сменяются поколения (генерации), при этом спорофит и гаметофит равны по форме и величине.

В классе выделяют несколько порядков:

- порядок *Ectocarpales* – Эктокарповые;
- порядок *Dictyotales* – Диктиотовые [10].

Представители порядка Эктокарповые (*Ectocarpales*) имеют небольшие талломы гетеротрихальной структуры. Представитель – *Ectocarpus* sp. Род содержит очень большое количество видов, которые распространены во всех морях, растут на подводных предметах и других водорослях. Таллом (и у спорофита, и у гаметофита) состоит из многочисленных ветвящихся нитей, вертикально поднимающихся от базальных нитей, стелющихся по субстрату. Цвет таллома желтовато-бурый. Бесполое размножение осуществляется зооспорами. Половой процесс – изогамия [10].

К порядку Диктиотовые (*Dictyotales*) относятся водоросли более сложного строения, имеющие пластинчатую структуру. Представители – *Dictyota* sp., *Padina* sp., *Dilophus* sp. Обитают в прибрежной морей на камнях, к которым прикрепляются нижней расширенной частью таллома. Бесполое размножение происходит посредством неподвижных апланоспор – тетраспор. Половой процесс – оогамия [10].

Представители класса Гетерогенератные (*Heterogeneratophyceae*) также характеризуется сменой поколений в цикле развития, однако у них гаметофит и спорофит существенно отличаются по форме, размерам, продолжительности жизни. Спорофит представлен крупными, многолетними сложными талломами, а гаметофит (его называют заростком) у большинства гетерогенератных бурых водорослей представлен микроскопическими нитями. К этому классу относятся наиболее крупные морские водоросли, которые представлены порядком Ламинариевые [10].

Типичный представитель порядок Ламинариевые (*Laminariales*) – *Laminaria* sp. (морская капуста). Талломы расчленены на: листовидную пластинку (филлоид), размером до 2–3 м; крупный, плотный черешок (каулоид), который может достигать до одного метра в длину; мощные ризоиды, с помощью которых водоросли прикрепляются к камням. Черешок многослоен – состоит из внешней коры, внутренней коры и сердцевины с проводящими элементами. Половой процесс – оогамия. Бесполое размножение осуществляется при помощи зооспор, формирующихся в зооспорангиях. Зооспорангии расположены по обеим сторонам листовидной

пластинки и представляют из себя скопления – сорусы. Зооспорангии несут двужгутиковые зооспоры, которые, выходя из зооспорангиев, прорастают в микроскопические женские и мужские заростки – т.е. в гаметофит. Женские заростки – это короткие нити, на которых развивается оогоний с одной яйцеклеткой. Мужские заростки – это более крупные тонкие нити, на которых формируются одноклеточные антеридии, несущие сперматозоиды. После слияния сперматозоида и яйцеклетки образуется ооспора, которая без периода покоя прорастает в диплоидный спорофит [10].

Класс Циклоспоровые (*Cyclosporophyceae*) объединяет водоросли, у которых в цикле развития смена поколений отсутствует. Бесполого размножения нет; талломы диплоидные, несущие на себе только органы полового размножения. В классе выделяют только один порядок – *Fucales* (Фукусовые). Представитель – *Fucus* sp. (фукус). Широко распространен в прибрежной зоне северных морей. Таллом состоит из узких, разветвленных пластинок со средней жилкой посередине, которые переходят в короткий черешок, на котором расположен т.н. диск – с помощью него водоросль закрепляется на субстрате. На талломе расположены специальные воздухоносные полости, парно располагающиеся по обе стороны средней жилки. Половой процесс – оогамия. Половые органы (оогонии и антеридии) располагаются на боковых ответвлениях таллома (рецептакулах) в особых углублениях – скафидиях [10].

### **1.3.1.9 Отдел красные водоросли (*Rhodophyta*)**

Красные водоросли, или багрянки – отдел водорослей, обитатели прежде всего морских водоёмов, пресноводных представителей известно немного. Обычно это довольно крупные растения, но встречаются и микроскопические. Среди красных водорослей имеются одноклеточные (крайне редко), нитчатые и псевдопаренхимные формы; истинно паренхимные формы отсутствуют.

Красные водоросли, так же как и бурые, преимущественно морские организмы. Характеризуются красной (реже синей) окраской талломов за счет наличия в клетках специфических пигментов фикоэретрина (красный цвет) и фикоциана (синий цвет), которые маскируют цвет хлорофилла. Организация таллома всегда многоклеточная. По структуре талломы бывают трихальные, гетеротрихальные, пластинчатые. В случае трихальной структуры, которая присутствует у наиболее примитивных представителей красных водорослей, таллом представляет собой простую неветвящуюся нить, с однорядным расположением клеток. При гетеротрихальной структуре таллом представлен в виде разветвленных нитей, прикрепленных к субстрату с помощью ризоидов. У наиболее развитых видов красных водорослей талломы имеют пластинчатую структуру. В этом случае таллом расчленяется на листовидные пластинки, стебли и ризоиды.

Клетка имеет двойную плотную оболочку. Внутренний слой состоит из целлюлозы, либо других полисахаридов; наружный слой – пектиновый, чаще всего состоящий из сульфатированного полимера галактозы. У примитивных представителей хроматофор один, имеющий звездообразную форму. У более высокоорганизованных багрянок хроматофоры имеют вид мелких пластинок, располагающихся правильными рядами. У большинства представителей пиреноиды отсутствуют. Набор пигментов: хлорофилл *a*, *d* (присутствует только у красных водорослей),  $\beta$ -каротин, ксантофилл, аллофикоцианин, фикоцианин, фикоэритрин и др. Запасное вещество - багрянкoвый крахмал (в отличие от обычного, краснеет при реакции с йодом). Размножение: вегетативное (обрывками таллома); бесполое, как правило, это характерная особенность красных водорослей – отсутствие в цикле развития подвижных жгутиковых стадий; половой процесс оогамного типа.

При бесполом размножении образуются апланоспоры (лишены жгутиков, неподвижные), при этом у одних форм они возникают в спорангии по одной (моноспоры), либо по четыре (тетраспоры). Антеридии представлены мелкими клетками амебоидной структуры, собранными гроздьями на концах ветвей – в сорусах. В каждой антеридии образуется по одной неподвижной гамете – спермацию. Оогонии (т.е. женские органы полового размножения) у красных водорослей называются карпогонами и представляют собой грушевидную клетку, состоящую из верхней вытянутой части (трихогины) и нижней расширенной (брюшка). В нижней части расположена цитоплазма с ядром (яйцеклетки отсутствуют). Спермации пассивны, в присутствии капельно-жидкой среды они подплывают к оогонию, попадают через трихогину внутрь брюшка, где и происходит оплодотворение ядра карпогона ядром спермация. После оплодотворения базальная часть карпогона отделяется перегородкой от трихогины, которая впоследствии отмирает, превращается в зиготу и претерпевает дальнейшее развитие, приводящее к образованию карпоспор. В карпоспорах не происходит мейоза, вследствие чего они являются диплоидными. Из карпоспор вырастают новые особи. Детали формирования карпоспор различаются у разных представителей красных водорослей и это имеет систематическое значение.

Классификация красных водорослей основана на особенностях формирования карпоспор. Выделяют два класса красных водорослей:

- *Bangiophyceae* (Бангиевые);
- *Florideophyceae* (Флоридиевые) [10].

Класс Бангиевые (*Bangiophyceae*) объединяет наиболее примитивно организованные красные водоросли. По организации бывают одноклеточные, многоклеточные, колониальные. Структура таллома у большинства трихальная, либо гетеротрихальная, лишь у некоторых пластинчатая (причем пластинки состоят из одного или максимум двух слоев клеток). Бесполое размножение осуществляется с помощью моноспор. Половое размножение – типа оогамии, при этом их карпогоны лишены трихогины, либо она представлена в зачаточном виде. Смена генераций отсутствует [10].

Водоросли класса Бангиевые представлены на рисунке 1.12 [11].

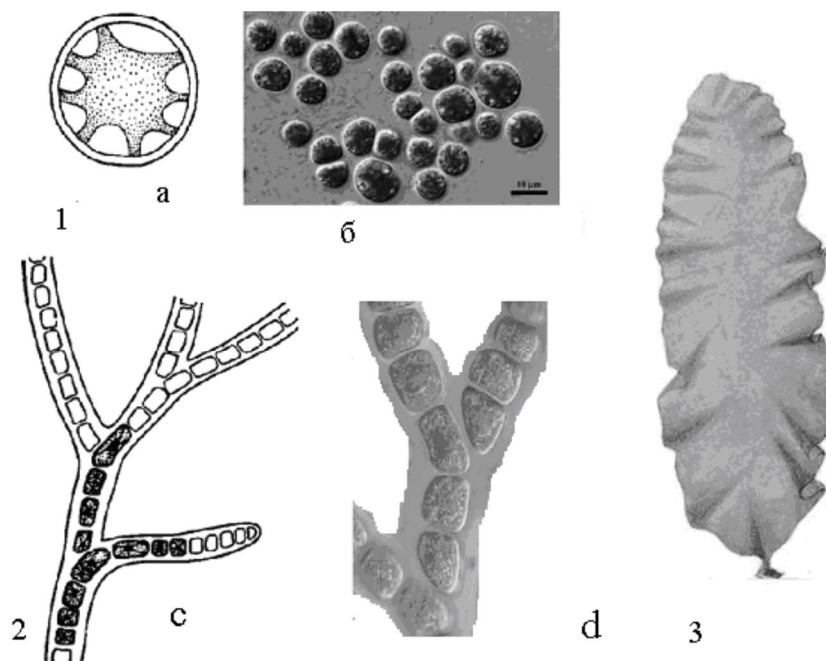


Рисунок 1.12 – Представители класса бангиевые (Bangiophyceae): 1 – *Porphyridium*: а – клетка со звездчатым хроматофором; б – колония клеток; 2 – *Goniotrichum*: с – разветвленный нитчатый таллом; d – объединение клеток в слизистый чехол; 3 – *Porphyra*

Представителем порядок Бангиевые (Bangiales) является род *Porphyra* sp. (порфира). Виды этого рода распространены в северных и южных морях. Структура – пластинчатая, имеет вид пластинки розовато-пурпурного цвета с волнистыми или гладкими краями, до нескольких десятков сантиметров в длину и до 10 см в ширину. Пластинка состоит из одного, либо, у некоторых видов, двух слоев клеток, короткий черешок, который заканчивается т.н. подошвой, с помощью которой водоросль прикрепляется к субстрату (камни, скалы, другие водоросли). При бесполом размножении в обычных вегетативных клетках таллома образуются моноспоры (по одной в каждой клетке). Моноспоры выходят наружу через разрывы в оболочке и без периода покоя прорастают в новую особь. Карпогоны и антеридии формируются на том же растении из вегетативных клеток (т.е. смена генераций отсутствует). У некоторых видов порфиры карпогоны снабжены очень маленькой трихогиной. В результате оплодотворения в карпогоне происходит мейоз, ведущий к развитию 8 гаплоидных карпоспор. После полового и бесполого размножения, ведущих к разрушению большей части таллома, особь водоросли погибает [10].

