

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины»

**В. А. Собченко,  
Ю. М. Бачура, О. М. Храмченкова**

**СИНЕЗЕЛЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ.  
ЖЕЛТОЗЕЛЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ.  
БУРЫЕ ВОДОРОСЛИ.  
ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ**

Практическое руководство

для студентов специальности 1 – 31 01 01-02  
«Биология (научно-педагогическая деятельность)»

Гомель  
ГГУ им. Ф. Скорины  
2013

УДК 582.26/27 + 582.28 (075.8)  
ББК 28.591 я73  
С 557

**Рецензенты:**

кандидат биологических наук А.Е. Падутов;  
кандидат сельскохозяйственных наук И.В. Бордок.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
учреждения образования «Гомельский государственный  
университет имени Франциска Скорины»

**Собченко, В. А.**

С 557 Синезеленые водоросли. Желтозеленые водоросли. Бурые водоросли. Диатомовые водоросли: практ. рук-во / В. А. Собченко, Ю. М. Бачура, О. М. Храмченкова; М-во образования РБ, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф.Скорины, 2013. – 48 с.  
ISBN 978-985-439-725-2

Практическое руководство ставит своей целью оптимизировать учебно-познавательную деятельность студентов по усвоению материала тем «Синезеленые водоросли», «Желтозеленые водоросли», «Бурые водоросли» и «Диатомовые водоросли». Оно может быть использовано как на лабораторных занятиях по соответствующим темам курса «Альгология и микология», так и для самостоятельной подготовки.

Адресовано студентам биологического факультета.

**УДК 582.26/27 +582.28 (075.8)**  
**ББК 28.591 я73**

**ISBN 978-985-439-725-2**

© Собченко В. А., Бачура Ю. М.,  
Храмченкова О. М., 2013  
© УО «Гомельский государственный  
университет им. Ф. Скорины», 2013

## Содержание

Введение .....	4
Занятие 1 Отдел Синезеленые водоросли ( <i>Cyanophyta</i> ) .....	5
Занятие 2 Отдел Желтозеленые водоросли ( <i>Xanthophyta</i> ) .....	15
Занятие 3 Отдел Бурые водоросли ( <i>Phaeophyta</i> ) .....	24
Занятие 4 Отдел Диатомовые водоросли ( <i>Bacillariophyta</i> ) .....	35
Литература .....	47

## Введение

В практическом руководстве приводятся основные теоретические сведения, которые необходимы для самостоятельной подготовки студентов и выполнению заданий на лабораторных занятиях по темам «Синезеленые водоросли», «Желтозеленые водоросли», «Бурые водоросли» и «Диатомовые водоросли» в курсе «Альгология и микология». Применение предлагаемого руководства позволит аудиторным занятиям быть более эффективными и повысит качество усвоения студентами достаточно сложного учебного материала.

Основная задача руководства – дать представление о многообразии и сложности строения различных групп водорослей, характерных особенностях структурной организации водорослей различного таксономического положения. В нем содержится минимальный объем знаний, на основе которых можно организовать эффективную самостоятельную работу по более глубокому их изучению.

Практическое руководство включает четыре занятия. Материал по каждому из них начинается с плана, затем следует изложение теоретической части, перечисляются материалы и оборудование, ставится цель занятия, приводится систематика объектов, изучаемых по теме. Далее перечисляются задания для самостоятельной работы студентов на лабораторном занятии. В конце каждого занятия имеются вопросы, которые могут быть использованы преподавателем для текущего контроля усвоения знаний, а также студентами для самоконтроля.

В практическом руководстве мы придерживались систематики водорослей, изложенной в издании: Костиков І. Ю. [та інш.] Ботаніка. Водорості та гриби. (Київ: Арістей, 2006) [1]. При подготовке практического руководства также использована информация, изложенная в следующих пособиях и учебниках: Белякова, Г.А. (с соавт) Ботаника: В 4 т. Т.2. Водоросли и грибы: учебник для студ. высших учеб. заведений (М: Академия, 2006) [2]; Вассер, С. П. [и др.] Водоросли. Справочник (Киев: Наук. думка, 1989)[3]; Мандрик, В. Ю. (с соавт) Основи альгології (Київ: Фітосоціоцентр, 2006) [4]; Лемеза, Н. А. Альгология и микология. Практикум : учеб. пособие (Минск: Выш.школа, 2008) [5].

Значительная часть иллюстраций и схемы жизненных циклов выполнены авторами. На классические иллюстрации, использованные в руководстве, приведены ссылки.

Руководство адресовано студентам специальности І – 31 01 01-02 – «Биология (научно-педагогическая деятельность)», может быть полезно для учителей биологии и студентов специализации «Ботаника».

## **Занятие 1. Отдел Синезеленые водоросли (*Cyanophyta*)**

- 1 Общая характеристика отдела *Cyanophyta*
- 2 Порядок Хроококкальные (*Chroococcales*): характеристика, основные представители
- 3 Порядок Осцилляторiales (*Oscillatoriales*): характеристика, основные представители
- 4 Порядок Ностокальные (*Nostocales*): характеристика, основные представители

### **1 Общая характеристика отдела Синезеленые водоросли (*Cyanophyta*)**

**Отдел** Синезеленые водоросли (*Cyanophyta*), или Цианобактерии, – древнейшая группа прокариотических фотоавтотрофных (растительных) организмов, насчитывающая около 2 тыс. видов.

*Cyanophyta* включает одноклеточные или многоклеточные, простые или колониальные индивиды. Колониальные индивиды обычно макроскопические и могут измеряться сантиметрами. Для одноклеточных видов характерна коккоидная форма строения тела, для многоклеточных – нитчатая, реже разнонитчатая.

Клетка синезеленых водорослей состоит из клеточных покровов и протопласта, включающего наружную мембрану (*плазмалемму*) и цитоплазму с различными цитоплазматическими структурами.

К клеточным покровам принадлежат все структуры, окружающие протопласт: клеточные оболочки, слизистые обертки и особые трубчатые образования – так называемые влагалища. Клеточные оболочки синезеленых водорослей жесткие, чаще двухслойные, выполняют опорную и защитную функции; основные компоненты наружного слоя – пектиновые вещества (участвуют в образовании слизи) и микрофибриллы. Среди микрофибрилл имеются сократительные белки, которые обуславливают способность ряда видов синезеленых водорослей к скользящему движению. Характерной чертой *Cyanophyta* является наличие в составе внутреннего слоя клеточной оболочки гетерополимера – *муреина* (пептидогликана), что сближает их с грамотрицательными бактериями и принципиально отличает от эукариотических организмов.

Слизистые обертки разнообразны по своим свойствам и происхождению. В одних случаях слизь образуется в небольшом количе-

стве, в других вокруг клетки возникают более или менее стойкие и четкие слизистые обертки, которые бывают тонкими или толстыми, неслоистыми или слоистыми. Слизистые продукты, образованные разными клетками, могут объединяться, что нередко ведет к возникновению колониальной слизи.

*Цитоплазма* синезеленых водорослей вязкая, гелеобразная. Несмотря на отсутствие обособленного ядра и мембранных органоидов, у них существует хорошо развитая *мембранная система*, к которой относят мембраны *тилакоидов*, *мезосомы*, *полимембранные структуры*, которые являются впячиваниями наружной мембраны (*плазмалеммы*). Цитоплазма делится на центральную часть – *нуклеоплазму* (центроплазму, «ядерную область») и окрашенную периферическую – *хроматоплазму*. Строение центроплазмы – аналога ядра у синезеленых водорослей – близко к идентичным структурам бактериальных клеток; кольцевая молекула ДНК располагается обычно в центральной части клеток *Cyanophyta* в виде мелких гранул или тонких фибрилл (около 2-3 нм в диаметре), не связана с гистоновыми белками и не спирализуется в хромосому. Имеются сведения об образовании плазмид (небольших кольцевых молекул ДНК, способных существовать как автономно, так и встраиваться в центральную молекулу ДНК). Нередко в клетке содержится более одной нуклеоплазматической области.

В хроматоплазме расположены ламеллярные структуры (тилакоиды; типичных хлоропластов синезеленые не имеют), с которыми связаны ассимиляционные пигменты: хлорофилл *a*, каротиноиды ( $\beta$ -каротин, ксантофиллы лютеинового ряда и некоторые специфические ксантофиллы синезеленых водорослей) и фикобилины (фикоциан, аллофикоцианин, фикоэритрин). Последние находятся в специальных структурах – фикобилисомах, расположенных на поверхности мембран тилакоидов.

Для *Cyanophyta* характерно наличие *рибосом* бактериального типа, которые имеют вид электронно-плотных гранул, размером 10-15 нм, и относятся к 70 S частицам.

Клетки многих синезеленых водорослей содержат по одной или несколько газовых вакуолей (*псевдовакуолей*). Они представляют собой красновато- или темно-коричневые (до черных) тельца, округлой или неправильной формы, которые при электронномикроскопическом наблюдении оказались состоящими из многих палочковидных, плотно расположенных *газовых пузырьков*. Стенка пузырьков белковая, проницаемая для газов. Давление газов внутри пу-

зырьков близко к давлению в окружающей среде. При повышении давления газов в среде газовые пузырьки сплющиваются (коллапсируют), что сказывается на степени плавучести водоросли.

Помимо описанных структур в клетках *Cyanophyta* содержатся различные включения, возникающие в результате метаболизма клетки. Основным запасным продуктом является полисахарид промежуточного между крахмалом и гликогеном строения (*крахмал синезеленых водорослей*), структурированный в виде мелких гранул. Более крупные *цианофициновые* (структурированные) гранулы считают образованиями, специфичными для синезеленых водорослей и являющимися местом запасания азота. Встречаются также *волютиновые гранулы* и *липидные включения*. Полиэдральные тела (*карбокисомы*) сравнивают с пиреноидами эукариотических водорослей и, в эволюционном плане, рассматривают в качестве их предшественников.

Вегетативное тело нитчатых цианопрокариот представляет собой *трихом* – совокупность физиологически связанных клеток. Связывание осуществляется с помощью *плазмодесм*, которые проходят через поры поперечных перегородок между клетками. Различают два типа трихомов: *гомоцитные* (их клетки не дифференцированы по форме и функциям) и *гетероцитные* (состоящие из клеток неодинаковых по форме и функциям: вегетативных и особых (гетероцисты, акинеты)). *Гетероцисты* и *акинеты* возникают из вегетативных клеток. При образовании гетероцист содержимое вегетативной клетки становится однородным, более бледным (до бесцветного) или желтоватым. Оболочка исходной для них клетки утолщается, становится двухконтурной; на полюсах появляются поры и другие полярные структуры (пробки, полярные зернышки). Гетероцисты принимают участие в вегетативном размножении и в процессе фиксации атмосферного азота. Акинеты (покоящиеся споры, покоящиеся клетки) – это особые одноклеточные образования, выполняющие функцию сохранения жизни в неблагоприятных условиях, а в тех случаях, когда они образуются на особях в количестве большем, чем одна, то и функцию размножения.

Снаружи, как уже отмечено выше, трихомы могут иметь слизистые образования – влагалища. Трихом вместе с влагалищем называют нитью. Если влагалище отсутствует, то понятия трихом и нить синонимичны, но чаще в состав нити входят один или несколько трихомов, покрытых общим слизевым чехлом.

Для синезеленых водорослей характерно *бесполое размножение: вегетативное*: деление клеток; деление колоний; гормогониями – способными к движению короткими нитями; принято выделять пер-

вичные гормогонии (образуются при прорастании спор) и вторичные (образуются путем фрагментации трихомов (рисунок 1); *собственно бесполое*: экзо- и эндоспорами.

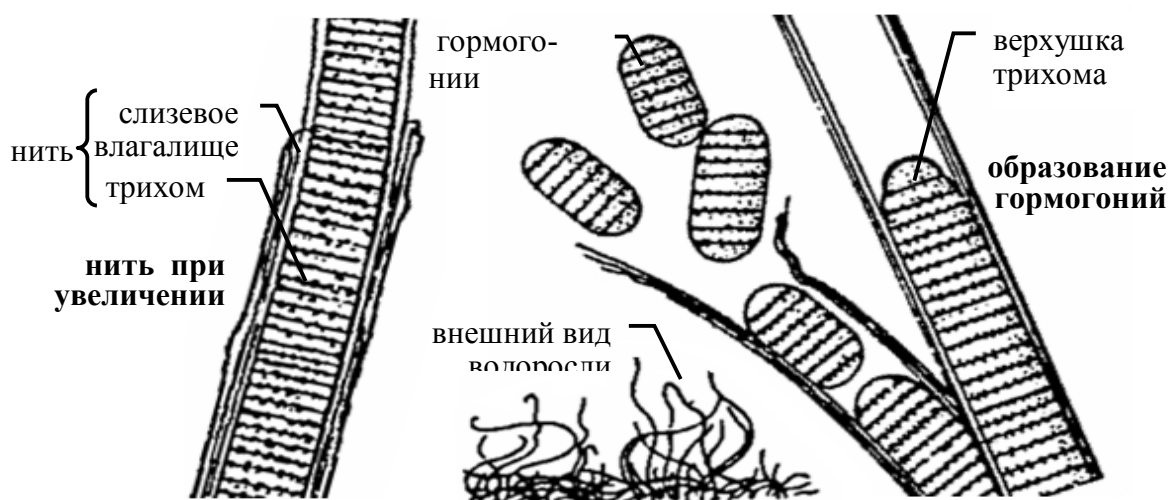


Рисунок 1 – Образование вторичных гормогоний на *Lyngbya aestuarii* [3]

Полового размножения у *Cyanophyta* не известно, но обнаружены *парасексуальные процессы*, т.е. явления, при которых происходит только частичная рекомбинация геномов разных клеток, например, трансформация.

Синезеленые водоросли распространены повсеместно: в пресных и соленых водоемах, в горячих источниках, в почве и на ее поверхности. Поскольку они единственные из фотоавтотрофных организмов способны обогащать почву азотом, часто вступают в симбиотические отношения с высшими растениями (например, с водными папоротниками рода *Azolla*), входят в состав лишайников. Служат кормом для зоопланктона и рыб, могут быть использованы для получения ряда ценных веществ (аминокислоты, витамин B<sub>12</sub>, пигменты и др.). Биомасса, образованная планктонными *Cyanophyta*, может быть причиной «цветения воды»; некоторые представители токсичны для водных животных. Интенсивное развитие синезеленых водорослей имело громадное значение для развития жизни на Земле, и не только из-за накопления ими органического вещества, но и в связи с обогащением первичной атмосферы кислородом, созданием известковых пород.

Отдел синезеленые водоросли включает 1 класс – цианофициевые (*Cyanophyceae*), который подразделяется на 4 порядка: Хроококкальные (*Chroococcales*), Осцилляториальные (*Oscillatoriales*), Ностокальные (*Nostocales*), Стигонематальные (*Stigonematales*). В настоящее время в состав данных порядков отдела *Cyanophyta* включена и небольшая группа прокариотических водорослей, содержащих в составе



пигментов и хлорофилл *b* (ранее выделялась в отдел *Prochlorophyta*). На основании результатов молекулярно генетических исследований было показано, что данный пигмент в процессе эволюции появлялся независимо друг от друга у разных видов, и выделение самостоятельного таксона *Prochlorophyta* в настоящее время считается необоснованным.