Класс Флоридиевые (Florideophyceae) объединяет большинство красных водорослей с гетеротрихальной и пластинчатой структурой. Бесполое размножение осуществляется тетраспорами. Особенности полового

размножения (типа оогамии) – карпогон всегда с трихогиной. Карпоспоры образуются на гонимобастах, которые развиваются либо непосредственно из оплодотворённого карпогона, либо из ауксиллярных клеток. Наблюдается смена генераций [10].

Представители класса Флоридиевые представлены на рисунке 1.13 [11].

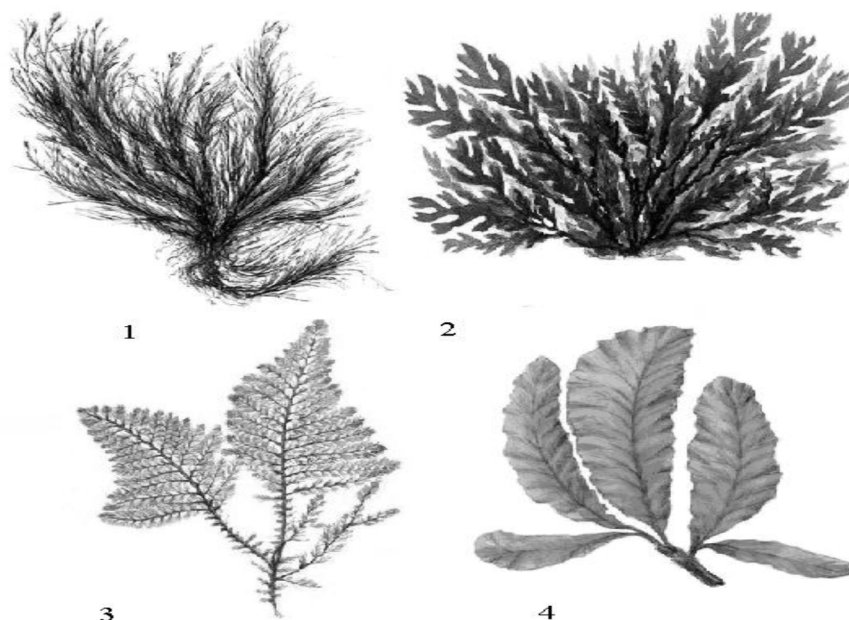


Рисунок 1.13 – Представители класса флоридиевые: 1 – *Polysiphonia*; 2 – *Odonthalia*; 3 – *Dasia*; 4 – *Delesseria*

Талломы порядка Немалионовые (*Nemalionales*) обычно имеют гетеротрихальную структуру. Обитают в морях, но встречаются и пресноводные виды. Гонимобласты развиваются непосредственно из оплодотворенного карпогона, ауксиллярные клетки отсутствуют. Смена генераций – гетероморфная, либо отсутствует. Представитель – *Batrachospermum* sp. (батрахоспермум). Обитает в пресных водоемах (в реках и озерах с чистой водой). Живет на древесине, попавшей в воду, или на других подводных предметах. Таллом имеет вид кустика зеленоватого цвета до 10 см в длину. Представляет из себя основную нить, состоящую из бесцветных клеток, от которой отходят боковые ответвления, состоящие из коротких клеток с многочисленными хроматофорами - ассимиляторы. Размножение происходит, в основном, половым путем, так как органы бесполого размножения – моноспорангии – развиваются только на ранних стадиях развития водоросли. Карпогоны и антеридии образуются на ассимиляторах.

Представитель – *Nemalion* sp. (немалион). Таллом в виде слизистой розовой нити до 15 см в длину. От центральной нити так же, как и у батрахоспермума, отходят ассимиляторы, склеенные плотной слизью. Смена генераций отсутствует [10].

Порядок Церамиевые (Ceramiales) наиболее высокоорганизованный и многочисленный по видовому составу. Представитель – *Callithamnion* (каллитамний). Это морская водоросль. Таллом в виде разветвлённых кустиков светло-пурпурного цвета, сложенных из одного ряда многоядерных клеток. Прикрепляется к камням, раковинам в зоне прибоя. Бесполое размножение – с помощью тетраспор, образующихся в тетраспорангиях. Смена поколений изоморфная [10].

Представители порядка Криптонемиевые (Cryptonemiales) имеют либо гетеротрихальную, либо пластинчатую структуру таллома. Карпоспоры формируются посредством ауксиллярных клеток. Как и у большинства красных водорослей, характерна изоморфная смена поколений. На спорофите закладываются органы бесполого размножения – тетраспорангии. Представители: *Dudresnaya* (дюренея), *Corallina* (кораллина) [10].

### 1.3.2 Пресноводный фитопланктон

Пресноводный фитопланктон отличается большим многообразием зеленых и сине-зеленых водорослей. Среди зеленых особенно выделяют одноклеточные и колониальные вольвоксовые и протококковые: виды хломидоминад (*Chlamydomonas*), гониума (*Gonium*), вольвокса (*Volvox*), педиаструма, сценедесмуса, ооцистиса, сфероцистиса (*Sphaerocystis*), которые представлены на рисунке 1.14.

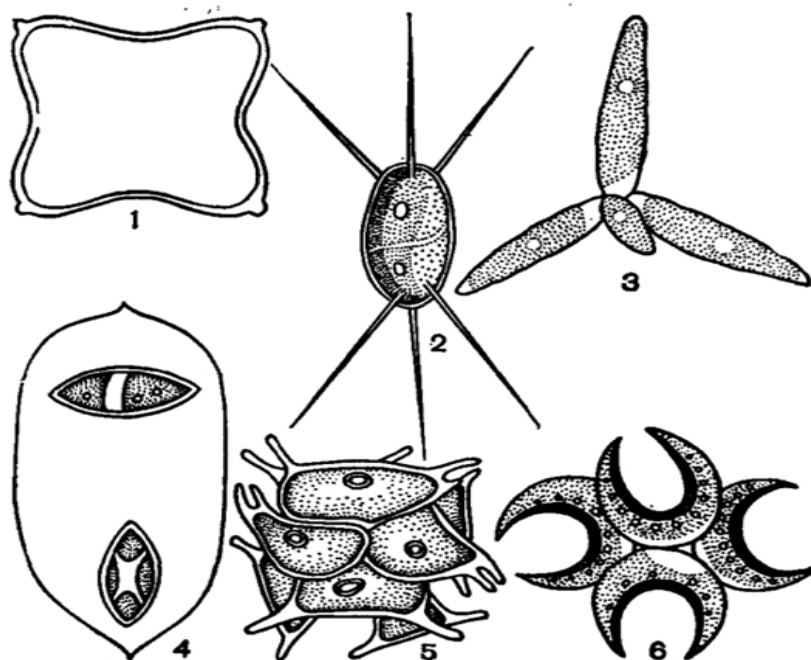


Рисунок 1.14 – Пресноводные планктонные протококковые водоросли: 1 – тетраэдрон (*Tetraedron*); 2 – шодателла (*Chodatella*); 3 – актинаструм (*Actinastrum*); 4 – ооцистис (*Oocystis*); 5 – сораструм (*Sorastrum*); 6 – селенаструм (*Selenastrum*)



Видовое разнообразие диатомовых здесь меньше, чем в морях, основные представители изображены на рисунке 1.15.

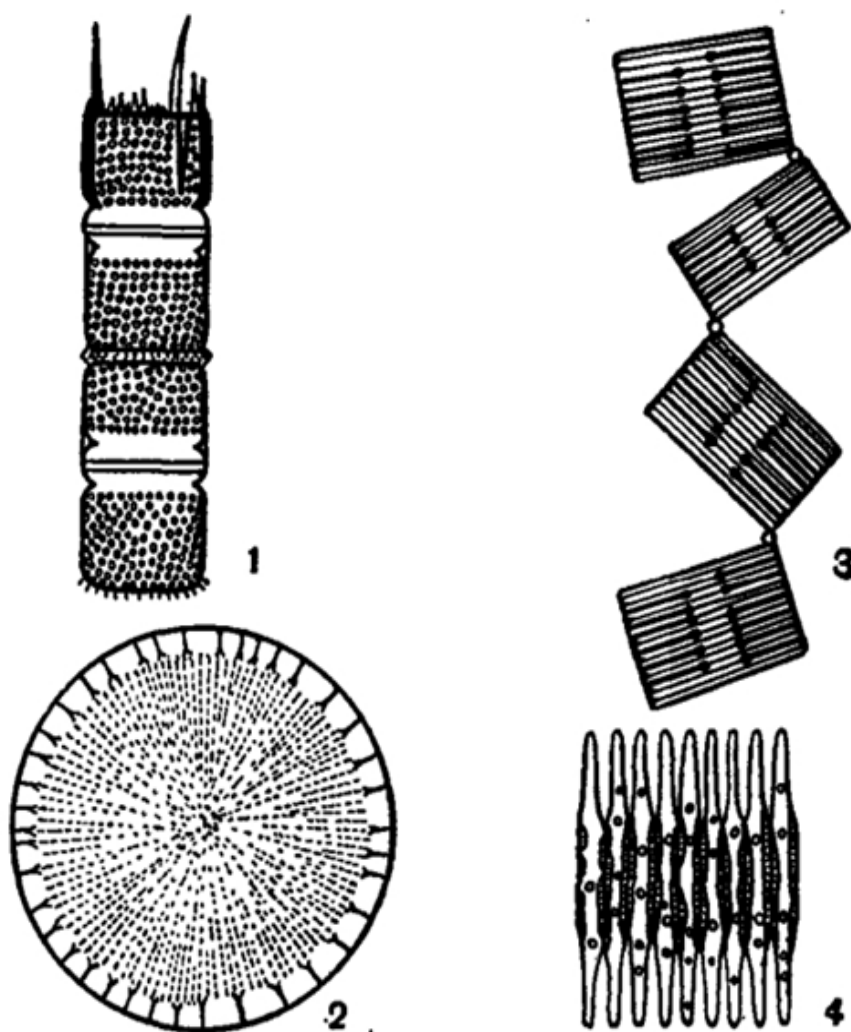


Рисунок 1.15 – Пресноводные планктонные диатомеи: 1 – мелозира (*Melosira*); 2 – стефанодискус (*Stephanodiscus*); 3 – табеллария (*Tabellaria*); 4 – фрагилярия (*Fragilaria*)