## **2 Порядок Хроококкальные (*Chroococcales*): характеристика, основные представители**

**Порядок** Хроококкальные (*Chroococcales*). Одноклеточные, чаще колониальные индивиды. Колонии свободные, разнообразной формы (шаровидные, эллипсоидные, удлинённые, кубообразные и др.), объединённые слизью, однородной либо дифференцированной на слои или разнообразные структуры. Клетки хроококкальных шаровидные, эллипсоидные, цилиндрические, прямые или разнообразно изогнутые. Наиболее распространены представители родов *Microcystis*, *Eucapsis*, *Merismopedia* и *Gloeocapsa*.

**Род** микроцистис (*Microcystis*) – микроскопические водоросли, которые состоят из большого количества одиночных клеток, расположенных в слизистых колониях неправильной формы. Колониальная слизь мягкая, не четко выражена или плотная, хорошо заметная без специального окрашивания. Клетки сферической формы, за исключением тех, которые находятся в состоянии деления, часто темно окрашены из-за наличия псевдовакуолей (газовых вакуолей). Известным представителем является микроцистис синеваато-зелёный (*Microcystis aeruginosa*) (рисунок 2), также широко распространены *M. токсичный* (*M. toxuca*), *M. «цветения» воды* (*M. flos-aquae*), *M. порошковидный* (*M. pulverea*).

**Род** глеокапса (*Gloeocapsa*) – клетки более или менее сферические, делятся в трех взаимоперпендикулярных плоскостях, способны к быстрому множественному делению, образуют слизистые колонии, состоящие из нескольких вложенных друг в друга слизистых чехлов. Представитель – глеокапса большая (*Gloeocapsa magna*) (рисунок 3).

**Род** эукапсис (*Eucapsis*) – колонии кубические, сарцинообразные, состоящие из шаровидных клеток, делящихся в трех плоскостях. В более развитом состоянии кубические группы клеток раздвигаются, образуя частичные колонии внутри общей слизи несколько деформированной при этом материнской колонии. Представитель – *Eucapsis alpina* – эвкапсис альпийский (рисунок 4).

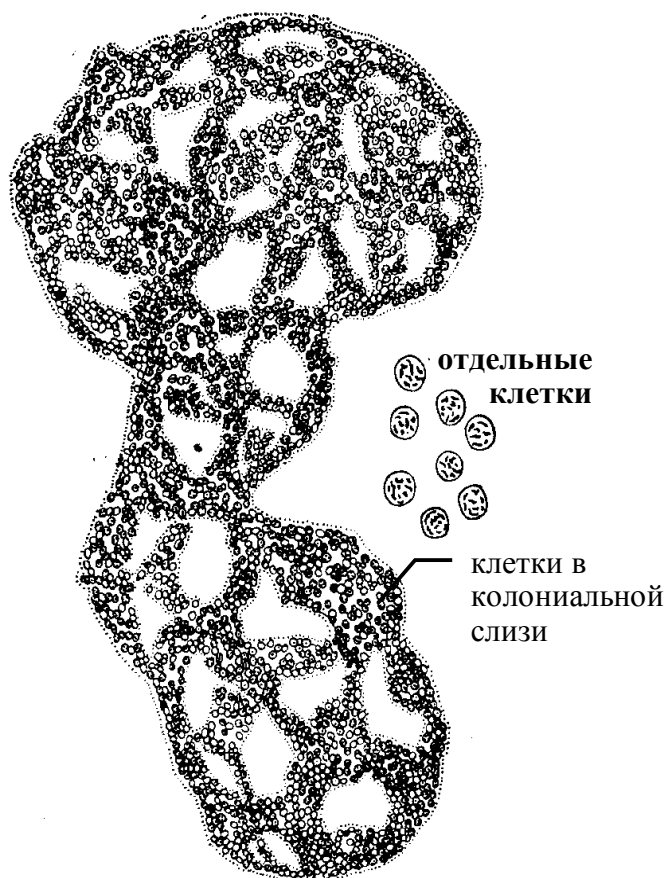


Рисунок 2 – Колония микроцистиса синевато-зеленого (*Microcystis aeruginosa*) [5]

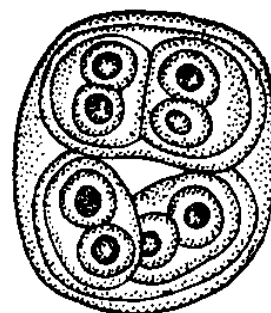


Рисунок 3 – Глеокапса большая (*Gloeocapsa magna*) [3]

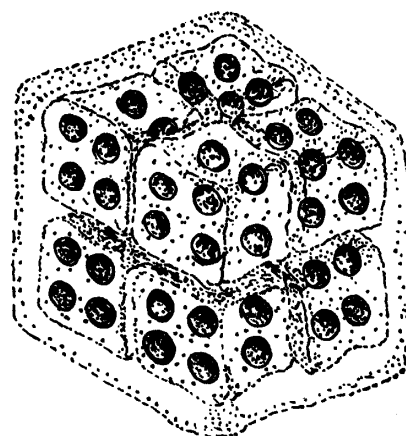


Рисунок 4 – Эвкапсис альпийский (*Eucapsis alpina*) [3]

### 3 Порядок Осцилляториальные (*Oscillatoriales*): характеристика, основные представители

**Порядок** Осцилляториальные (*Oscillatoriales*) объединяет виды, имеющие однорядные, неразветвленные, трихомы, которые состоят из одинаковых клеток, за исключением верхушечной. Гетероцисты и акинеты отсутствуют. Вегетативное размножение осуществляется в результате распада трихомов на фрагменты из нескольких клеток: подвижные (гормогонии) или неподвижные (гормоциты). Наиболее характерные представители родов *Spirulina*, *Oscillatoria*, *Lyngbya* (*Lyngbya aestuarii* (см. рисунок 1)).

**Род** спирулина (*Spirulina*) характеризуется трихомами без чехла, закрученными спирально, чаще с тесными витками (рисунок 5 А). Способны к движению, размножаются фрагментацией трихомов. Некоторые виды культивируются для получения пищевого белка.



А

Б

Рисунок 5 – Представители родов спирулина (*Spirulina*) (А) и осциллятория (*Oscillatoria*) (Б)

Представители *рода* осциллятория (*Oscillatoria*) – это микроскопические водоросли с прямым или слегка искривленным трихомом из цилиндрических, реже боченковидных клеток (рисунок 5 Б). Трихомы одиночные или собраны в дерновинки, свободноплавающие или стелющиеся по субстрату. Часто наблюдается активное движение трихомов (вращаются вокруг продольной оси, изгибаются отчасти спирально и поступательно перемещаются по субстрату; иногда наблюдается качание кончиков трихомов). Некоторые виды способны вызывать «цветение» воды.

Представители: *Oscillatoria limnetica* (О. озерная), *O. planctonica* (О. планктонная), *O. tenuis* (О. тонкая), *O. formosa* (О. стройная).

#### 4 Порядок ностокальные (*Nostocales*): характеристика, основные представители

**Порядок** Ностокальные (*Nostocales*) объединяет водоросли с гетероцитными неразветвленными трихомами. Иногда встречается ложное ветвление, при котором ветвится только слизевой чехол, в боковую ветвь которого уходит один из трихомов.

По положению в нити и строению принято выделять интеркалярные и терминальные гетероцисты. Интеркалярные – расположены между вегетативными клетками и имеют две поры на полюсах (двупоровые гетероцисты), терминальные – расположены на конце трихома, соответственно, контактируют с одной вегетативной клеткой и имеют только одну пору (однопоровые гетероцисты).

Водоросли порядка Ностокальные распространены в морях, пресноводных водоемах, почве; играют важную роль в круговороте азота, поскольку способны к фиксации его молекулярной формы (атмосферный, газообразный азот). Наиболее распространены представители родов *Anabaena*, *Nostoc* и *Gloeotrichia*.

**Род** анабена (*Anabaena*) представлен одиночными или собранными в скопления нитями. Нити симметричные, одинаковой ширины на всем протяжении, прямые или изогнутые (рисунок 6).

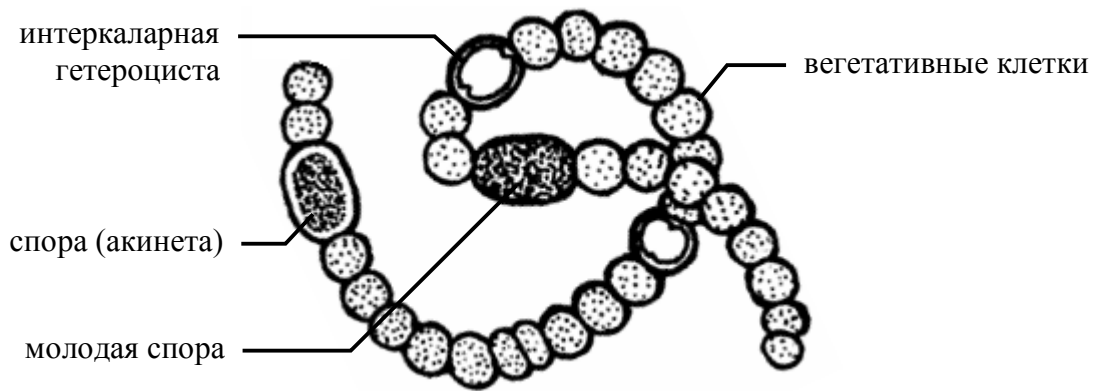


Рисунок 6 – Отдельная нить *Anabaena flos-aquae* (анабена «цветения» воды)

Размножаются гормогониями, которые растут только за счет поперечных делений клеток. Большинство видов имеет споры (акинеты), резко отличающиеся по размерам и форме от вегетативных клеток, и интеркалярные гетероцисты. Представитель: анабена «цветения воды» (*Anabaena flos-aquae*).

**Род** носток (*Nostoc*) характеризуется слизистыми или студенистыми колониями разных размеров и формы (рисунок 7). Нити наряду с вегетативными клетками содержат интеркалярные гетероцисты. Размножение – посредством гормогониев, которые возникают в результате распада нитей по гетероцистам (при этом сами гетероцисты отмирают и выпадают).

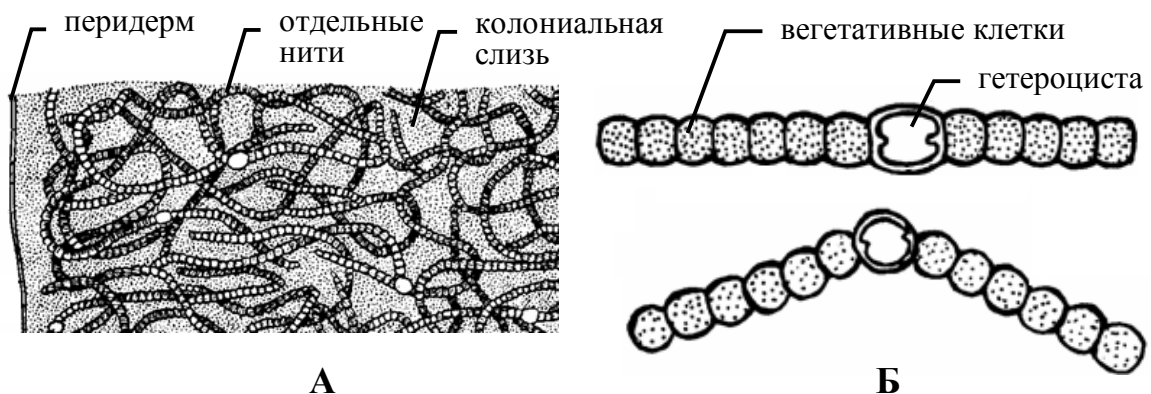


Рисунок 7 – Участок колонии (А)[3] и отдельные нити (Б) *Nostoc commune*

Гормогонии активно движутся и покидают пределы колониальной слизи, которая ко времени их формирования расплывается, а если колония покрыта наружным плотным слоем (*перидермом*), то разрывается и этот слой. Часто развиваются акинеты, которые обычно мало отличаются по форме и размерам от вегетативных клеток. Сферические колонии нередко размножаются почкованием колоний.

Наиболее крупными колониями обладает носток сливовидный (*N. pruniforme*), занесенный в Красную книгу Республики Беларусь.

**Род** глеотрихия (*Gleotrichia*) представлен особями со студенистыми талломами (рисунок 8). Нити в колониях расположены радиально. К центру обращены расширенные концы нитей с базальной гетероцистой (иногда и с акинетой), к периферии – волоски.

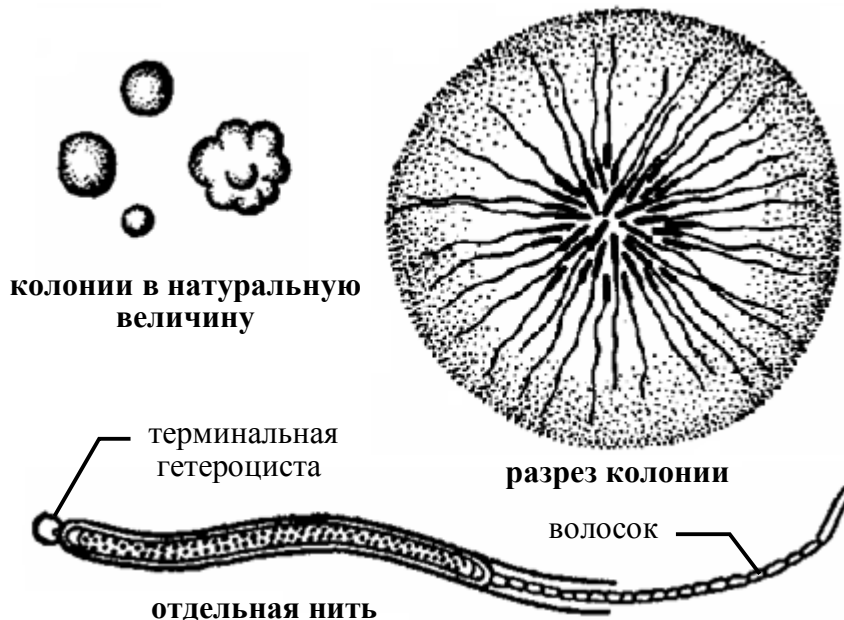


Рисунок 8 – Глеотрихия (*Gleotrichia natans*) [6]

Размножение осуществляется посредством гормогониев. В их образовании участвуют все вегетативные клетки, кроме нескольких базальных, волосок при этом отбрасывается.

Гормогонии, как правило, собраны в пучки, и молодая колония формируется за счет прорастания многих гормогониев, образующих асимметричные нити, окруженные слизью.

В **порядке** Стигонематальные (*Stigonematales*) представлены водоросли, способные к размножению гормогониями, с однорядными или многорядными гетероцитными трихомами, для которых характерно истинное ветвление. Наиболее часто встречаются представители **родов** стигонема (*Stigonema*) и гапалосифон (*Hapalosiphon*).

**Материалы и оборудование.** Склянки с водорослями, микроскопы МБР – 1Е, препаровальные иглы, чашки Петри, пинцет, предметные и покровные стекла, склянки с водой, пипетки, фильтровальная бумага, таблицы.

**Цель:** Ознакомиться с основными представителями отдела *Cyanophyta*

## Задания

1 Ознакомиться с систематическим положением объектов исследования. **Записать систематику:**

Надцарство Прокариоты – *Procaryota*

Царство Эубактерии – *Eubacteria*

Отдел Синезеленые водоросли – *Cyanophyta*

Класс Цианофициевые – *Cyanophyceae*

Порядок Хроококкальные – *Chroococcales*

Род глеокапса – *Gloeocapsa* sp.

Род микроцистис – *Microcystis* sp.

Порядок Осцилляторииальные – *Oscillatoriales*

Род осциллятория – *Oscillatoria* sp.

Порядок Ностокальные – *Nostocales*

Род носток – *Nostoc* sp.

Род анабена – *Anabaena* sp.

Род глеотрихия – *Gleotrichia* sp.

2 На предметное стекло нанести каплю из склянки с глеокапсой, накрыть покровным стеклом и рассмотреть под микроскопом при малом и при большом увеличении. **Зарисовать несколько клеток глеокапсы** внутри слизистого чехла.

3 Рассмотреть и **зарисовать общий вид колонии микроцистиса**, несколько **отдельных клеток с газовыми вакуолями**.

4 Нанести на предметное стекло каплю из склянки с осцилляторией, покрыть покровным стеклом и рассмотреть под микроскопом сначала при малом, затем при большом увеличении. **Зарисовать часть нити осциллятории** с гормогониями. Отметить цилиндрическую форму вегетативных клеток, закругленную форму верхушечных клеток, тонкую пектиновую оболочку, сильно окрашенный периферический слой цитоплазмы – хроматоплазму и более светлую центроплазму, зерна цианофицина.

5 Отделить с помощью препаровальной иглы кусочек слизи из периферической части колонии ностока, поместить его в каплю воды на предметное стекло и рассмотреть под микроскопом. **Зарисовать общий вид – части колонии** при малом увеличении и **отдельную нить** – при большом. Отметить вегетативные клетки и гетероцисты.

6 На предметное стекло нанести каплю из склянки с анабеной и рассмотреть под микроскопом при малом, а затем при большом увеличении. **Зарисовать часть нити анабены**, отметить вегетативные клетки с газовыми вакуолями, гетероцисты и акинеты.

7 Рассмотреть и *зарисовать колонию глеотрихии*. Затем разрушить ее, взять кусочек слизи и поместить в каплю воды на предметное стекло, покрыть покровным стеклом и рассмотреть при малом и большом увеличении микроскопа *нить глеотрихии, зарисовать ее*. Отметить: гетероцисту, лежащую в основании нити; постепенно суживающиеся по мере удаления от гетероцисты вегетативные клетки и бесцветный волосок у основания нити.

## Вопросы для самоконтроля

- 1 Какие растения относятся к водорослям, каковы их особенности?
- 2 Чем отличается строение клетки синезеленых водорослей от строения клетки других растений?
- 3 Какие формы организации таллома и размножения известны у представителей отдела *Cyanophyta*?
- 4 Назовите пигменты и запасные продукты, встречающиеся в клетках синезеленых водорослей.
- 5 Каковы особенности строения и функции гетероцист и акинет?
- 6 Каково значение синезеленых водорослей в природе и народном хозяйстве?
- 7 Начните заполнение таблицы 1 «Общая характеристика отделов водорослей»:

Таблица 1 – Общая характеристика отделов водорослей

Отделы водорослей	Признаки							
	Тип таллома	Строение клетки				Размножение	Распространение и значение	Основные таксоны
		Оболочка	Пигменты	Запасные вещества	Особенности			
Синезеленые ( <i>Cyanophyta</i> )								

## Занятие 2. Отдел Желтозеленые водоросли (*Xanthophyta*)

- 1 Общая характеристика отдела Желтозеленые водоросли
- 2 Характеристика порядка Вошерияльные (*Vaucheriales*), основные представители порядка
- 3 Характеристика порядка Ботридиальные (*Botrydiales*), основные представители порядка
- 4 Особенности представителей порядков Мисхококкальные (*Mischococcales*) и Трибонематальные (*Tribonematales*)

# 1 Общая характеристика отдела Желтозеленые водоросли

Желтозеленые водоросли (*Xanthophyta*) по современным представлениям – это эукариотические фотоавтотрофные страменопильные тубулокростаты. Их принадлежность к царству тубулокростаты обусловлена, в первую очередь, строением крист митохондрий: они трубчатые с базальной перетяжкой. Тубулокростаты объединяют три подцарства, различающиеся рядом морфологических и цитогенетических признаков: Амебо-флагелляты (*Amoeboflagellates*) (из водорослей представлен отдел *Chlorarachniophyta*), подцарство Альвеоляты (*Alveolates*) (из водорослей – *Dinophyta*) и подцарство Страменопилы (*Stramenopiles*). Страменопилы объединяет некоторых простейших и группы отделов Псевдогрибы и Хромофитовые водоросли. Общим для них является сходство ядерных, митохондриальных, а для водорослей, и пластидных генов. Наиболее яркий морфологический признак Страменопильных – наличие на поверхности жгутика трехчленных мастигонем (*ретронем*), образование структурных компонентов которых начинается между мембранами ядерной оболочки и в пластидной эндоплазматической сети, характерной для Хромофитовых водорослей. Их пластиды вторично эндосимбиотические, родофитного происхождения, без нуклеоморфа (четырёхмембранные, две наружные мембраны структурированы в пластидную эндоплазматическую сеть). Наряду с Желтозелеными водорослями (*Xanthophyta*) данная группа отделов объединяет Бурые (*Phaeophyta*), Диатомовые (*Bacillariophyta*), Золотистые (*Chrysophyta*), Рафидофитовые (*Raphidophyta*), Эустигматофитовые (*Eustigmatophyta*) и Диктиохофитовые (*Dictyochophyta*) водоросли. Различия между отделами заключается, в первую очередь, в строении клеточных покровов, составе пигментов и продуктов ассимиляции, строении фоторецепторного аппарата, цитоскелета, морфологии тела.

**Отдел *Xanthophyta*** включает около 600 видов одноклеточных, колониальных, многоклеточных организмов, для которых, в основном, характерны коккоидный, нитчатый, разнонитчатый и сифональный типы таллома (однако, в рамках отдела встречаются почти все типы таллома от монадного до сифонального, за исключением сифонокладального). Среди желтозеленых водорослей есть подвижные и неподвижные, прикрепленные и свободноживущие организмы, для подвижных форм и стадий (в том числе и для зооспор) характерно наличие двух жгутиков неравной длины (боковой – короткий бичевидный и передний длинный с *ретронемами*). У примитивных форм клетка одета *перипластом*, а у более высокоорганизованных представителей



имеется пектиновая или пектиново-целлюлозная, цельная или двухстворчатая *оболочка*, часто инкрустированная солями металлов (железа, кальция), кремнеземом.

В *цитоплазме* клетки находятся мелкие *ядра* (одно или много, в зависимости от типа таллома). *Митоз* закрытый, в вегетативных клетках веретено деления образуется центриолями, у зооспор при первом делении после периода активного движения – базальными телами жгутиков.

*Пластиды* вторично симбиотические, родофитного типа. Их отличительной особенностью является непосредственный переход внешней мембраны *пластидной эндоплазматической сети* во внешнюю мембрану ядерной оболочки. *Тилакоиды* группируются по три, обычно есть *опоясывающая ламелла*. Пластиды разнообразной формы: дисковидные, корытовидные, пластинчатые, реже лентовидные, звездчатые или чашевидные, иногда с пиреноидом.

Комплекс пигментов: хлорофиллы *a* и *c*,  $\beta$ -каротин, ксантофиллы (преимущественно диатоксантин и диадиноксантин, у некоторых имеются специфические ксантофиллы – гетероксантин и вошерииоксантин и ксантофиллы лютеинового ряда, например, неоксантин), фукоксантин отсутствует. Комбинации этих пигментов придают клетке чаще желто-зеленую, светло- или темно-желтую окраску, реже зеленую, у некоторых – голубую; встречаются и бесцветные формы. Запасные продукты – *хризоламинарин*, при старении – *масла*. У подвижных форм отмечена стигма. У некоторых монадных форм в переднем конце клетки есть одна или две *пульсирующие вакуоли*.

Размножение желтозеленых водорослей осуществляется преимущественно бесполом путем. Бесполое *вегетативное размножение* осуществляется продольным делением клеток, фрагментацией таллома или отчленением отдельных клеток таллома, выводковыми почками, акинетами. Часто представлено *бесполое размножение* с помощью разнообразных специализированных клеток: амeboидов, апланоспор, зооспор и синзооспор, гемизооспор и гемиавтоспор, автоспор и синавтоспор. Типичная зооспора на переднем конце или сбоку имеет два жгутика: более *длинный* – *перистый*, покрыт ретронемами, выполняет двигательную функцию, более *короткий* – *гладкий*, рулевой, может быть редуцирован. При неблагоприятных условиях у некоторых видов образуются *покоящиеся цисты* с толстой насыщенной кремнеземом оболочкой и с богатым запасом питательных веществ. Иногда желто-зеленые водоросли переживают неблагоприятные условия в *пальмеллевидном состоянии*.

Половой процесс (оогамного типа) хорошо изучен лишь у видов рода *Vaucheria*, жизненный цикл которых диплофазный, с гаметической редукцией и без смены поколений. У некоторых желтозеленых известны *изо-* и *гетерогамный* половые процессы.

Желтозеленые водоросли распространены в пресноводных, реже соленых водоемах, почве, в наземных местообитаниях (включая толщу воздуха). Представители отдела *Xanthophyta* являются продуцентами кислорода и органических веществ, участвуют в самоочищении загрязненных вод и почв, почвообразовательных процессах, входят в состав цепей питания. Могут вступать в симбиотические отношения, вплоть до внутриклеточных (*Мухочлорис* со сфагновыми мхами, хлоропласты *Vaucheria litorea* с моллюском *Elisia chlorotica*, лишайники рода *Verrucaria* в качестве фотобионта могут содержать водоросли из рода *Heterococcus*). Хозяйственное значение желтозеленых определяется их использованием в качестве показательных организмов в системе экологического мониторинга, в составе комплекса микроорганизмов, осуществляющих очистку сточных вод.

Отдел желтозеленые водоросли включает один класс Ксантофициевые (*Xanthophyceae*), который подразделяется на четыре порядка: Вошерияльные (*Vaucheriales*), Ботридиальные (*Botrydiales*), Мисхококкальные (*Mischococcales*) и Трибонематальные (*Tribonematales*). Класс Эустигматофициевые водоросли, ранее включаемый в отдел *Xanthophyta*, на основании особенностей строения (многокомпонентный фоторецепторный аппарат) и пигментного состава (отсутствие хлорофилла *c* и ксантофиллов диатоксантинового ряда) в настоящее время выделен в самостоятельный отдел Эустигматофитовые (*Eustigmatophyta*).

## **2 Характеристика порядка Вошерияльные (*Vaucheriales*), основные представители порядка**

**Порядок** Вошерияльные (*Vaucheriales*) объединяет виды с сифональным типом структуры таллома нитевидной формы, неограниченным ростом и цельными целлюлозно-пектиновыми оболочками. Бесполое размножение осуществляется с помощью синзооспор, половой процесс – оогамия. Порядок включает один **род** – вошерия (*Vaucheria*). Таллом вошерии – неправильно и редко ветвящиеся нити с бесцветными ризоидами (рисунок 9). Центральную часть занимает вакуоль с клеточным соком. В постенном слое цитоплазмы расположены дисковидные хроматофоры без пиреноидов и ядра.

**БЕСПОЛОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ**

**ПОЛОВОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ**

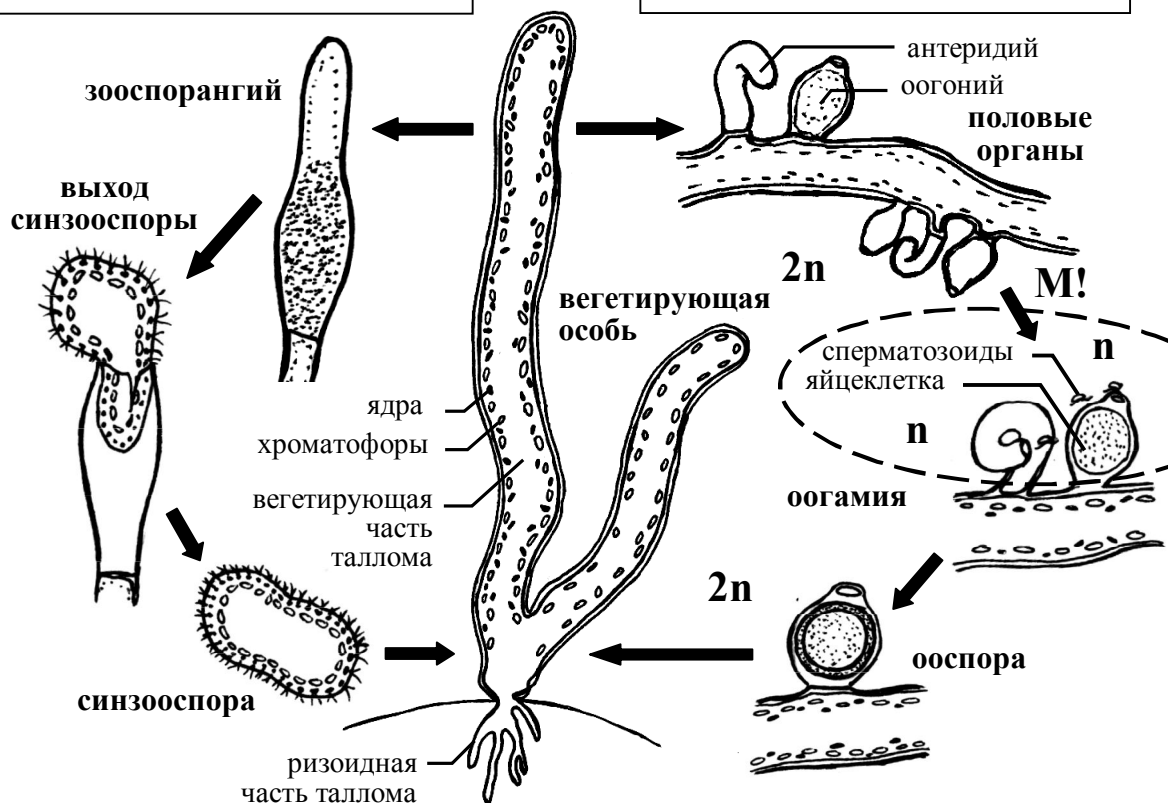


Рисунок 9 – Схема жизненного цикла представителей рода вошерия (*Vaucheria*)

**Жизненный цикл.** Бесполое размножение осуществляется многожгутиковыми многоядерными зооспорами (синзооспорами). Напротив каждого ядра располагается пара почти одинаковых по длине жгутиков (более длинный, тем не менее, покрыт ретронемами). Образование синзооспор происходит в спорангиях, которые отчленяются перегородкой на концах нитей. Содержимое этих участков становится густым и темным и превращается в одну крупную подвижную спору.

Половое размножение у вошерии оогамное. На диплоидном талломе отчленяется антеридий и около него – один или несколько оогониев. Внутри гаметангиев происходит редукционное деление, и образуются гаплоидные яйцеклетки и сперматозоиды. При созревании яйцеклетки на носике оогония выделяется капля содержимого, привлекающего сперматозоиды. Сперматозоиды по строению напоминают разножгутиковые зооспоры, но поверхность обоих жгутиков лишена ретронем. Один из сперматозоидов через трещину в оболочке оогония проникает к яйцеклетке и оплодотворяет ее. Зигота покрывается толстой оболочкой и переходит в состояние покоя. После завершения периода покоя зигота прорастает в новый таллом.