Значительно в меньшем количестве в пресноводном фитопланктоне представлены перидинеи, среди которых обычно выделяют виды церациума (*Ceratium*) и перидиниума (*Peridinium*), представленные на рисунке 1.16. Так же в пресных водах отсутствуют кремнежгутиковые и очень редки кокколитофориды, но некоторые другие жгутиковые представлены здесь разнообразно и зачастую в большом количестве. В основном это хризомонады – виды динобриона (*Dinobryon*), малломонаса (*Mallomonas*), уроглены (*Uroglena*) и другие, которые представлены на рисунках 1.17 и 1.18. Так же выделяют эвгленовые, основные представители которых можно наблюдать на рисунках 1.19 и 1.20 – эвглена (*Euglena*), трахеломонас (*Trachelomonas*), (представлены на рисунке 1.21) и факус (*Phacus*).

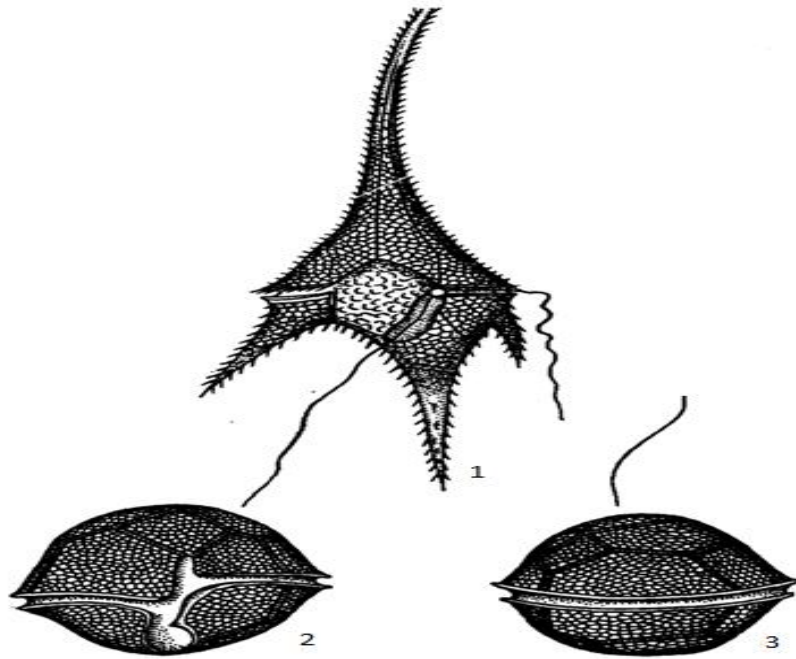


Рисунок 1.16 – Пресноводные динофитовые: 1 – церациум (*Ceratium*);  
2,3 – перединиум (*Peridinium*)

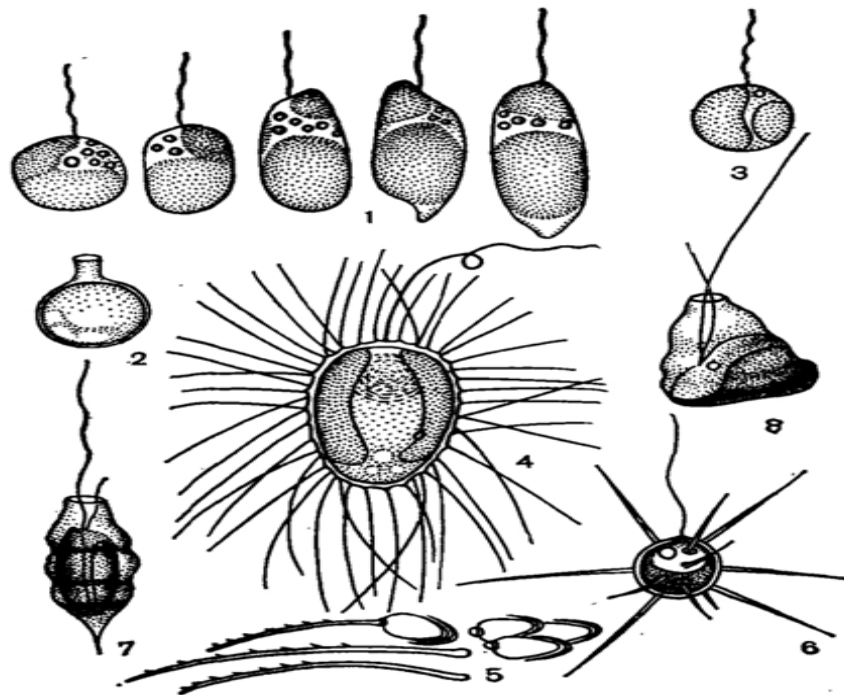


Рисунок 1.17 – Одноклеточные хризомонадовые: 1–3 – *Chromulina rosanoffii* (1 – метаболия клетки, внизу – глыбка лейкоина, сверху – хлоропласт; 2 – циста; 3 – зооспора, вышедшая из цисты); 4–5 – *Mallomonas denticulate* (4 – клетка, сверху – крупное ядро, по бокам – хлоропласты, внизу – пульсирующие вакуоли; 5 – чешуйки и иглы панциря); 6 – *Chrysococcus radiates*; 7 – *Pseudokephyrion acutum*; 8 – *P. elegans*

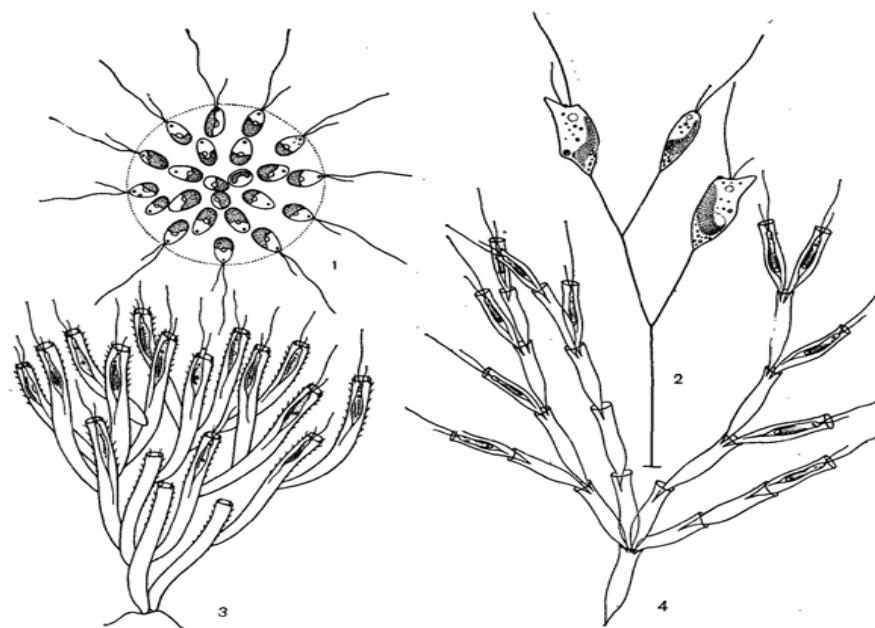


Рисунок 1.18 – Колониальные хризмонадовые: 1 – шаровидная колония (*Uroglenopsis americana*); 2 – колония на слизистых ножках (*Chrysodendron ramosum*); 3 – кустистая прикрепленная колония (*Hyalobryon ramosum*); 4 – кустистая свободноплавающая колония (*Dinobryon divergens*)

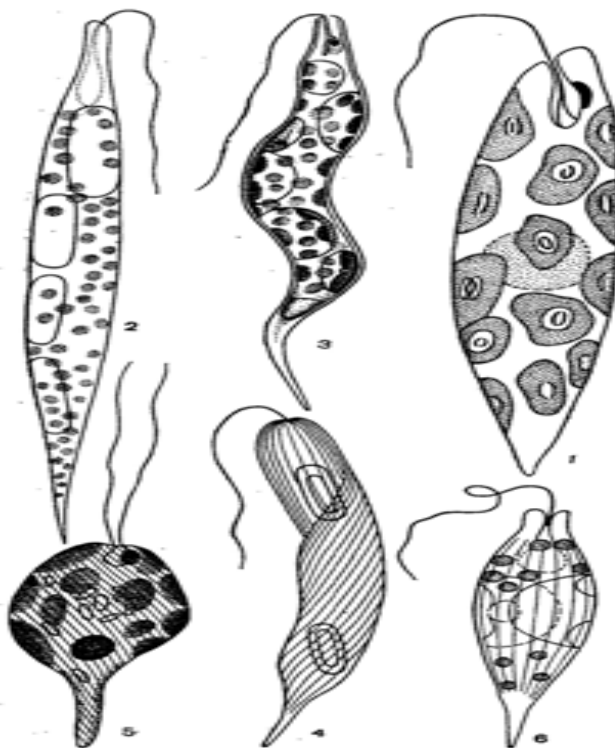


Рисунок 1.19 – Зеленые эвгленовые водоросли: 1 – *Euglena gracilis*; 2 – *E. acus*; 3 – *E. convolute*; 4 – *E. oxyuris*; 5 – *Eutreptia pyrenoidifera*; 6 – *Lepocinclis marssonii*