### 3 Характеристика порядка ботридиальные (*Botrydiales*), основные представители порядка

*Порядок* Ботридиальные (*Botrydiales*) включает водоросли сифональной структуры, с ограниченным ростом и цельной пектиновой оболочкой. Центральную часть таллома занимает одна крупная или несколько мелких вакуолей с клеточным соком (рисунок 10). Представители – ботридиум (*Botrydium*) и ботридиописис (*Botrydiopsis*).

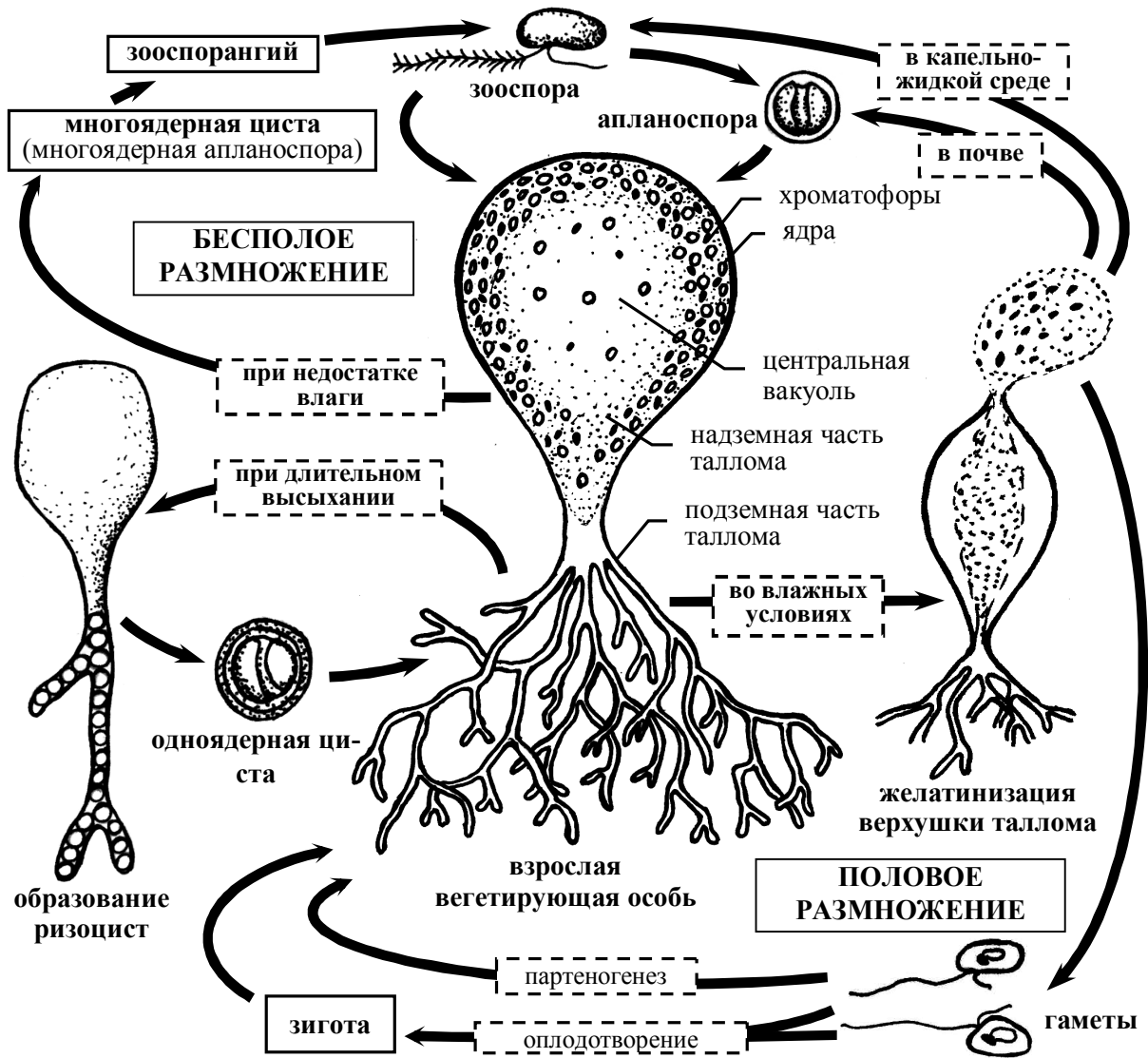


Рисунок 10 – Схема жизненного цикла представителей рода ботридиум (*Botrydium*)

*Род* ботридиум объединяет наземные прикрепленные сифональные водоросли шаровидной или булавовидной формы. Клетка покрыта пектиновой оболочкой, которая пропитывается известью и с возрастом грубеет. Надземная часть с крупной центральной вакуолью, многочисленными ядрами и хроматофорами. Подземная часть состо-

ит из дихотомически разветвленных бесцветных ризоидов.

**Жизненный цикл.** Размножается ботридиум, в основном, бесполом путем: апланоспорами и зооспорами, типичного для разножгутиковых строения, которые образуются в надземной части таллома. Зооспоры образуют новый таллом непосредственно или через стадию апланоспоры. При недостаточном увлажнении почвы содержимое надземной части таллома идет на образование одной многоядерной крупной цисты (многоядерной апланоспоры), которая при восстановлении влажности преобразуется в зооспорангий с зооспорами. При длительном высыхании все содержимое таллома перемещается в ризоиды и распадается на покрытые плотной оболочкой одноядерные цисты (ризоцисты), прорастающие в новые особи с наступлением благоприятных условий. Половой процесс изо- или гетерогамный, но специальные половые органы не образуются. Возможно партеногенетическое прорастание гамет. Вопрос о чередовании ядерных фаз и месте мейоза в жизненном цикле окончательно не изучен.

Представители *рода* ботридиописис (*Botrydiopsis*) имеет более мелкие клетки (до 0,1 мм) сферической формы с многочисленными пристенными хроматофорами и несколькими десятками ядер. В центре клетки находится вакуоль с клеточным соком. Размножаются зооспорами или одноядерными апланоспорами. Встречаются в лесных и тундровых почвах, в грунтах высокогорных и полярных пустынь.

#### **4 Особенности представителей порядков мисхококкальные (*Mischococcales*) и трибонематальные (*Tribonematales*)**

**Порядок** Мисхококкальные (*Mischococcales*) объединяет одноклеточные водоросли с цельными пектиновыми оболочками. Примитивные представители имеют коккоидный тип структуры таллома, более высокоорганизованные – гетеротрихальную. Наиболее известны представители родов харациопсис (*Characiopsis*) и гетерококк (*Heterococcus*).

**Род** харациопсис (рисунок 11А) включает водоросли, которые прикрепляются к подводным субстратам с помощью коротких или длинных ножек, образованных клеточной оболочкой. Размножаются зооспорами.

Представители *рода* гетерококк (рисунок 11Б) характеризуются гетеротрихальным типом таллома, обитают преимущественно в наземных условиях.

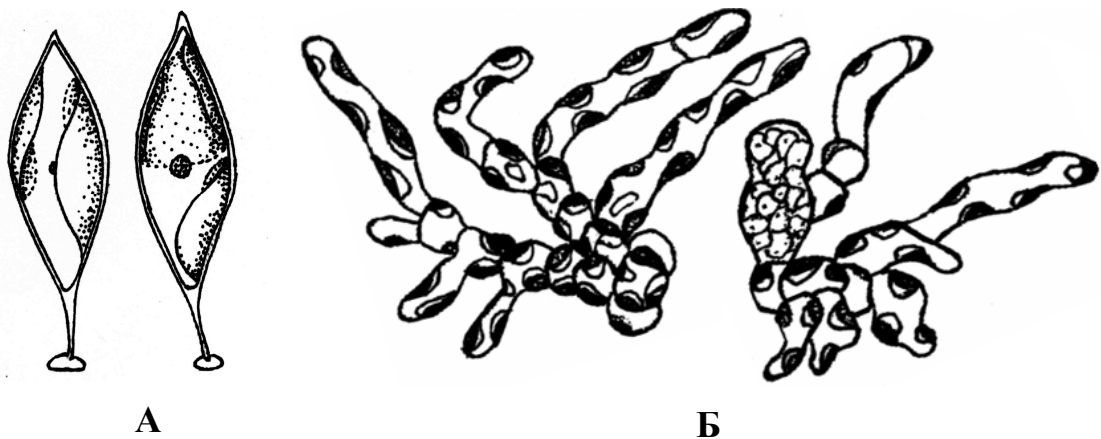


Рисунок 11– Представители родов харациопсис (*Characiopsis*) (А) и гетерококк (*Heterococcus*) (Б)

**Порядок** Трибонематальные (*Tribonematales*) включает разнообразные водоросли с двухстворчатыми клеточными оболочками. Наиболее характерны представители **рода** трибонема (*Tribonema*) с нитчатой структурой таллома (рисунок 12).

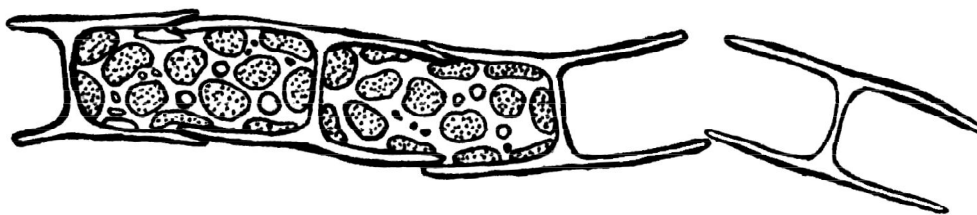


Рисунок 12 – Трибонема (*Tribonema*)

Оболочка клеток состоит из двух одинаковых половинок, которые краями накладываются одна на другую, половинки соседних клеток срастаются створками, поэтому при фрагментации нитей (вегетативное размножение) на верхушках дочерних клеток и в воде вокруг нитей видны характерные Н-образные образования. Бесполое размножение происходит апланоспорами, зооспорами, могут формироваться акинеты (покоящиеся споры). Известны представители с изогамным половым процессом.

**Материалы и оборудование.** Склянки с водорослями, микроскопы МБР – 1Е, постоянные препараты, препаровальные иглы, чашки Петри, пинцет, предметные и покровные стекла, склянки с водой, пипетки, фильтровальная бумага, таблицы.

**Цель:** Ознакомиться с представителями отдела Желтозеленые водоросли. Изучить особенности их жизненных циклов

## Задания

1 Ознакомьтесь с систематическим положением объектов исследования. **Записать систематику:**

Надцарство Эукариоты – *Eucaryota*

Царство Тубулокрестаты – *Tubulocristates*

Отдел Желтозеленые водоросли – *Xanthophyta*

Класс Ксантофициевые – *Xanthophyceae*

Порядок Вошерияльные – *Vaucheriales*

Род вошерия – *Vaucheria* sp.

Порядок Ботридиальные – *Botrydiales*

Род ботридиум – *Botrydium* sp.

Порядок Мисхококкальные – *Mischococcales*

Род гетерококк – *Heterococcus* sp.

Порядок Трибонематальные – *Tribonematales*

Род трибонема – *Tribonema* sp.

2 Рассмотреть под микроскопом и **зарисовать нить вошерии** (можно использовать постоянные препараты). Отметить ветвистость наземной части таллома и ризоидальную часть. Также найти и **зарисовать: 1) органы полового размножения вошерии** – оогонии и антеридии; **2) зооспорангий с выходящей из него зооспорой.**

3 Приготовить препарат ботридиума и при малом увеличении изучить его строение. **Зарисовать: 1) внешний вид водоросли**, отметив при этом наземную пузырчатую часть, бесцветные ризоиды, хроматофоры, вакуоль; **2) строение зооспоры ботридиума.**

4 Рассмотреть и зарисовать строение типичных представителей порядков **Мисхококкальные** (гетерококк) **и Трибонематальные** (трибонема).

## Вопросы для самоконтроля

1 Какие особенности характерны для Желтозеленых водорослей?

2 Охарактеризуйте порядки водорослей отдела *Xanthophyta*, назовите основных представителей.

3 Приведите систематическое положение ботридиума, охарактеризуйте особенности его строения и размножения.

4 Опишите строение и жизненный цикл вошерии.

5 Каково значение и распространение Желтозеленых водорослей?

6 Продолжите заполнение таблицы 1 «Общая характеристика отделов водорослей» (отделы *Xanthophyta*).

## Занятие 3. Отдел Бурые водоросли (*Phaeophyta*)

- 1 Общая характеристика отдела Бурые водоросли
- 2 Принципы систематики и жизненные циклы наиболее характерных представителей

### 1 Общая характеристика отдела Бурые водоросли

Подавляющее большинство из около 2000 видов представителей *отдела* Бурые водоросли (*Phaeophyta*) – морские, макроскопические организмы (рисунок 13).



Рисунок 13 – Некоторые высокоорганизованные бурые водоросли (*Phaeophyta*) [3]

В настоящий момент известно только восемь пресноводных видов, однако, ввиду их малых размеров и редкой встречаемости, они остаются слабо изученной группой.

Наиболее просто организованные талломы представлены однорядными беспорядочно ветвящимися нитями, иногда формирующими кустистые формы, основанием которых служат стелющиеся ризоиды (порядок *Ectocarpales*). У высокоорганизованных бурых водорослей талломы дифференцированы (тканевые) и напоминают высшие растения (*Laminaria*, *Sargassum*, *Fucus*). У них имеются корневидные, стеблевидные и листовидные части, некоторые крупные представители имеют воздушные пузыри, удерживающие ветви в вертикальном положении. В таких слоевищах наблюдается специализация клеток с образованием *тканей* (ассимиляционная, запасная, механическая и



проводящая) (рисунок 14). В простейшем случае в талломе различают кору и сердцевину. У более сложно организованных бурых водорослей (*Laminariales*) в коре выделяют *меристодерму* (делящуюся покровную ткань), в центральной бесцветной части – промежуточный слой и сердцевину. Сердцевина выполняет механическую функцию и функцию транспорта продуктов фотосинтеза. Транспортная функция осуществляется с помощью *ситовидных трубок* или трубчатых нитей. Часть трубчатых нитей идет поперек слоевища от клеток промежуточного слоя, другие ориентированы по длинной оси слоевища, при этом клетки последних очень длинные и узкие, и только у поперечных перегородок они воронкообразно расширены. В перегородках трубчатых нитей находятся поры, а сами перегородки называются *ситовидными пластинками*.

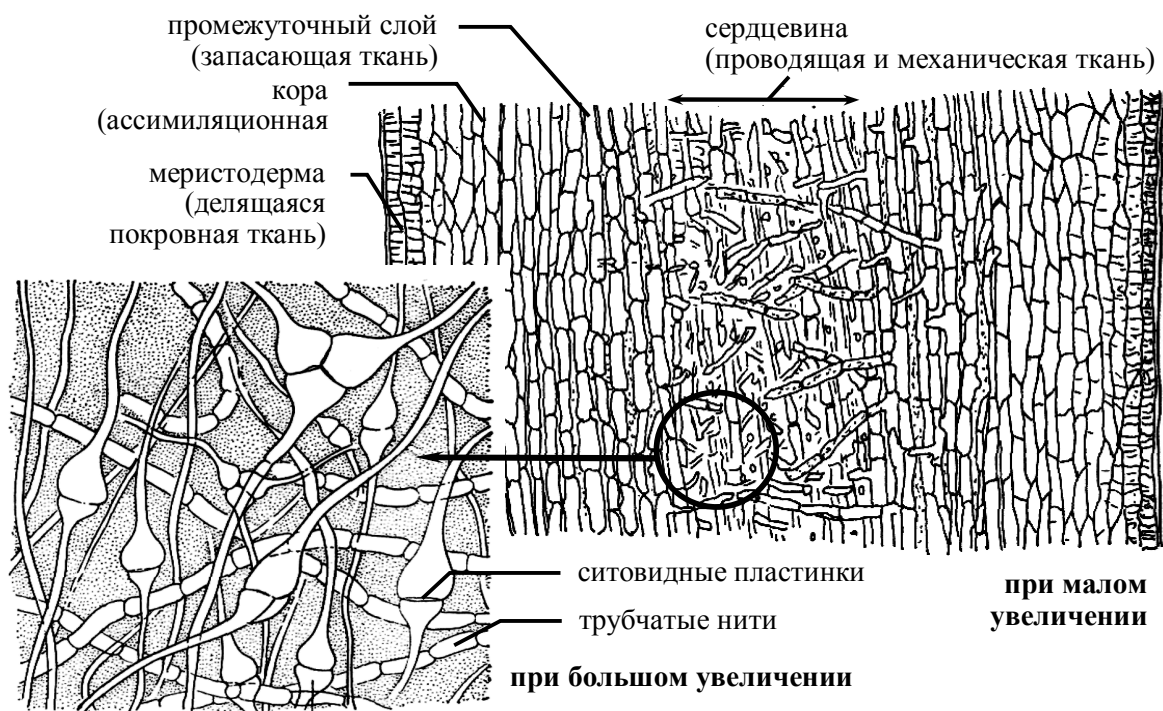
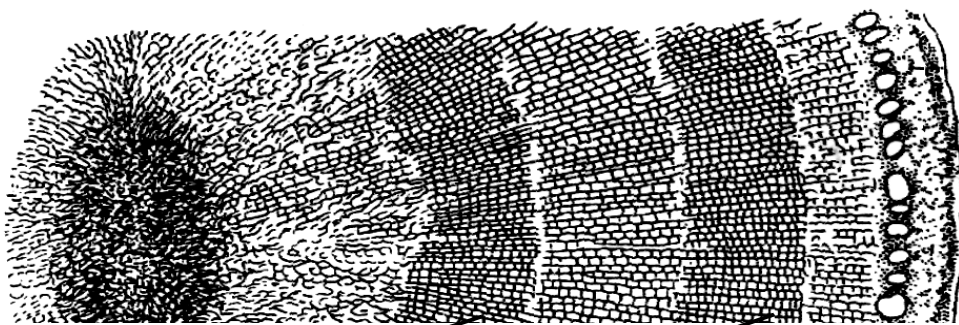


Рисунок 14 – Продольный разрез слоевища ламинарии (*Laminaria*) [3, 6]

Среди бурых водорослей имеются виды с однолетними и многолетними талломами. Многолетние бывают нескольких типов. У одних таллом целиком многолетний, ежегодно отмирают только побеги, на которых развивались органы размножения (*Fucus*). У других многолетними являются осевая часть и органы прикрепления (*Laminaria*). У третьих многолетний только базальный диск, а остальная часть таллома ежегодно отрастает вновь (*Sargassum*).

Увеличение слоевищ спорофитов в длину, в основном, обеспечивается деятельностью *интеркалярной зоны*, которая расположена в

основании пластинчатой части слоевища, на вершине ствола (в более просто организованном нитчатом талломе может одновременно присутствовать как интеркалярный, так и верхушечный рост). В разветвленном талломе интеркалярная зона имеется в основании каждой пластины. Интеркалярная зона не имеет четкой границы, деление клеток слоевища происходит и на некотором расстоянии от нее. Наибольшая скорость роста таллома наблюдается у ламинариевых (до 10 – 13,5 см в сутки), но с ростом таллома одновременно происходят процессы разрушения его верхушки. Многолетние органы периодически нарастают в толщину за счет деления клеток коры, что приводит к формированию концентрических слоев, напоминающих годовые кольца высших растений (рисунок 15).



«годовые кольца»

Рисунок 15 – Поперечный срез двулетнего стебля ламинарии (*Laminaria*) [6]

Оболочка клеток бурых водорослей двухслойная. Внутренний слой целлюлозный, однако, целлюлоза бурых водорослей несколько отличается по свойствам от целлюлозы цветковых растений, и потому ее называют *альгулезой*. Внешний слой пектиновый, обычно состоит из белковых комплексов с альгиновой кислотой и ее солями. Благодаря такому строению оболочка бурых водорослей может набухать, превращаясь в слизистую массу иногда значительного объема.

*Ядро* в клетке одно, типично эукариотического строения. *Митоз* полузакрытый, веретено деления формируется центриолями.

Окраска талломов от желтовато-бурой до почти черной, обусловленной своеобразным набором пигментов (хлорофиллы *a* и *c*,  $\beta$ - и  $\epsilon$ -каротины, а также несколько ксантофиллов – фукоксантин, виолаксантин, антраксантин и зеаксантин), среди которых наиболее специфичным является фукоксантин интенсивно бурого цвета. *Пластиды* вторично симбиотические родофитного типа, покрыты четырьмя мембранами. Две наружные мембраны структурированы в *пластидную эндоплазматическую сеть*, которая непосредственно переходит в ядерную оболочку. Две внутренние мембраны образуют собственно

оболочку хлоропласта. Между второй и третьей мембранами есть *перипластидное пространство*. *Тилакоиды* внутри пластид расположены по три, имеется *опоясывающая ламелла*. Пластиды большей частью многочисленные, мелкие, дисковидные, реже лентовидные или пластинчатые. *Пиреноиды* характерны не для всех представителей. У подвижных стадий в пластиде имеется *стигма*. Запасные вещества (*ламинарин*, реже обнаруживаются *масла* и многоатомные спирты (например, *маннит*)) откладываются за пределами пластид. Митохондриальный аппарат представлен разветвленным *митохондрионом*, внутренняя мембрана которого структурирована в трубчатые кристы.

Для бурых водорослей характерно бесполое и половое размножение. *Вегетативное размножение* специализированными выводковыми почками характерно только для некоторых бурых водорослей (род *Sphacelaria*). Вегетативное размножение путем фрагментации таллома нельзя считать безусловным. Оторвавшиеся участки талломов продолжают вегетацию только при попадании в наиболее благоприятные условия, не образуя при этом новых органов размножения. Исключением являются саргассовые водоросли (род *Sargassum*), обитающие в открытых акваториях Атлантического океана. *Бесполое размножение* у большинства бурых водорослей происходит с помощью разножгутиковых зооспор (жгутики прикреплены с брюшной стороны, двигательный направлен вперед, покрыт ретронемами, рулевой жгутик гладкий, направлен назад), у отдельных – неподвижными спорами, которые по количеству их в спорангии называются тетраспорами или моноспорами. *Половой процесс* *изо-, гетеро- и оогамный*.

Жизненный цикл гаплодиплофазный с чередованием поколений (изоморфным или гетероморфным, с регулярной или нерегулярной сменой поколений) или диплофазный без смены поколений.

Бурые водоросли являются основным поставщиком органического вещества в прибрежных экосистемах морей и океанов, макроскопические представители способны формировать подводные леса и плантации, что массово используется человеком. Бурые водоросли и продукты их переработки (*альгинаты, маннит, фукоидаты, йод*) нашли применение в сельском хозяйстве (кормопроизводство и производство удобрений), в пищевой, текстильной, целлюлозно-бумажной промышленности, в металлургии и радиоэлектронике. Изучается возможность их переработки в метан. В медицине они применяются не только как наполнители таблеток и гели-носители, но и как самостоятельные препараты (кровоостанавливающие субстанции, сорбенты). Исследуются их противоопухолевые и противовирусные свойства.

## 2 Принципы систематики и жизненные циклы наиболее характерных представителей

Отдел включает один *класс* Феофициевые (*Phaeophyceae*) и восемь порядков. Деление на порядки осуществляется по следующим признакам: наличие пиреноида и его строение, особенности размножения, наличие зооспор, тип полового процесса, особенности протекания жизненного цикла. Наиболее характерные порядки отдела бурые водоросли: Эктокарпальные (*Ectocarpales*), Диктиотальные (*Dicthyotales*), Ламинариальные (*Laminariales*) и Фукальные ил Фукусовые (*Fucales*). Разнообразие жизненных циклов можно рассмотреть на примере одноименных представителей данных порядков.

*Род* эктокарпус (*Ectocarpus*) характеризуется талломом в виде желтовато-бурых кустиков, достигающих в длину нескольких сантиметров (иногда до 30 см и более). Талломы состоят из стелющихся нитей, от которых отходят вертикальные, обильно ветвящиеся, однорядные нити. Рост нитей у большинства видов диффузный, лишь у некоторых обособливается интеркалярная зона деления у основания боковых веточек (волосков). Еще реже встречается верхушечный рост. Ввиду этого длина клеток в нитях неодинакова: более молодые клетки – более мелкие. Прикрепление талломов осуществляется ризоидами, которые у крупных экземпляров образуют своеобразную кору у основания ветвей. К вершине ветвей клетки сужаются и заканчиваются длинным бесцветным волоском. Эти водоросли произрастают на скалах или на других водорослях и встречаются во всех морях мира, предпочитая холодные воды Севера. Размножаются бесполом и половым путем.

В **жизненном цикле** наблюдается нерегулярная изоморфная смена поколений (рисунок 16). Гаметофит и спорофит одинаковы по размерам и строению, но гаметофит гаплоидный и образует только многогнездные гаметангии, где формируются морфологически одинаковые гаметы. Половой процесс – изогамия, но гаметы отличаются поведением: одни теряют подвижность (женские) и выделяют вещество, привлекающее другие (мужские) гаметы. После оплодотворения из зиготы вырастает диплоидный спорофит. На спорофите при температуре выше 20°C образуются только нейтральные многогнездные спорангии, где без редукционного деления формируются диплоидные зооспоры, прорастающие в еще одно диплоидное поколение (спорофит). В диапазоне температур от 13 до 20°C образуются и гаплоидные и диплоидные зооспоры. При температуре ниже 13°C развиваются

только одногнездные спорангии, в которых происходит редукционное деление, что приводит к формированию гаплоидных зооспор. Они прорастают в гаплоидные гаметофиты

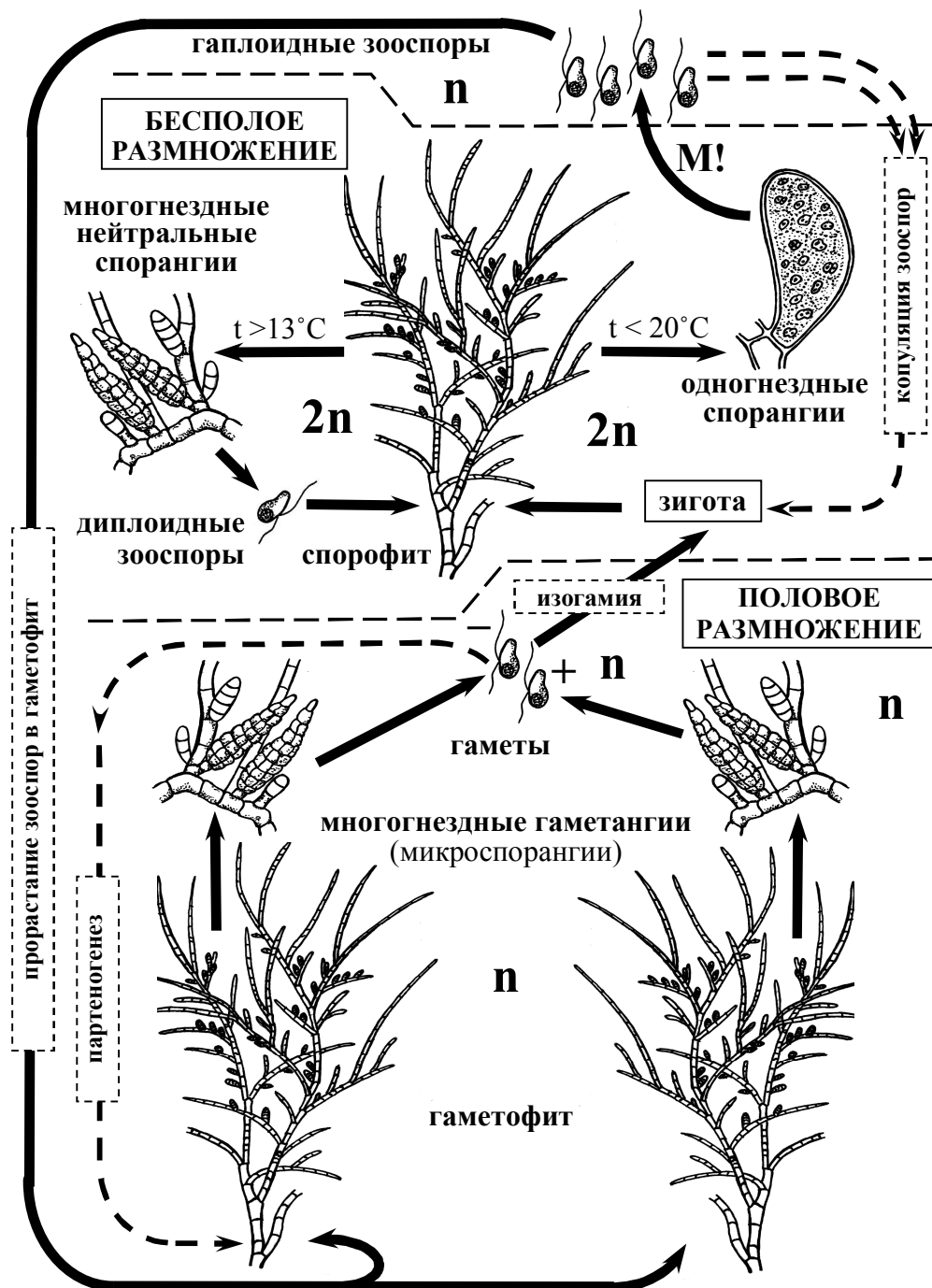


Рисунок 16 – Схема жизненного цикла представителей рода эктокарпус (*Ectocarpus*)

Часто наблюдаются дополнительные отклонения от регулярной смены поколений (на схеме – пунктирные стрелки). Гаметы, образованные на гаметофите, могут функционировать как зооспоры и партеногенетически (без оплодотворения) прорасти в еще одно гапло-

идное поколение. Поэтому многогнездные гаметангии также называются микроспорангиями. Кроме того, гаплоидные зооспоры, образующиеся на спорофите, могут вести себя как гаметы и попарно копулировать с образованием зиготы и, соответственно, диплоидного растения. Иногда, в дополнение к гаплоидным и диплоидным, наблюдается спонтанное появление и тетраплоидных генераций.

Регулярное чередование поколений наблюдается в жизненном цикле представителей *рода* диктиота (*Dictyota*) (рисунок 17).