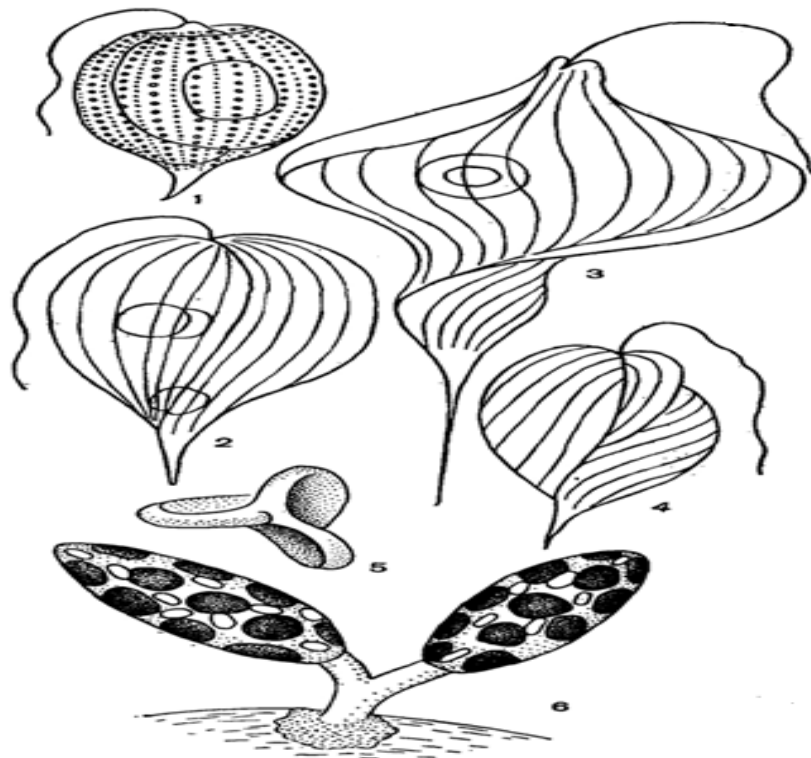


Рисунок 1.20 – Зеленые эвгленовые водоросли: 1 – *Phacus monilatus*; 2 – *Ph. orbicularis*; 3 – *Ph. longicauda*; 4 – *Ph. arnoldii*; 5 – *Ph. arnoldii* сверху; 6 – *Colacium arbuscula*

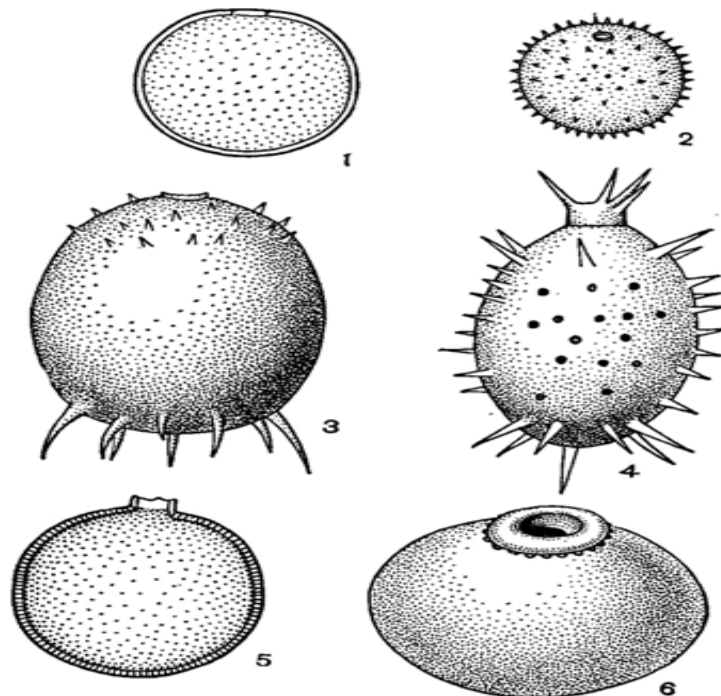


Рисунок 1.21 – «Домики» некоторых видов рода *Trachelomonas*: 1 – *Trachelomonas volvocina*; 2 – *Tr. globularis*; 3 – *Tr. armata*; 4 – *Tr. hystrix*; 5 – *Tr. planctonica*; 6 – *Tr. curta*

Существенным отличием пресноводного фитопланктона является обилие в нем временнопланктонных водорослей. Ряд видов, которых принято считать типично планктонными, в прудах и озерах имеют донную или перифитонную (прикрепление к какому-либо предмету) фазу в своем жизненном цикле. Таким образом, разнообразие экологических условий во внутренних водоемах определяет изначально большее разнообразие по сравнению с морями экологических комплексов и видового состава пресноводного планктона.

В каждом отдельном водоеме в зависимости от физических и химических особенностей режима и от сезона года преобладает одна или другая из перечисленных групп водорослей, а в периоды очень интенсивного развития господствует нередко всего один вид.

В мелких временных водоемах, например лужи или выкопанные ямы, часто встречаются мелкие вольвоксовые из рода хламидомонас (*Chlamydomonas*), благодаря которым вода и окрашивается в зеленый цвет [9].

### **1.3.3 Факторы, влияющие на состав и распределение фитопланктона**

Существует несколько факторов, в зависимости от которых определяется состав и распределение фитопланктона по отдельным водоемам:

- световой режим;
- температура воды;
- вертикальная устойчивость водных масс (для глубоких водоемов);
- соленость воды;
- содержание питательных веществ, таких как солей фосфора, азота, железа и кремния.

Влияние освещенности как экологического фактора наглядно прослеживается в вертикальном и сезонном распределении фитопланктона. В морях и озерах фитопланктон существует лишь в верхнем слое воды. Наиболее требовательны к фактору освещенности зеленые водоросли и сине-зеленые, которые в основном развиваются в летний сезон.

Не так требовательны к условиям освещенности – диатомовые. Некоторые из них наоборот, избегают яркого освещения, и потому более активно развиваются лишь на глубине 2–3 м.

Температура воды является одним из важнейших факторов общего географического распределения фитопланктона и его сезонных циклов, но, следует отметить, что зачастую этот фактор действует не прямо, а косвенно. Большинство водорослей способны переносить большой диапазон колебаний температуры и встречаются в планктоне разных географических широт и в разные сезоны года. Но для каждого отдельного вида зона температурного оптимума, в пределах которого наблюдается наибольшая продуктивность зачастую ограничена большими отклонениями температуры. Как правило, температурный оптимум у разных видов не совпадает, в связи с чем и

происходит смена видового состава по сезонам, или по другому – сезонная сукцессия видов.

Среди химических факторов наиболее значимым является солевой состав воды. При этом общая концентрация солей является важным фактором видового распределения по типам водоемов, а концентрация питательных солей, таких как азота и фосфора влияют на количественное распределение, т.е. продуктивности.

Продуктивность, или по другому «урожайность», микроскопических водорослей фитопланктона в большей степени зависит от концентрации питательных веществ в окружающей среде. Так, в первую очередь необходимы соли азота и фосфора. Но обычно концентрация этих веществ не достаточна, в связи с чем достаточная продуктивность фитопланктона возможна лишь при условии постоянного поступления минеральных веществ в верхний слой воды – в зону фотосинтеза.

Тем не менее, некоторые сине-зеленые водоросли могут усваивать элементарный азот из растворенного в воде воздуха, однако таких видов не много и их роль в обогащении азотом бывает существенной лишь для очень мелких озер, в частности на рисовых полях.

Так же продуктивность фитопланктона зависит от динамики воды, динамического режима вод. При этом, влияние может быть как прямым, так и косвенным. Так, при не слишком интенсивном турбулентном перемешивании и прочих благоприятных условиях наблюдается повышение продуктивности диатомовых водорослей, в связи с тем, что многие виды данного отдела, имея относительно тяжелую оболочку из кремния, в спокойной воде опускаются на дно. В связи с этим отличается массовое развитие пресноводных видов, в частности из рода мелозира, в планктоне озер умеренных широт лишь весной и осенью, в периоды активного перемешивания воды.

Но есть такие виды водорослей, которые не переносят даже относительно слабого турбулентного перемешивания воды, в частности сине-зеленые. В отличие от диатомовых сине-зеленые водоросли лучше развиваются в спокойных водах [9].

#### **1.4 Биоиндикация**

Биоиндикация – это оценка состояния среды с помощью живых объектов. В качестве одного из объектов биомониторинга используют фитопланктон. Он является важнейшим компонентом водных систем, активно участвует в формировании качества воды и является чутким показателем состояния водных экосистем и водоема в целом [5].

Этот метод основан на наблюдении за составом, численностью и состоянии видов-индикаторов. Он подразумевает слежение за природными и антропогенными процессами в биологических средах, включающее всю совокупность взаимодействия живого с агентами внешней среды, в том числе



выяснения ответных реакций биосред на природные и антропогенные воздействия.

Объектами исследования в данном случае выступают биоиндикаторы – организмы, присутствие или интенсивность развития которых служит показателем изменений каких-либо естественных процессов или условий в окружающей среде.

Биоиндикаторы – это биологические объекты (от клеток и биологических макромолекул до экосистем и биосферы), используемые для оценки состояния среды. Биоиндикаторы отражают в полной мере степень опасности соответствующего состояния окружающей среды для всех живых организмов, в том числе и для человека.

Типы биоиндикаторов:

- чувствительный – быстро реагирует значительным отклонением показателей от нормы;
- аккумулятивный – накапливает воздействия без проявляющихся нарушений.

Биоиндикация может осуществляться на всех уровнях организации живого (биологические молекулы, клетки, ткани, органы, организмы и популяции).