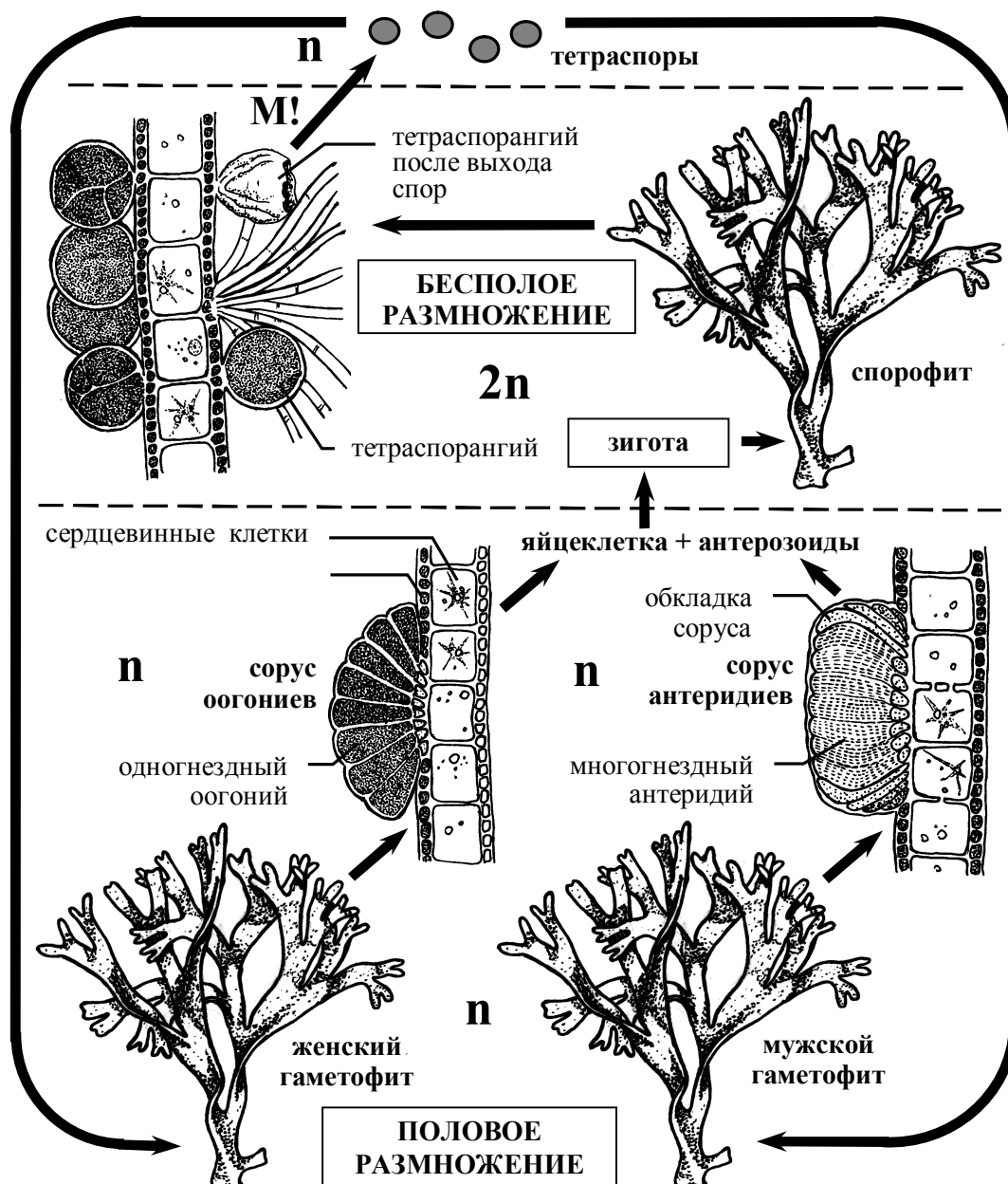


Рисунок 17 – Схема жизненного цикла представителей рода диктиота (*Dictyota*)

Их таллом представляет собой трехслойное лентовидное образование с моноподиальным ветвлением. Однако, вследствие быстрого

роста боковых ветвей, складывается впечатление дихотомического ветвления. Таллом развивается из цилиндрического ризома, прикрепленного к субстрату ризоидами. Внутренний слой таллома состоит из крупных сердцевинных клеток, бесцветных с немногими хроматофорами. С обеих сторон располагаются по слою клеток «коры», более мелких с многочисленными хроматофорами.

**Жизненный цикл.** На диплоидном спорофите диктиоты из поверхностных клеток «коры» развиваются шаровидные спорангии, где путем редукционного деления образуются по четыре неподвижные крупные тетраспоры. Тетраспоры прорастают в гаплоидный гаметофит. Диктиота – растение двудомное. Несмотря на однородность тетраспор, из них формируются мужские гаметофиты с сорусами антеридиев и женские гаметофиты с сорусами оогониев (группы оогониев). Антеридии имеют вид многокамерных вместилищ, в каждой камере которых формируется по одному одножгутиковому сперматозоиду (антерозоиду). Антеридии собраны в группы (сорусы антеридиев), которые покрыты обкладкой. Одногнездные оогонии (также собранные в сорусы, но без обкладки) образуют по одной яйцеклетке в каждом. Она выпадает из гаметангия, и в воде оплодотворяется антерозоидом. Образовавшаяся зигота покрывается оболочкой, и без периода покоя прорастает в спорофит.

**Род** ламинария (*Laminaria*) или морская капуста имеет паренхиматозный тип таллома, здесь появляются настоящие ткани; в жизненном цикле наблюдается гетероморфное чередование поколений.

**Жизненный цикл.** Спорофит представляет собой листовидное слоевище с плотным стеблевидным черешком, прикрепленное к субстрату мощными когтевидными ризоидами. Листовая часть ежегодно сбрасывается и вырастает вновь за счет деятельности меристематических клеток, находящихся между черешком и пластинкой. На поверхности листовидной пластины формируются сорусы, состоящие из парафиз и зооспорангиев. Оболочка парафиз на вершине сильно ослизняется, образуя своеобразный толстый слизистый колпачок. Слизистые колпачки соседних парафиз смыкаются, благодаря чему получается сплошной толстый слой слизи, защищающий сорус. В зооспорангии развивается в зависимости от вида по 16-128 одинаковых зооспор. Первое деление ядра редукционное (рисунок 18).

Зооспоры выходят из зооспорангия, недолго поплавав, останавливаются и прорастают в микроскопические раздельнополюе нитевидные гаметофиты (заростки). Мужской – ветвящийся с одноклеточными антеридиями, в каждом из них созревает по одному сперматозои-

ду. Женский заросток состоит из нескольких клеток, образующих короткую нить, он формируется в более благоприятных условиях. Половой процесс оогамный. Созревшая в оогонии яйцеклетка выходит и закрепляется на его верхнем конце. В таком положении и происходит оплодотворение, после которого зигота без периода покоя прорастает в спорофит. Таким образом, женский гаметофит обеспечивает место прикрепления будущего спорофита.

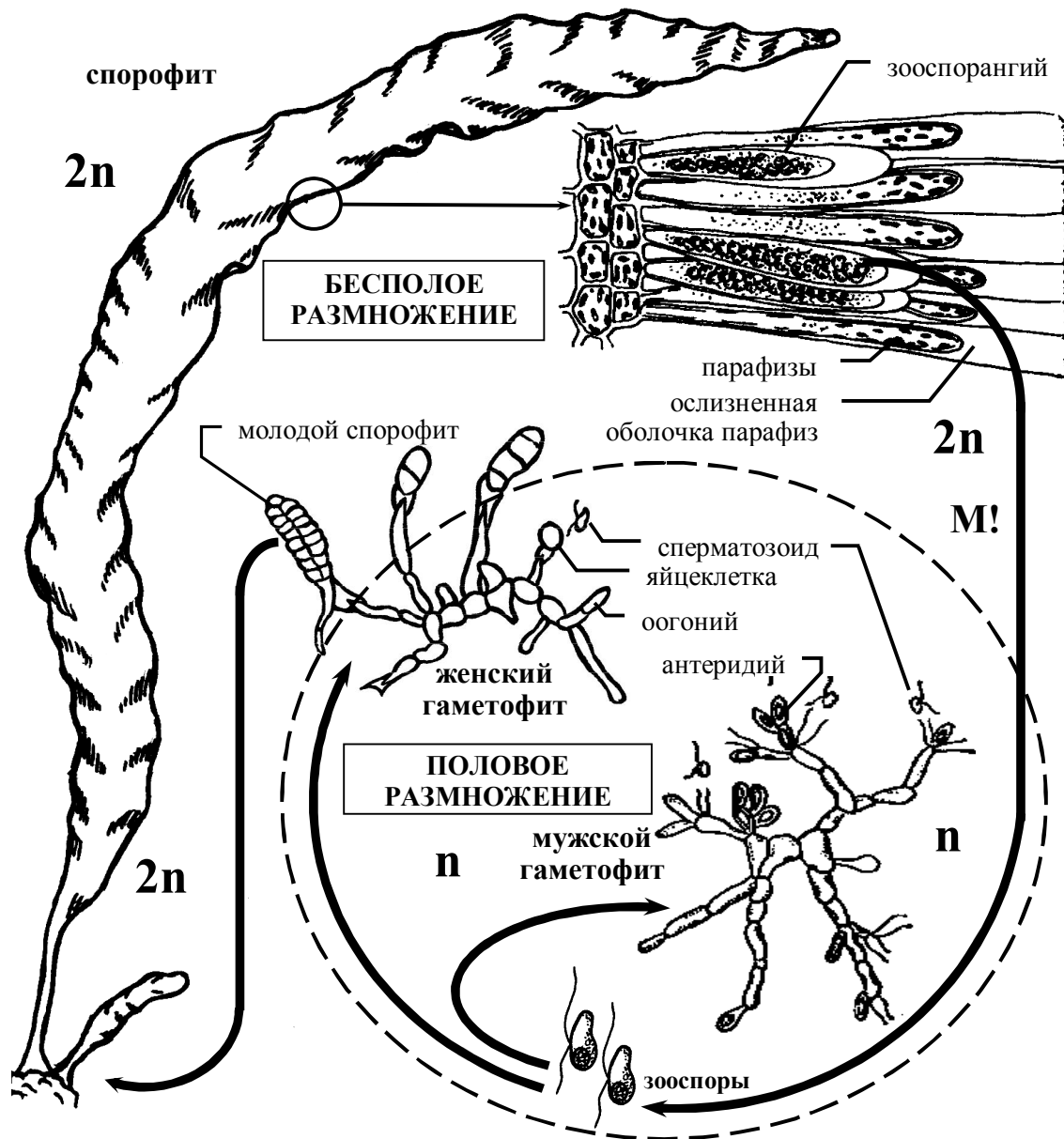


Рисунок 18 – Схема жизненного цикла представителей рода ламинария (*Laminaria*)

К бурым водорослям, не имеющим смены поколений и характеризующимся только сменой ядерных фаз, относятся представители **рода**



фукус (*Fucus*). Их талломы ремневидные, дихотомически разветвленные, до 1 м длиной и до 5 см шириной (рисунок 19).

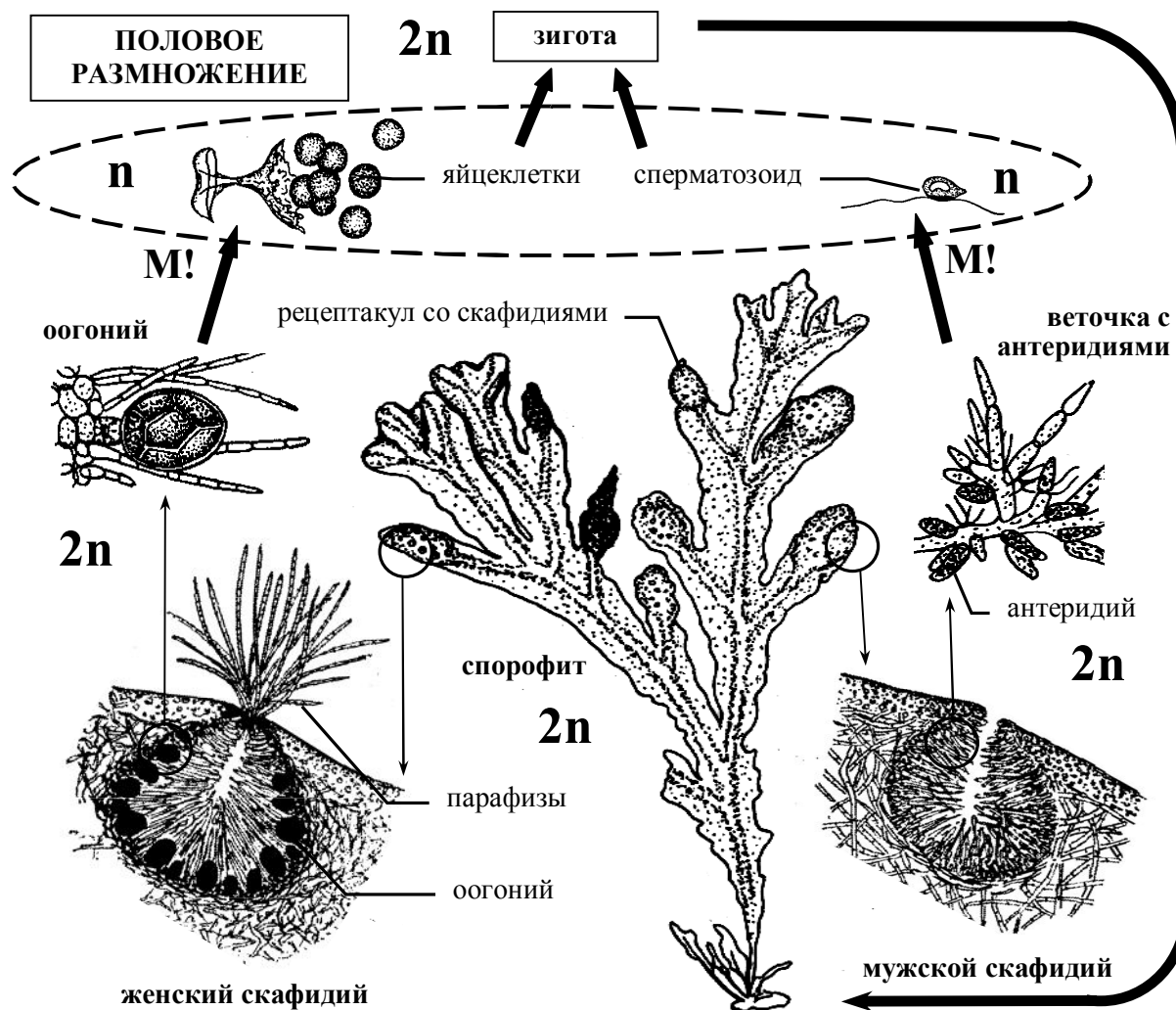


Рисунок 19 – Схема жизненного цикла представителей рода фукус (*Fucus*)

По середине таллома проходит толстая средняя жилка, которая в нижней части переходит в короткий стволик с подушкообразно расширенным основанием (базальным диском), с помощью которого и происходит прикрепление к субстрату. В верхней части многих видов по бокам жилок имеются воздушные пузыри, удерживающие талломы в вертикальном положении.