Когда в качестве индикаторов используют растения, то такая биоиндикация называется дендроиндикацией или фитоиндикацией. Растения как биоиндикаторы проявляют дифференциальную чувствительность к различным видам антропогенных воздействий.

Актуальность биоиндикации обусловлена простотой, скоростью и дешевизной определения качества среды. Например, при засолении почвы в городе листья липы по краям желтеют еще до наступления осени. Выявить такие участки можно, просто осматривая деревья. В таких случаях биоиндикация позволяет быстро обнаружить наиболее загрязненные местообитания.

Биоиндикация может быть специфической и неспецифической. В первом случае изменения живой системы можно связать только с одним фактором среды. Во втором случае различные факторы среды вызывают одну и ту же реакцию.

При другом подходе различают прямую и косвенную биоиндикацию. О прямой биоиндикации говорят, когда фактор среды действует на биологический объект непосредственно. При косвенной биоиндикации фактор действует через изменения других (абиотических и биотических) факторов среды [12].

#### **1.4.1 Сапробиологический анализ**

В 1902 году ботаником Р. Кольквицем и зоологом М. Марссоном была предложена система биологического анализа качества вод, впоследствии ставшая классической. Исследователи предложили дать двум основным

группам показательных организмов-антагонистов название сапробионты (от греч. Sapro – гнилой) для обитателей сточных вод и катаробионты (от греч. Katharos – чистый) для организмов, населяющих исключительно чистые воды. Под сапробностью авторы понимали способность организмов развиваться при большем или меньшем содержании в воде органических загрязнений. В 1908-1909 гг. Кольквиц и Марссон опубликовали обширные списки показательных растительных и животных организмов, которые в дальнейшем многократно пополнялись и уточнялись.

Сапробность – комплекс физиолого-биохимических свойств организма, обуславливающий его способность обитать в воде с тем или иным содержанием органических веществ, то есть с той или иной степенью загрязнения.

Сапробионты были разделены на три группы:

- организмы собственно сточных вод – полисапробионты (р-сапробы);
- организмы сильно загрязненных вод – мезосапробионты (две подгруппы –  $\alpha$ -мезосапробы и  $\beta$ -мезосапробы);
- организмы слабозагрязненных вод – олигосапробы (о-сапробы).

Основные характеристики зон сапробности представлены в таблице 3 [13].

Таблица 3 – Основные характеристики зон сапробности

Показатель	Полисапробные	$\alpha$ -мезосапробные	$\beta$ -мезосапробные	Олигосапробные
Кислородные условия	Анаэробные	Полуанаэробные	Аэробные	Аэробные
Азотистые соединения	Белковые вещества	Аммиак, аминокислоты	Аммонийные соли, нитраты, нитриты	Нитраты
Сероводород	Много	Достаточно много	Мало	Нет
Загниваемость	Загнивает	Загнивает	Не загнивает	Не загнивает
Бактерий в 1 мл воды	$10^9$	$10^6$	$10^5$	$10-10^2$
Преобладание отдельных видов	Очень сильное	Значительное	Большое	Небольшое
Разнообразие видов	Очень малое	Небольшое	Значительное	Очень большое

Смена сообществ	Катастрофическая	Часто катастрофическая	Довольно медленная	Медленная
Потребность организма в кислороде	Ничтожная	Слабая	Большая	Очень большая

Для оценки степени загрязнения водоемов органическими веществами авторы установили четыре зоны загрязнения: поли-,  $\alpha$ -мезо-,  $\beta$ -мезо- и олигосапробную:

- полисапробная зона характеризуется обилием нестойких органических веществ и продуктов их анаэробного распада, значительным количеством белковых соединений. Свободный кислород почти отсутствует, вследствие чего биохимические процессы носят восстановительный характер. В воде накапливаются сероводород, углекислота, метан, аммиак. Основу населения составляют сапрофитные бактерии, численность которых достигает многих сотен миллионов клеток в 1 мл воды. Число видов, обитающих в полисапробных водах, невелико, но развиваются они в огромных количествах;
- $\alpha$ -Мезосапробная зона по характеру биохимических процессов близка к полисапробной, но здесь уже присутствует свободный кислород; сероводород и метан отсутствуют;
- $\beta$ -Мезосапробная зона отличается от предыдущих преобладанием окислительных процессов над восстановительными. Благодаря интенсивному фотосинтезу многочисленных растений летом воды бывают перенасыщены кислородом;
- олигосапробная зона полностью свободно от загрязнения и обычно перенасыщена кислородом. Население наиболее разнообразно в видовом отношении, но количественно значительно беднее, чем в предыдущих зонах.

Иногда выделяют еще зону катаробионтов, которая характеризуется полным отсутствием органических загрязнений, но в ней отсутствуют почти и минеральные соли. Кроме того, эта зона характеризуется большим насыщением воды кислородом, население гидробионтов очень скудно, обычно к катаробионтным водам относят воды горных холодных рек и ручьев [13].

Из приведенных характеристик зон сапробности следует, что по мере ухудшения качества воды таксономический состав гидробионтов становится беднее, в то время как численность отдельных видов возрастает и в полисапробной зоне может быть огромной [14].

Расчет сапробности водоемов проводится по формуле:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N S_i h_i}{\sum_{i=1}^N h_i} \quad (1)$$

где  $S$  – общая сапробность водоема,  $S_i$  – индивидуальный индекс определенного вида,  $h_i$  – частота встречаемости, изменяющаяся от 1 до 9 (1 – в пробе единично, 3 – мало, 5 – средне, 7 – много, 9 – очень много),  $N$  – численность видов-индикаторов [15].

Индивидуальные индексы сапробности организмов ( $S_i$ ) можно взять из «Временных методических указаний по гидробиологическому анализу качества вод малых рек» [16, 17], а также других справочных пособий [18, 19]. Шкала сапробности приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Шкала зон сапробности в реках по гидробиологическим показателям (по Горидченко [16], с дополнениями)

Качество вод	Класс вод	Индекс сапробности	Относительная численность олигохет от общего числа организмов в пробе, %
Очень чистые (оч), ксеносапробные (к)	I	менее 0,5	1–20
Чистые (ч), олигосапробные (о)	II	0,5–1,5	21–35
Умеренно загрязненные (уз), бетамезосапробные (β)	III	1,51–2,50	36–50
Загрязненные (з), альфамезосапробные (α)	IV	2,51–3,5	51–65
Грязные (г), полисапробные (п)	V	3,51–4,50	66–85
Очень грязные (ог), гиперполисапробные (гп)	VI	4,5 и более	86–100 или макрозообентос отсутствует

Величина  $h$  находится из шестиступенчатой шкалы значений частоты и определяет относительное количество видов. Оценка относительной частоты встречаемости видов представлена в таблице 5 [13].

Таблица 5 – Оценка относительной частоты встречаемости видов

Шкала частоты	Количество экземпляров одного вида в процентах от общего числа особей	Значение $h$
Очень редко	1	1
Редко	2–3	2
Нередко	4–10	3
Часто	10–20	5
Очень часто	20–40	7
Массовость	40–100	9

Понятие сапробность включает комплекс физиолого-биохимических свойств организма, обуславливающий его способность обитать в воде с тем или иным содержанием органических веществ, то есть той или иной степенью загрязнения. При изучении способностей организмов жить в водах, загрязненных токсичными веществами, содержащимися в основном в промышленных и сельскохозяйственных стоках, вводят термин «токсобность». Различают «первичное» и «вторичное» загрязнение водоемов. Первичным считается загрязнение за счет отмирания большого количества водных растений и разложения их, что имеет место при «цветении» водоемов и эвтрофировании.

К органическим нетоксичным веществам относят фекальные стоки, погибшую и разлагающуюся древесину, остающуюся на дне водохранилищ при их затоплении или накапливающуюся в реках при лесосплаве, волокна целлюлозы в районе промстоков целлюлозно-бумажных предприятий.

Органическими токсичными соединениями считаются моющие средства, фенол и его производные, крезол, нефть и нефтепродукты ее переработки. Загрязнение континентальных водоемов нефтепродуктами является самым распространенным и опасным из-за медленной утилизации бактериями.

Почти не разрушаются синтетические вещества, поскольку природа не знала их и в ходе эволюции не возникли деструкторы этих соединений.

Из минеральных веществ наиболее токсичны для гидробионтов тяжелые металлы (медь, мышьяк, ртуть, свинец). Токсичными оказались и радиоактивные вещества. Чаще в водоемах встречаются и минеральные, и органические соединения, а эффект их действия зависит от дозировки и сочетания разных веществ.

Степень загрязнения водоема или его зоны можно определить по составу населения, обитающего в нем. Метод биологического анализа вод в

настоящее время хорошо разработан, однако он требует комплексности исследований и достаточно высокой квалификации специалистов [13].

Существующая ныне система индикаторных организмов не универсальна для всех материков, наиболее применима она в европейской части Палеарктики. Более того, первоначальный смысл термина «сапробность», как способность организмов обитать в загрязненных органическими веществами водах, утрачен из-за повсеместного преобладания промышленных загрязнений над бытовыми стоками, относительно которых изначально строилась система Кольквица-Марссона, но, несмотря на это, термин продолжает использоваться в смысле общего загрязнения [14].



## **2 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **2.1 Отбор проб**

Отбор проб из водоема или водотока для анализа осуществляется непосредственно перед выполнением работы на глубине не более 0,5 м от дна с помощью планктонной сети. Планктонная сеть состоит из латунного кольца и пришитого к нему конического мешка из капронового сита. К узкому выходному отверстию плотно прикрепляется стаканчик, который имеет выводную трубку, закрытую зажимом. Закончив сбор планктона, планктонную сеть ополаскивают, чтобы отмыть водоросли, задержавшиеся на внутренней поверхности сети. Сконцентрированную таким образом пробу планктона, находящуюся в стаканчике планктонной сети, сливают через выводную трубку в заранее приготовленную баночку.

Сачок опускают в воду на нужную глубину так, чтобы отверстие было перпендикулярно ее поверхности, и ведут в сторону, несколько наклонив отверстие вверх. Закончив проводку на заданной глубине, поворачивают отверстие сачка вверх параллельно поверхности воды и по возможности быстро вынимают сачок из воды. Необходимо дать воде стечь и после этого рассмотреть содержимое сачка или непосредственно в нем, положив его на ровную поверхность, или поместив содержимое в ванночку с водой. В реках сачок ведут против течения. Глубину погружения выбирают в зависимости от целей лова. Для сбора фитопланктона с поверхности воды сачок держат в полупогруженном состоянии. При отборе проб фитопланктона с придонных слоев воды не нужно погружать сачок глубоко в грунт, так как при этом большое количество донных отложений не позволит хорошо его рассмотреть.

Для отлова фитопланктона в неглубоких местах использовали ванночки, которые под небольшим углом погружали в воду так, чтобы ток воды вместе с животными устремился в ванночку. Хорошие результаты дал сбор фитопланктона с погруженных в воду предметов – коряг, веток, камней.

На каждой станции нами было отобрано в среднем по 5–7 проб.

### **2.2. Биологический контроль водоема методом сапробности**

Отобранную пробу сгущают путем фильтрования через мелкопористый мембранный фильтр. Минимальный объем для сгущения составляет 250 мл. Для микроскопирования отбирают каплю полученной суспензии микроорганизмов глазной пипеткой, предварительно хорошо взбалтывая пробу, и помещают на чистое, сухое, обезжиренное предметное стекло [20]. Сверху осторожно покрывают покровным стеклышком так, чтобы под ним по возможности не осталось пузырьков воздуха. Первые один – два микроскопирования проводят с целью ознакомления с микроорганизмами и определения их принадлежности к различным таксонометрическим группам.

Хорошо видимый объект идентифицируется по таблицам, рисункам и определителю Сладечека[21]. Выясняется принадлежность организма к тому или иному классу, виду.

Для количественного учета просматривают 50 полей зрения не менее чем на трех препаратах [22]. Число организмов оценивают по шкале частот после пересчета на 100 полей зрения соответственно категории крупности, которая представлена в таблице 6:

- 1-я категория – организмы размером до 50 мкм;
- 2-я категория – 50–200 мкм;
- 3-я категория – 200–1000 мкм.

Таблица 6 – Шкала для пересчета организмов-сапробионтов в 100 полях зрения микроскопа на частоту встречаемости

Частота встречаемости в баллах	Сапробионты
1-я категория крупности	
1	Не более 1 в каждом 2-м поле зрения
2	Не более 2 в поле зрения
3	Не более 10 в поле зрения
5	Не более 30 в поле зрения
7	Не более 60 в поле зрения
9	Более 60 в поле зрения
2-я категория крупности	
1	Не более 1 в каждом 20-м поле зрения
2	Не более 1 в каждом 5-м поле зрения
3	Не более 1 в поле зрения
5	Не более 3 в поле зрения
7	Не более 6 в поле зрения
9	Более 6 в поле зрения
3-я категория крупности	
1	1 в 100 полях зрения
2	1 в 50 полях зрения
3	Не более 1 в 10 полях зрения
5	Не более 1 в 4 полях зрения
7	Не более 1 в 2 полях зрения
9	Приблизительно 1 в поле зрения

Частоту встречаемости учитывают по общепринятой в биоиндикационных исследованиях девятибалльной шестиступенчатой шкале со следующими обозначениями: 1 – очень редко, 2 – редко, 3 – нередко, 5 – часто, 7 – очень часто, 9 – масса.

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

#### 3.1 Исследование видового состава фитопланктонных сообществ озер Ильменское и Увильды

Исследования фитопланктонного сообщества озера Ильменское проводили в июне-июле 2015 г. Для проведения исследований были выбраны девять точек отбора проб, которые представлены на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Схема точек отбора проб озера Ильменское

Для проведения исследований на озере Увильды были выбраны пять точек отбора проб, представленные на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Точки отбора проб озера Увильды

Виды фитопланктонных сообществ изучаемых водоемов представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Фитопланктонные сообщества озер Ильменское и Увильды

Отделы	Объекты исследования	
	Озеро Ильменское	Озеро Увильды
Bacillariophyta	–	<i>Achnanthes clevei</i>
	<i>Amphora ovalis</i>	<i>Amphora ovalis</i>
	<i>Asterionella formosa</i>	<i>Asterionella formosa</i>
	<i>Aulacoseira granulata</i>	<i>Aulacoseira granulata</i>
	<i>Cocconeis placentula</i>	–

	–	<i>Cymatopleura solea</i>
	<i>Cymbella cymbiformis</i>	<i>Cymbella cymbiformis</i>
	<i>Cymbella helvetica</i>	–
	<i>Cymbella parva</i>	–
	–	<i>Cymbella cistula</i>
	–	<i>Cymbella proxima</i>
	<i>Diatoma elongatum</i>	–
	<i>Diatoma vulgare</i>	<i>Diatoma vulgare</i>
	–	<i>Dinobryon sociale americanum</i>
	–	<i>Dinobryon divergens</i>
	<i>Epithemia turgida</i>	<i>Epithemia turgida</i>
	—	<i>Epithemia argus</i>
		<i>Epithemia sorex</i>
	<i>Eunotia meisterii</i>	–
	<i>Flagillaria crotonensis</i>	<i>Fragilaria crotonensis</i>
	<i>Fragilariforma virescens</i>	–
	<i>Gomphonema acuminatum</i>	–
	<i>Gomphonema truncatum</i>	–
	–	<i>Gyrosigma spenceri</i>
	–	<i>Melosira undulata</i>
	<i>Navicula gracilis</i>	–
	<i>Navicula radiosa</i>	<i>Navicula radiosa</i>
	<i>Navicula rhynchocephalia</i>	–
	<i>Nitzschia sigmoidea</i>	<i>Nitzschia sigmoidea</i>
	<i>Pinnularia alpina</i>	–
	–	<i>Pinnularia cardinalis</i>
	–	<i>Pinnularia viridis</i>
	<i>Rhoicosphenia curvata</i>	–
	–	<i>Rhopalodia gibba</i>
	–	<i>Stauroneis anceps</i>
	–	<i>Stauroneis phoenicenteron</i>
	<i>Stauroneis sp.</i>	–
	<i>Surirella elegans</i> var. <i>elegans</i>	–
	–	<i>Surirella linearis</i>

	<i>Synedra acus</i>	–
	<i>Synedra ulna</i> var. <i>acus</i>	–
	<i>Synedra ulna</i> var. <i>ulna</i>	<i>Synedra ulna</i> var. <i>ulna</i>
	–	<i>Synedra vaucheriae</i>
	<i>Tabellaria fenestrata</i>	<i>Tabellaria fenestrata</i>
Cyanophyta	<i>Anabaena flos-aquae</i>	<i>Anabaena flos-aquae</i>
	<i>Anabaena hassalii</i>	<i>Anabaena hassalii</i>
	<i>Anabaena lemmermannii</i>	<i>Anabaena lemmermannii</i>
	<i>Anabaena sheremetieva</i>	–
	<i>Anabaena spiroides</i>	–
	<i>Aphanothece clathrata</i>	<i>Aphanothece clathrata</i>
	<i>Gloeocapsa sanguinea</i>	–
	<i>Gloeocapsa tenax</i>	–
	<i>Gloeocapsa turgida</i>	–
	<i>Gloeotrichia echinulata</i>	<i>Gloeotrichia echinulata</i>
	<i>Gloeotrichia pisum</i>	–
	<i>Gomposphaeria lacustris</i>	<i>Gomposphaeria lacustris</i>
	<i>Microcystis aeruginosa</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>
	<i>Microcystis aeruginosa</i> f. <i>viridis</i>	–
	<i>Microcystis pulverea</i> f. <i>planctonica</i>	<i>Microcystis pulverea</i> f. <i>planctonica</i>
	<i>Microcystis wesenbergii</i>	–
	–	<i>Merismopedia elegans</i>
	–	<i>Merismopedia lauca</i>
	<i>Oscillatoria limosa</i>	<i>Oscillatoria limosa</i>
	–	<i>Oscillatoria princeps</i>
	<i>Snowella rosea</i>	–
	<i>Woronichinia naegeliana</i>	<i>Woronichinia naegeliana</i>
	Chlorophyta	<i>Botryococcus braunii</i>
–		<i>Cladophora glomerata</i>
–		<i>Closterium aciculare</i>
–		<i>Closterium parvulum</i>
<i>Coenochloris ovalis</i>		<i>Coenochloris ovalis</i>
<i>Coenococcus planctonicus</i>		<i>Coenococcus planctonicus</i>
<i>Cosmarium depressum</i>		<i>Cosmarium depressum</i>

	–	<i>Cosmarium caelatum</i>
	–	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>
	<i>Dispora crucigenioides</i>	–
	<i>Eudorina elegans</i>	<i>Eudorina elegans</i>
		<i>Oedogonium capillare</i>
	<i>Oocystis borgei</i> var. <i>borgei</i>	<i>Oocystis borgei</i> var. <i>borgei</i>
	<i>Pediastrum boryanum</i>	<i>Pediastrum boryanum</i>
	<i>Pediastrum duplex</i>	<i>Pediastrum duplex</i>
	<i>Pediastrum simplex</i>	<i>Pediastrum simplex</i>
	<i>Planktosphaeria gelatinosa</i>	<i>Planktosphaeria gelatinosa</i>
	–	<i>Scenedesmus acuminatus</i>
	–	<i>Scenedesmus quadricauda</i>
	<i>Sphaerocystis polycocca</i>	–
	<i>Sphaerocystis schroeteri</i>	–
	–	<i>Staurastrum paradoxum</i>
	<i>Spirogira</i> sp.	–
	–	<i>Ulothrix variabilis</i>
	<i>Ulothrix zonata</i>	–
	<i>Volvox aureus</i>	–
	–	<i>Volvox</i> sp.
Crysophyta	<i>Chrychrysococcus klebsianus</i>	–
	<i>Dinobryon divergens</i>	<i>Dinobryon divergens</i>
	<i>Dinobryon sociale americanum</i>	<i>Dinobryon sociale americanum</i>
Euglenophyta	<i>Euglena acus</i> var. <i>acus</i>	<i>Euglena acus</i> var. <i>acus</i>
	–	<i>Euglena ehrenbergii</i>
	–	<i>Euglena gracilis</i>
	<i>Euglena proxima</i>	<i>Euglena proxima</i>
	–	<i>Euglena sanguinea</i>
	–	<i>Euglena spirogyra</i>
	–	<i>Trachelomonas euchlora</i>

	<i>Trachelomonas pseudobulla</i>	–
Dynophyta	<i>Ceratium hirundinella</i>	<i>Ceratium hirundinella</i>
	<i>Peridinium cinctum</i>	–
	–	<i>Peridinium volzii</i>
Xanthophyta	<i>Tribonema viride</i>	<i>Tribonema viride</i>
Cryptophyta	–	<i>Cryptomonas sp.</i>

### 3.2 Эколого-географическая характеристика фитопланктона озера Ильменское

В ходе исследования фитопланктонного сообщества озера Ильменское было обнаружено, что в его состав входит 71 вид, которые относятся к 48 родам, 39 семействам, 18 порядкам, 14 классам, 7 отделам, что представлено в таблице 8.