**Жизненный цикл.** Нормальное воспроизведение фукуса возможно только половым путем. На концах ветвей образуются вздутия (рецептакулы), в которых образуются скафидии – вместилища половых органов. Скафидии могут быть мужские и женские. Между оогониями в женском скафидии имеются парафизы, которые часто выходят за его пределы. В каждом оогонии образуется 8 яйцеклеток. В мужском

скафидии антеридии размещаются на концах особых однорядных веточек, вырастающих из стенки скафидия, парафизы значительно короче. Необходимо отметить, что весь скафидий образуется из одной клетки (проспору), но редукционное деление происходит непосредственно перед образованием гамет.

Существуют и другие точки зрения относительно особенностей смены ядерных фаз у данного представителя, однако, представленная схема жизненного цикла фукуса является классической.

Рассмотренные типы жизненных циклов не охватывают всего их разнообразия у бурых водорослей. Так, например, существуют и виды с гетероморфным чередованием поколений и преобладанием макроскопического гаметафита, спорофит несколько меньших размеров (*Cutleria*). У большого числа бурых водорослей значительного разнообразия смен форм развития добавляют вариации жизненных циклов в зависимости от экологических условий и нерегулярности смены поколений.

**Материалы и оборудование.** Гербарий водорослей, микроскопы МБР – 1Е, постоянные препараты, препаровальные иглы, чашки Петри, пинцет, предметные и покровные стекла, склянки с водой, пипетки, фильтровальная бумага, таблицы.

**Цель:** Ознакомиться с разнообразием жизненных циклов бурых водорослей на примере конкретных представителей

### **Задания**

1 Ознакомиться с систематическим положением объектов исследования. **Записать систематику:**

Надцарство эукариоты – *Eucaryota*

Царство тубулокрестаты – *Tubulocristates*

Отдел бурые водоросли – *Phaeophyta*

Класс феофициевые – *Phaeophyceae*

Порядок эктокарпальные – *Ectocarpales*

Род эктокарпус – *Ectocarpus* sp.

Порядок диктиотальные – *Dictyotales*

Род диктиота – *Dictyota* sp.

Порядок ламинариальные – *Laminariales*

Род ламинария – *Laminaria* sp.

Порядок фукальные (фукусовые) – *Fucales*

Род фукус – *Fucus* sp.

2 Рассмотреть на гербарном образце общий вид эктокарпуса. **Зарисовать:** 1) внешний вид водоросли; 2) зооспорангий с зооспорами; 3) схему жизненного цикла.

3 На гербарном образце рассмотреть общий вид диктиоты. **Зарисовать:** 1) продольный разрез таллома с тетраспорангиями; 2) разрезы талломов с женскими и мужскими гаметами; 3) схему жизненного цикла диктиоты.

4 Рассмотреть и зарисовать общий вид ламинарии. На готовых препаратах рассмотреть продольный и поперечный срезы черешка. **Зарисовать:** 1) анатомическое строение слоевища спорофита; 2) схему жизненного цикла ламинарии.

5 Рассмотреть на гербарных образцах и **зарисовать внешний вид фукуса**, отметив при этом среднюю жилку, воздухоносные полости, рецептакулы, базальный диск. Также **зарисовать: разрезы женского и мужского скафидиев**, указав оогонии, антеридии и парафизы. **Изобразить схему жизненного цикла фукуса.**

### Вопросы для самоконтроля

1 Дайте общую характеристику бурых водорослей, укажите их отличия от других водорослей.

2 Какие типы размножения характерны для отдела *Phaeophyta*?

3 Какие принципы лежат в основе классификации отдела?

4 Для каких бурых водорослей характерно наибольшее анатомическое и морфологическое расчленение таллома?

5 Как осуществляется смена ядерных фаз и форм развития у различных представителей бурых водорослей?

6 Продолжите заполнение таблицы 1 «Общая характеристика отделов водорослей» (отдел *Phaeophyta*).

### Занятие 4. Отдел Диатомовые водоросли (*Bacillariophyta*)

1 Общая характеристика отдела диатомовые водоросли

2 Характеристика класса Косцинодискофициевые (*Coscinodiscophyceae*), основные представители класса

3 Характеристика класса Фрагиляриофициевые, или Бесшовные, (*Fragilariophyceae*), основные представители класса

4 Характеристика класса Бацилляриофициевые, или Шовные, (*Bacillariophyceae*), основные представители класса

# 1 Общая характеристика отдела Диатомовые водоросли

*Отдел* Диатомовые водоросли (*Bacillariophyta*) насчитывает более 20 тыс. видов. Это фотоавтотрофные тубулокрестаты микроскопических размеров, с исключительно кокоидным талломом, имеющие покровы в виде кремнеземного панциря. *Панцирь* плотно примыкает к *плазмолемме* и состоит из двух частей: *эпитеки* и *гипотеки*. Большая часть (эпитека) надвигается своими краями на гипотеку как крышка на коробку (рисунок 20).

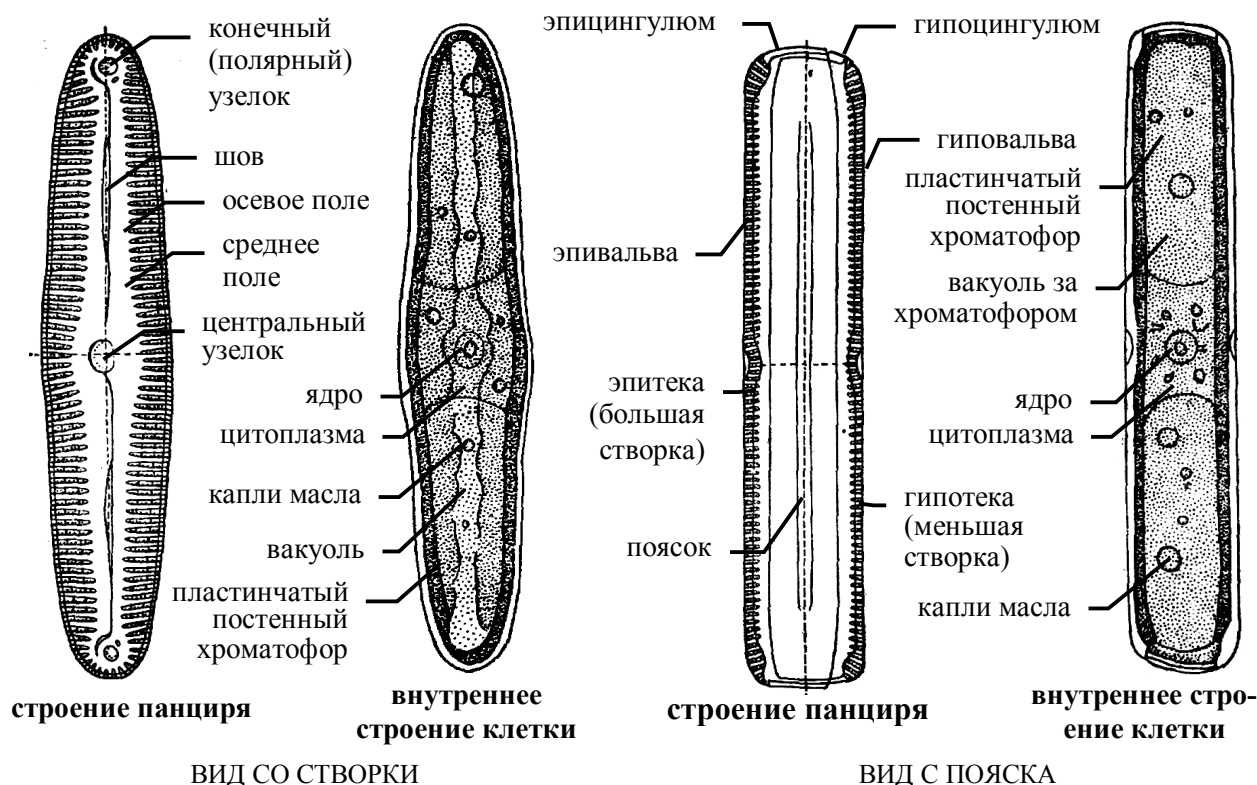


Рисунок 20 – Строение диатомей на примере пиннулярии (*Pinnularia*) [3]

*Эпитека* состоит из плоской или выпуклой створки (*эпивальвы*) с загнутыми краями и пояскового ободка (*эпицингулюма*). *Гипотека* имеет аналогичные части: створку (*гиповальву*) с загнутыми краями и поясковый ободок (*гипоцингулюм*). Поясковые ободки плотно прилегают друг к другу, составляя вместе *поясок* панциря. У большинства диатомовых между загнутым краем створки (загибом) и поясковым ободком образуются один или несколько *вставочных ободков*, которые увеличивают объем клетки и способствуют ее росту. Форма панциря разнообразна и характеризуется, в первую очередь, типом симметрии створки. Створки с множеством осей симметрии называют *радиально-симметричными* или *актиноморфными*. В противном случае ее называют *зигоморфными*. Зигоморфные створки бывают симметричными в продольном и поперечном направлении (*бисим-*

*метричные*), симметричные лишь по одной оси (*моносимметричные*), зеркально симметричными или *асимметричными*.

Наружный и внутренний рисунки панциря, наблюдаемые в световой и электронный микроскоп, называют *структурой панциря*. Она специфична для разных таксонов и образована различными структурными элементами, из которых наиболее важными являются *перфорации* – система отверстий различного строения расположенных на створках, через которые происходит связь протопласта с внешней средой. Различают мелкие поры (*ареолы*) и крупные удлиненные камеры, покрытые перфорированной пленкой (*альвеолы*). В створках панциря могут быть одна или две *слизевые поры*, через которые выделяется слизь, служащая для прикрепления водорослей к субстрату и образования колоний. Утолщения, выступающие над наружной или внутренней поверхностью створки, называются *ребрами*, они обеспечивают прочность панциря. У многих диатомовых водорослей на внешней поверхности панциря образуются выступы, щетинки, шипы, шипики, которые увеличивают его поверхность и служат для соединения клеток в колонию. У подвижных диатомей на створковой стороне панциря имеется *шов* в виде пары сквозных щелей, а также *узелки* – два полярных и один центральный (представляют собой утолщения стенок створки). Подобная структура панциря наряду с небольшим объемом протопласта и многочисленными капельками масла обеспечивает парение диатомовых водорослей в толще воды. Через шов происходит выделение и циркуляция цитоплазмы, что обеспечивает реактивное передвижение водоросли.

Клетки представителей отдела имеют типичное *эукариотическое строение*. *Цитоплазма* в них образует пристенный слой либо скапливается у полюсов или в центре клетки, соединяясь цитоплазматическими мостиками. *Ядро* лежит в центральной массе цитоплазмы или в пристенном слое, ближе к гипотеке (у *центрических* диатомей), либо – в цитоплазматическом мостике в непосредственном контакте с хлоропластом, ближе к эпитеке (у *пеннатных*) (Пояснение терминов центрические и пеннатные смотри далее по тексту). *Митоз* открытый, но вместо центриолей функцию организации веретена деления выполняют *полярные диски*. У ядра расположен *комплекс Гольджи*.

*Пластиды* (хлоропласты) вторично симбиотические, родофитного типа, четырехмембранные (две наружные мембраны организованы в *хлоропластную эндоплазматическую сеть*, непосредственно переходящую в оболочку ядра). Тилакоиды, собраны по три и иногда пронизывают *пиреноид*, имеется *опоясывающая ламелла*. Набор фотосинте-

тических *пигментов*: хлорофиллы *a* и *c*,  $\beta$ - и  $\varepsilon$ -каротины, ксантофиллы (фукоксантин, диатоксантин, неоксантины и диадиноксантин), что определяет цвет таллома от светло-желтого, золотистого до зеленовато-бурого. В клетке может быть несколько митохондрий с трубчатymi кристами. Вакуоли – четырех типов: с клеточным соком, с *волютином*, с *хризоламинарином* и с *маслами* (последние три компонента являются *продуктами ассимиляции* диатомовых).

*Вегетативное размножение*, наиболее характерное для диатомовых водорослей, осуществляется *делением клетки надвое*. Перед делением в протопласте скапливаются капли масла, он увеличивается в размерах, раздвигает створки так, что они соприкасаются лишь краями поясковых ободков. Митотически делится ядро, а затем и весь протопласт. Каждой новой клетке достается одна створка панциря, являющаяся или становящаяся эпитекой, а гипотека достраивается. Многократные вегетативные деления приводят к прогрессивному уменьшению размеров клеток в популяции, поскольку клетки, получающие гипотеку материнской клетки (она становится эпитекой), постоянно достраивают еще меньшую створку (собственную гипотеку). Восстановление первоначальных размеров клеток, характерных для данного вида, происходит во время прорастания покоящихся клеток, а также в результате *полового процесса*, сопровождающегося образованием *ауксоспор* (растущих спор). Ауксоспора увеличивается до максимально возможных для вида размеров, затем принимает типичную форму и образует панцирь. У ряда видов диатомовых водорослей ауксоспорообразование происходит за счет *автогамии*: после мейоза жизнеспособными остаются два ядра, которые и сливаются внутри своей клетки. *Собственно бесполое размножение* для диатомей не характерно, однако, некоторые виды способны формировать микроспоры, природа и пути образования которых пока не изучены.

*Половой процесс* – изо-, гетеро- (анизо-) или оогамия. В случае оогамии формируются единственная для диатомовых водорослей жгутиковая стадия – сперматозоид. Жгутик у него один, покрыт ретронемами, в его аксонеме отсутствуют центральные микротрубочки (формула  $9+0$ , вместо  $9+2$ ), редуцирована корешковая система, где вместо триплетов имеются только дуплеты микротрубочек, базальное тело прижато к ядру. У некоторых диатомовых сперматозоид не имеет жгутика и передвигается с помощью псевдоподий. В случае изо- и гетерогамии гаметы безжутиковые и перетекают из оболочки одной материнской клетки в другую.

Жизненный цикл всех диатомей диплофазный с гаметической ре-

дукцией без смены поколений.

При неблагоприятных условиях диатомовые водоросли переходят в состояние покоя. При этом протопласт передвигается к одному из концов клетки, теряет клеточный сок и сильно сжимается. Жизнедеятельность этих клеток возобновляется при наступлении благоприятных условий. Некоторые планктонные озерные виды способны в таком состоянии пережить зимний период на дне водоемов. У ряда видов наблюдается образование кремнеземных цист.

Диатомовые водоросли имеют широкое распространение и населяют различные биотопы: пресные и соленые, стоячие и текущие водоемы, влажные скалы, почву и даже пахотные земли; способны обитать на снегу и льду. Роль в природе и практическое значение диатомовых водорослей очень велики: они участвуют в создании органического вещества и поглощении углерода из Мирового океана, входят в состав трофических цепей водных экосистем, участвуют в круговороте кремния и осадконакоплении, используются в экологическом мониторинге и археологическом датировании осадочных пород.

В основе систематики диатомовых водорослей лежит структура панциря, в первую очередь симметрия створок, наличие и строение шва. Отдел подразделяется на три класса: Косцинодискофициевые (Центрические) – *Coscinodiscophyceae* (*Centrophyceae*), Фрагиляриофициевые (Бесшовные) – *Fragilariophyceae*, Бацилляриофициевые (Шовные) – *Bacillariophyceae*. Два последних класса традиционно называют пеннатными диатомеями.