Таблица 8 – Таксономический состав водорослей планктона озера Ильменское

Отделы	Таксономический состав				
	Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид
Bacillariophyta	3	4	14	19	27
Суанophyta	3	4	8	9	19
Chlorophyta	4	5	11	13	16
Chrysophyta	1	2	2	2	3
Euglenophyta	1	1	1	2	3
Dinophyta	1	1	2	2	2
Xanthophyta	1	1	1	1	1
Total	14	18	39	48	71

Доминантными по численности являются отделы

- Суанophyta (сине-зеленые водоросли) – 41 % от общего числа;
- Bacillariophyta (диатомовые) – 30 %;
- Chlorophyta (зеленые) – 22 %.

Наиболее многочисленными видами являются:

- отдел Суанophyta: *Microcystis aeruginosa* (12,5 % от общего числа), *Gloeotrichia echinulata* (9 %) и *Anabaena flos-aquae* (5,3 %);
- отдел Bacillariophyta: *Diatoma vulgare* (6,7 %), *Synedra ulna var. ulna* (4,3 %), *Asterionella formosa* (2,9 %) и *Fragilaria crotonensis* (2,4 %);
- отдел Chlorophyta доминирующий вид – *Volvox aureus* (9,7 %).

Процентное соотношение отделов изображено на рисунке 3.3.



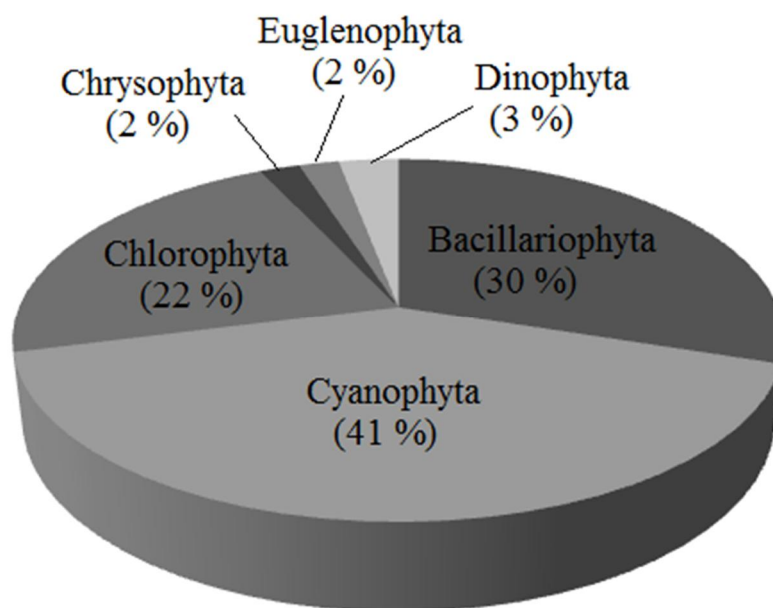


Рисунок 3.3 – Распределение различных отделов водорослей по численности озера Ильменское

Для фитопланктонного сообщества озера Ильменское была составлена эколого-географическая характеристика организмов-индикаторов, представленная в таблицах 9–10 .

Таблица 9 – Эколого-географический анализ альгофлоры озера Ильменское

Отдел	Bacillariophyta	Cyanophyta	Chlorophyta	Crysophyta	Euglenophyta	Dynophyta	Xanthophyta	Всего
По местообитанию:								
Бентосные (В)	11	1	1	0	0	0	0	13
Планктонные (Р)	4	13	8	2	1	1	0	29
Планктонно-бентосные (Р-В)	11	3	5	0	2	1	1	23
Итого:	26	17	14	2	3	2	1	
По распространению:								
Космополит (к)	22	15	12	2	2	2	1	56
Бореальный (b)	1	2	0	0	0	0	0	3
Аркто-альпийский (а-а)	1	0	0	0	0	0	0	1

Голарктический (Ha)	0	1	1	0	1	0	0	3
Итого:	24	18	13	2	3	2	1	
По отношению к солености:								
Олигогалооб-индифферент (i)	20	11	10	2	1	2	1	47
Олигогалооб-галофил (hl)	3	6	0	0	0	0	0	9
Олигогалооб (oh)	1	0	0	0	0	0	0	1
Олигогалооб-галофоб (hb)	1	0	1	0	0	0	0	2
Мезогалооб (mh)	0	0	0	0	1	0	0	1
Итого:	25	17	11	2	2	2	1	
По отношению к рН:								
Алкалифил (alf)	12	1	0	0	1	0	0	14
Индифферент и/или нейтрофил (ind)	5	1	6	1	2	0	0	15
Ацидофил (acf)	2	0	0	0	0	0	0	2
Алкалибионт (alb)	3	0	0	0	0	0	0	3
Итого:	22	2	6	1	3	0	0	

Эколого-географический анализ альгофлоры озера Ильменское показал, что преобладающая часть встречающегося фитопланктона широко распространена в континентальных водоемах (виды-космополиты) (табл. 9). Планктонные формы составляют около 41 % от общего числа видов, для которых известно традиционное местообитание. На долю бентосно-планктонных и бентосных форм приходится соответственно по 32 % и 18 %.

По отношению к солености воды преобладают индифференты – 66 %. По отношению к рН среды встречаются алкалифильные (20 %) и индифферентные (21 %) формы.

Виды-индикаторы органического загрязнения составляют 73 % от всего таксономического списка наблюдаемого фитопланктона (табл. 10). При этом выделяют следующие виды:

- на долю видов, характеризующих низкую степень загрязнения (от  $\alpha$  до  $\alpha$ - $\alpha$ ) приходится 67 %;
- средней ( $\beta$ -мезосапробы) – 21 %;
- высокой (от  $\beta$ - $\alpha$  до  $\alpha$ - $\beta$ ) – 12 %.

Таблица 10 – Число видов водорослей-сапробионтов озера Ильменское

Зона соприкосновения	х	х-о	о-х	о	о-β	β-о	о-α	β	β-α	α-β	р	х-β	все го
Числов видов	1	1	1	10	7	5	10	11	2	2	1	1	52

### 3.3 Эколого-географическая характеристика фитопланктона озера Увильды

В составе фитопланктона озера Увильды было зарегистрировано 74 вида, которые относятся к 50 родам, 39 семействам, 18 порядкам, 14 классам и 8 отделам. Таксономический состав представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Таксономический состав водорослей планктона озера Увильды

Divisions	Taxa				
	Class	Order	Family	Genus	Species
Bacillariophyta	2	4	13	19	26
Cyanophyta	2	3	7	8	14
Chlorophyta	5	6	13	16	21
Chrysophyta	1	1	1	1	2
Euglenophyta	1	1	1	2	7
Dinophyta	1	1	2	2	2
Xanthophyta	1	1	1	1	1
Cryptophyta	1	1	1	1	1
Total	14	18	39	50	74

Доминантными по численности являются отделы:

- Суанопхита (сине-зеленые водоросли) – 39 % от общего числа;
- Вациллариопхита (диатомовые) – 43 %;
- Хлорофита (зеленые) – 8 %.

В озере Увильды наиболее многочисленными видами являются:

- отдел Суанопхита – *Anabaena lemmermannii* (18 %), *Microcystis aeruginosa* (8,9 %), *Anabaena flos-aquae* (5,5 %) и *Microcystis pulvereae* f. *planctonica* (2,8 %);
- отдел Вациллариопхита – *Fragilaria crotonensis* (17,1 %), *Asterionella formosa* (14,1 %) и *Aulacoseira granulata* (6,9 %);
- Хлорофита – *Coenococcus planctonicus* (4,6 %).

Процентное соотношение отделов изображено на рисунке 3.4.

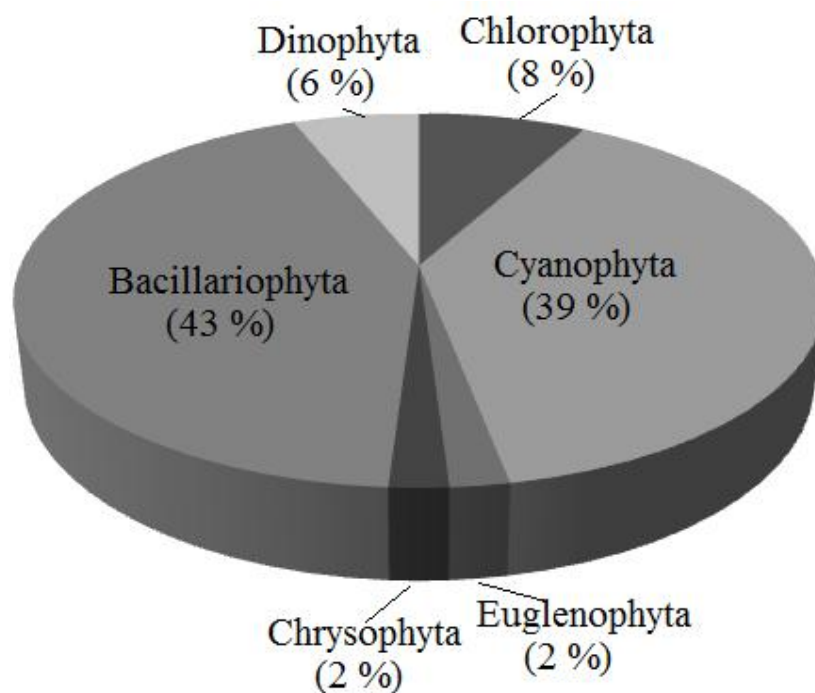


Рисунок 3.4 – Распределение различных отделов водорослей по численности озера Увильды

Результаты эколого-географической характеристики водорослей озера Увильды представлены в таблицах 12–13.

Таблица 12 – Эколого-географический анализ альгофлоры озера Увильды

Отдел	Bacillariophyta	Суанопхита	Chlorophyta	Срысophyta	Euglenophyta	Dynophyta	Xanthophyta	Срыптоphyta	Всего
По местообитанию:									
Бентосные (B)	13	0	2	0	0	0	0	0	15
Планктонные (P)	6	8	9	2	1	2	0	1	29
Планктонно-бентосные (P-B)	9	4	8	0	5	0	1	0	27
Почвенные, наземные субстраты (S)	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Итого:	28	13	19	2	6	2	1	1	

По распространению:									
Космополит (к)	24	11	16	2	6	1	1	0	61
Аркто-альпийский (а-а)	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Голарктически й (Ha)	1	1	2	0	1	0	0	0	5
Австралийский (Au)	0	0	1	0	0	1	0	0	2
Итого:	26	12	19	2	7	2	1	0	
По отношению к солености:									
Олигогалоб-индифферент (i)	23	8	13	2	3	1	1	0	51
Олигогалоб-галофил (hl)	2	3	0	0	0	0	0	0	5
Олигогалоб (oh)	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Олигогалоб-галофоб (hb)	1	0	0	0	1	0	0	0	2
Мезогалоб (mh)	1	0	1	0	0	0	0	0	2
Итого:	27	11	14	2	5	1	1	0	
По отношению к рН:									
Алкалифил (alf)	13	0	1	0	1	0	0	0	15
Индифферент и/или нейтрофил (ind)	9	1	8	1	5	0	0	0	24
Ацидофил (acf)	2	0	0	0	1	0	0	0	3
Алкалибионт (alb)	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Итого:	25	1	9	1	7	0	0	0	

Эколого-географический анализ альгофлоры озера Увильды показал, что преобладающая часть встречающегося фитопланктона широко распространена в континентальных водоемах (виды-космополиты) (табл. 12). Планктонные формы составляют около 39 % от общего числа видов, для которых известно традиционное местообитание. На долю бентосно-планктонных и бентосных форм приходится соответственно по 36 % и 20 %.

По отношению к солености воды преобладают индифференты – 69 %. По отношению к рН среды встречаются алкалофильные (20 %) и индифферентные (34 %) формы.

Виды-индикаторы органического загрязнения составляют 85 % от всего таксономического списка наблюдаемого фитопланктона (табл. 13). При этом выделяют следующие виды:

- на долю видов, характеризующих низкую степень загрязнения (от х до о-α) приходится 62 %;
- средней (β-мезосапробы) – 30 %;
- высокой (от β-α до х-β) – 8 %.

Таблица 13 – Число видов водорослей-сапробионтов озера Увильды

Зона сапробности	х	х-о	о-х	о	о-β	β-о	о-α	β	β-α	α-β	р	х-β	все го
Числов видов	2	2	2	9	10	5	9	19	1	2	1	1	63

### 3.4 Сравнительная оценка видового состава фитопланктона озер Ильменское и Увильды

По видовому разнообразию озера схожи (общее число обнаруженных видов – 71 и 74 соответственно). Доминирующими в обоих водоемах являются отделы сине-зеленых и диатомовых водорослей, только в озере Ильменское преобладают сине-зеленые, а в Увильдах – диатомовые. Практически в 3 раза снижается численность зеленых водорослей в Увильдах, но наблюдается наличие криптофитовых водорослей, которые отсутствуют в озере Ильменское.

Массовыми видами водорослей в том и другом водоеме являются: *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena flos-aquae*, *Fragilaria crotonensis*, *Asterionella Formosa*.

Эколого-географический анализ показал, что для обоих озер характерно преобладание видов-космополитов, по распространению – планктонных и бентосно-планктонных форм, по солености и по отношению к рН – индифферентов.

В озере Ильменском среди видов-индикаторов органического загрязнения 67 % составляют виды, характеризующие низкую степень загрязнения. В озере Увильды их доля уменьшается и наблюдается увеличение видов, характеризующих среднюю степень загрязнения. Это связано с большей антропогенной нагрузкой на озеро Увильды.

Значения индекса сапробности точек для двух озер представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Значения индекса сапробности точек озер Ильменское и Увильды

Номер точки	Озеро Ильменское	Озеро Увильды
1	1,54	1,76
2	1,49	2,02
3	1,61	1,47
4	1,41	1,78
5	1,36	2,26
6	1,52	
7	1,47	
8	1,56	
9	1,52	

Значения индекса сапробности каждой станции озера Ильменское лежат в диапазоне значений от 1,36 до 1,61, что говорит о состоянии озера, как находящегося на границе между олиго и  $\beta$ -мезосапробной зоной. Значения индекса сапробности для каждой станции озера Увильды лежат в диапазоне значений от 1,47 до 2,26, что характеризует озеро как  $\beta$ -мезосапробное.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- в озере Ильменское наиболее массовым отделом водорослей являются сине-зеленые;
- в озере Увильды доминирующей группой фитопланктона являются диатомовые водоросли;
- водоросли, обитающие в озере Ильменское и Увильды, в основном относятся к космополитам, планктонным формам, индифферентам по отношению к солености, а также алкалифильным и индифферентным формам по отношению к рН среды;
- озеро Ильменское характеризуется как переходное между олиго и  $\beta$ -мезосапробной зоной, озеро Увильды –  $\beta$ -мезосапробное.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кострюкова, А.М. Эколого-географическая характеристика озер Ильменского заповедника / А.М. Кострюкова, И.В. Машкова, Т.Г. Крупнова, Ю.Д. Пилькевич // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. – 2013. – Т. 1. – С. 118-125.
2. Буторина, Л.А. Ильменский заповедник / Л.А. Буторина, В.О. Поляков. – Челябинск: Южно-Уральское книжное издательство, 1991. – 159 с.
3. Жариков, С.С. Озера, реки и грунтовые воды Ильменского заповедника. Архив Ильменского государственного заповедника. Оп.2. Д. № 150. 2001. – 206 с.
4. Рогозина, А.Г. Оценка экологического состояния водоемов методом картирования акваторий (на примере озер Ильменского заповедника и окрестностей г. Миасс) / А.Г. Рогозина, С.В. Гаврилкина, А.В. Перескоков, Л.В. Снитько // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. – 2004. – № 2. – С. 151-156.
5. Кострюкова, А.М. Биомониторинг озер Ильменского государственного заповедника / А.М. Кострюкова, Т.Г. Крупнова, И.В. Машкова // Молодой ученый. – 2013. – № 4. – С. 156-158.
6. Ильменское озеро – [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ильменское\\_озеро](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ильменское_озеро)
7. Увильды (озеро) – [https://ru.wikipedia.org/wiki/Увильды\\_\(озеро\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Увильды_(озеро))
8. Вейсберг, В.И. Охраняемые биологические виды памятника природы «озеро Увильды» (состав, прогноз, состояние) / В.И. Вейсберг, А.В. Лагунов, А.И. Смагин // Вестник оренбургского государственного университета. – 2015. – № 3. – С. 159-163.
9. Тахтаджян, А.Л. Жизнь растений: в 6-ти томах / А.Л. Тахтаджян. – М.: Просвещение, 1974. – 560 с.
10. Афанасьев, А.А. Ботаника: систематика водорослей и грибов. Учебно-методическое пособие / А.А. Афанасьева, Е.В. Авдеева. – Воронеж: 2011. – 42 с.
11. Дубровная, С.А. Систематика растений. Водоросли: Учебно-методическое пособие / С.А. Дубровная, Л.У. Мавлюдова.– Казань: 2013. – 68 с.
12. Выходцева, И.С. Биоиндикация как метод оценки окружающей среды; актуальность и перспективы исследования / И.С. Выходцева, Т.А. Рыхлова // Вестник ландшафтной архитектуры. – 2015. – № 6. – С. 44-47.
13. Воропаева, О. Г. Экологическая альгология с основами биоиндикации: текст лекций / О.Г. Воропаева; Яросл. гос. ун-т им П.Г. Демидова. – Ярославль: ЯрГУ, 2009. – 84 с.
14. Сапробность – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Сапробность>
15. Якимов, А.В. Экологическая оценка антропогенного воздействия на бентофауну реки Баксан (Кабардино-Балкарская Республика, Центральный Кавказ) / А.В. Якимов, М.И. Шапавалов, Х.Х.

- Шекихачев, Т.Н. Ефимова, О.Т. Гладкая // Вестник. – 2012. – № 3. – С. 1-8.
16. Горидченко, Т.П. Временные методические указания по гидробиологическому анализу качества вод малых рек. М., 1994. – 204 с.
  17. Горидченко, Т.П. Временные методические указания по осуществлению отбора гидробиологических проб на малых реках. М., 1994. – 86 с.
  18. ГОСТ 17.1.3.07-82. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков.
  19. Фомин, Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. Энциклопедический справочник. 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Протектор, 2000. С. 821-828.
  20. Ходоровская, Н.И. Физико-химические и гидробиологические методы исследования экологического состояния водоемов: учебное пособие / Н.И. Ходоровская, О. Н. Кандерова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – 70 с.
  21. Сладечек, В. Определитель фитопланктона. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 40 с.
  22. Мелехова, О.П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб пособие для студ. высш. учебн. заведений / О.П. Мелехова, Т.И. Евсеева и др.; под ред. О.П. Мелеховой и Е.И. Егоровой. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 288 с.