## **2 Характеристика класса Косцинодискофициевые (*Coscinodiscophyceae*), основные представители класса**

**Класс** Косцинодискофициевые (*Coscinodiscophyceae*) объединяет водоросли с радиально-симметричными (актиноморфными) створками, лишенными шва (рисунок 21). В большинстве случаев створки округлые, поэтому часто их называют центрическими диатомеями. Половой процесс – оогамия. Класс включает 22 порядка.

Наиболее широко распространен **порядок** *Melosirales*, типичным представителем которого служит *Melosira* (рисунок 22). Клетки мелозиры цилиндрические, соединенные в колонии с помощью слизевых валиков, шипов или зубцов. Панцирь имеет высокие загибы створок и сложный поясковый ободок; створки круглые, с мелкими ареолами.

В **жизненном цикле** мелозиры наблюдается *оогамный половой процесс*. Половые структуры дифференцируются из вегетативных

клеток. Женская репродуктивная клетка (соответствует оогонию) мейозом, с последующей дегенерацией трех ядер, производит одну яйцеклетку. В мужской (соответствует сперматогонию или антеридию) – сначала образует четырехжгутиковая сперматогенная клетка, которая после мейоза отпочковывает четыре одножгутиковых сперматозоида. После оплодотворения из зиготы образуется ауксоспора.

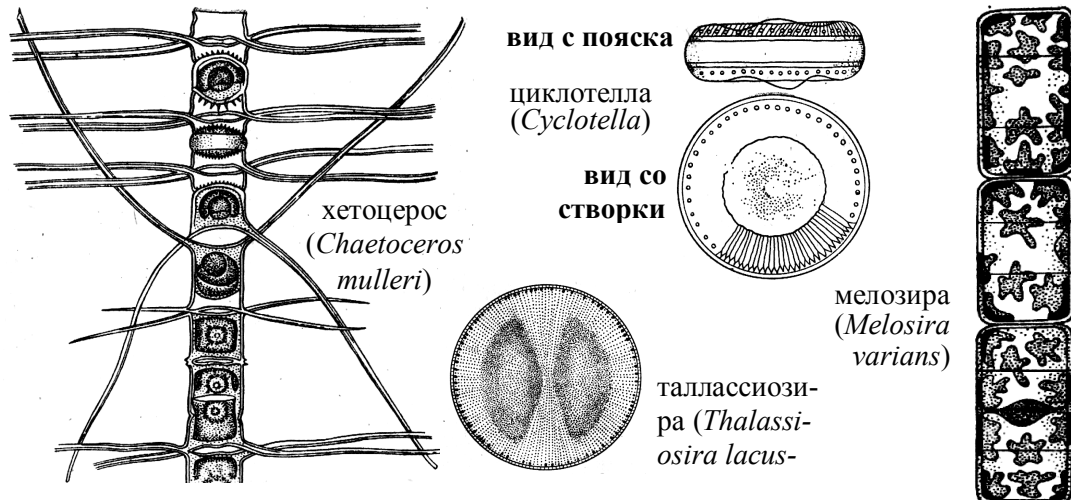


Рисунок 21– Косцинодискофициевые водоросли [3, 6]

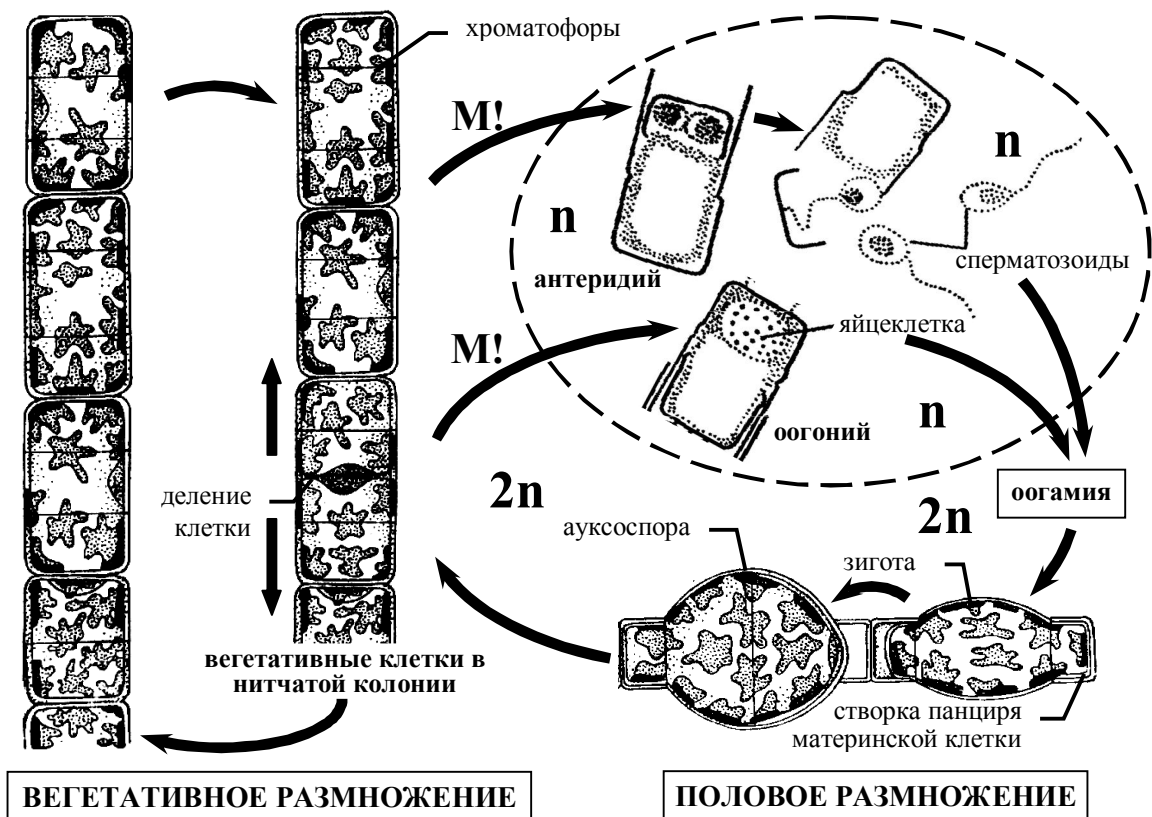


Рисунок 22 – Схема жизненного цикла мелозеры (*Melosira*)



### 3 Характеристика класса Фрагиляриофициевые, или Бесшовные, (*Fragillariophyceae*), основные представители класса

Представители **класса** Фрагиляриевофициевые, или Бесшовные, (*Fragillariophyceae*) характеризуются зигоморфными створками панциря, лишенными шва и отсутствием жгутиковых стадий в жизненном цикле. Половой процесс изо-, гетерогамия, только для видов рода *Rhabdonema* известен оогамный половой процесс, но сперматозоид при этом безжгутиковый, передвигающийся с помощью псевдоподий.

Известно 12 порядков фрагиляриефициевых водорослей. Типичный **порядок** – Фрагиляриальные (*Fragilariales*); представители родов *Fragilaria*, *Tabellaria*, *Asterionella* (рисунок 23).

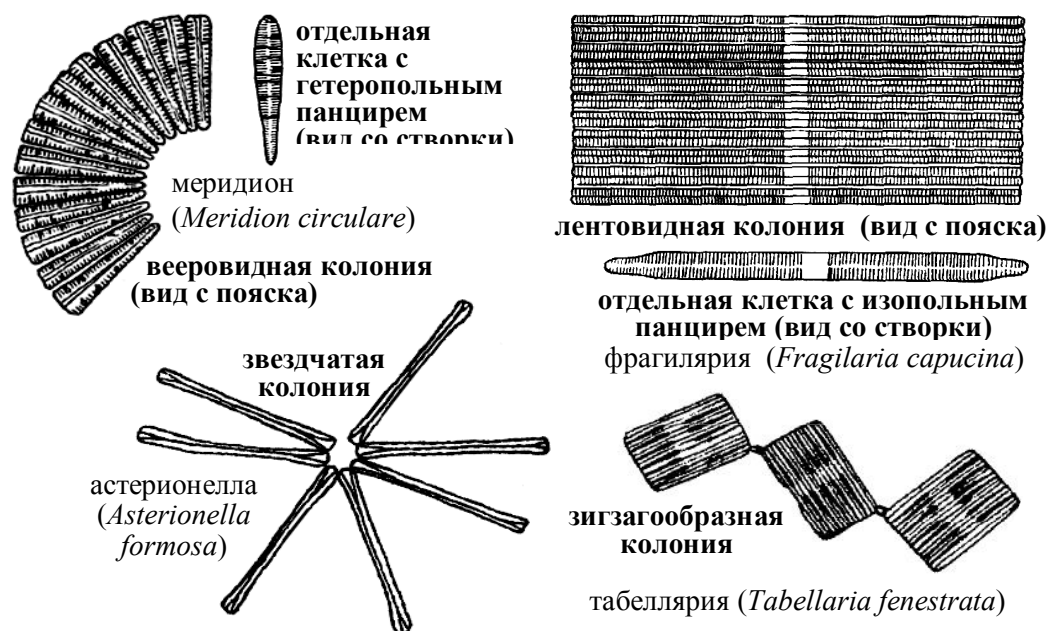


Рисунок 23 – Фрагиляриевофициевые (Бесшовные) водоросли [3]

У **рода** фрагилярия (*Fragilaria*) клетки часто образуют очень длинные лентовидные колонии. Створки панциря линейные, с поперечными штрихами. Клетки **рода** астерионелла (*Asterionella*) палочковидные, одним концом створки соединены в звездчатые или спирально завитые гребневидные ленты. Створки линейные, часто с головчато расширенными концами. У представителей **рода** табеллярия (*Tabellaria*) створки со стороны пояска имеют вид табличек, соединенных в зигзагообразные колонии. Створки линейные, расширенные на концах и на середине. В случае гетеропольных панцирей (полюса клетки разной формы), как у **рода** меридион (*Meridion*), колонии могут принимать веерообразную форму.

#### 4 Характеристика класса Бацилляриофициевые, или Шовные, (*Bacillariophyceae*), основные представители класса

**Класс** Бацилляриофициевые, или Шовные, (*Bacillariophyceae*) включает водоросли с зигоморфными створками. На одной или на обеих створках присутствует шов, наличие которого обуславливает способность клеток к ползающему движению. Представители класса характеризуются полным отсутствием жгутиковых стадий, изо-, гетеро- или автогамией. При половом процессе две сблизившиеся клетки выделяют слизь.

При *изогамии* ядро в каждой клетке редукционно делится на четыре: из них два ядра дегенерируют, а два становятся гаметами, которые амебообразно двигаясь, выползают из раздвинувшихся створок панциря и попарно копулируют с образованием двух зигот, преобразующихся в *ауксоспоры*. *Анизогамный* (*гетерогамный*) половой процесс может протекать двояко. В первом случае в ходе редукционного деления в каждой материнской клетке образуется по одной подвижной (мужской) и одной неподвижной (женской) гамете. Далее протекает своеобразный обмен подвижными гаметами, которые передвигаются к неподвижным и сливаются с ними с образованием двух ауксоспор. Во втором случае в одной клетке обе гаметы неподвижные, в другой – обе подвижные, переходящие в клетку с неподвижными гаметами. Кроме того, возможны варианты половых процессов с формированием одной гаметы в каждой материнской клетке.

Выделяют десять **порядков** Бацилляриофициевых водорослей, наиболее известны следующие: Ахнанталые (*Achnanthes*), Цимбеляльные (*Symbellales*), Навикуляльные (*Naviculales*), Бацилляриальные (*Bacillariales*), Сурирелляльные (*Surirellales*).

**Порядок** Ахнанталые *Achnanthes* характеризуется наличием щелевидного шва лишь на одной из створок – на эпитеке либо на гипотеке, что является приспособлением к обитанию на поверхности субстратов, к которым они прижимаются створкой со швом (рисунок 24). Клетки одиночные, большинство обитает на погруженных в воду растениях. Типичным представителем является **род** ахнантес (*Achnanthes*) или планотидиум (*Planotidium*), клетки которого одиночные или собраны в ленты. Створки продолговатые, с закругленными концами. Со стороны пояска клетки согнуты по продольной оси.

**Порядок** Цимбеляльные (*Symbellales*) включает виды, на одной из створок которых есть хорошо заметный щелевидный шов, на другой –

шов у одних представителей (*Rhoicosphenia*) недоразвит, у других развит хорошо. Створки ассиметричные. Наиболее распространены такие представители, как гомфонема (*Gomphonema*) и цимбелла (*Cymbella*) (рисунок 25).



Рисунок 24 – Внешнее строение панциря *Achnanthes* (*Planotidium*) *lanceolata* [3]

.Створки панциря у представителей **рода** гомфонема (*Gomphonema*) булавовидные, с пояска – клиновидные. Шов хорошо развит на обеих створках. Парные пластиды расположены вдоль пояска. Клетки могут прикрепляться к субстрату непосредственно или с помощью слизистой ножки. Клетки **рода** цимбелла (*Cymbella*) одиночные, створки ассиметричные, полулунные, разделенные на спинную и

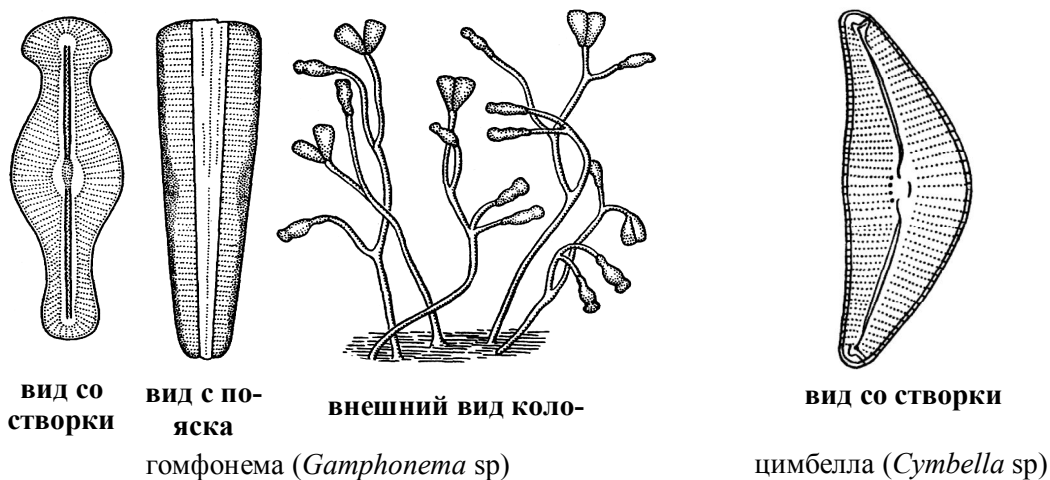


Рисунок 25 – Представители порядка *Symbellales* [6]

брюшную стороны, шов имеется на двух створках. Пластида одна, расположена с выпуклой стороны в районе пояска. В районе центрального узелка расположены несколько особых перфораций – стигм.

Для представителей **порядка** Навикуляльные (*Naviculales*) характерно наличие щелевидного шва на обеих створках. Створки бисимметричные или зеркально симметричные (S-образные) (рисунок 26). Характерные представители порядка: род навикула (*Navicula*): *N. cuspidata*, *N. radiosa*, *N. binodis*, род пиннулярия (*Pinnularia*): *P. viridis*, род гиросигма (*Gyrosigma*): *G. acuminatum*.

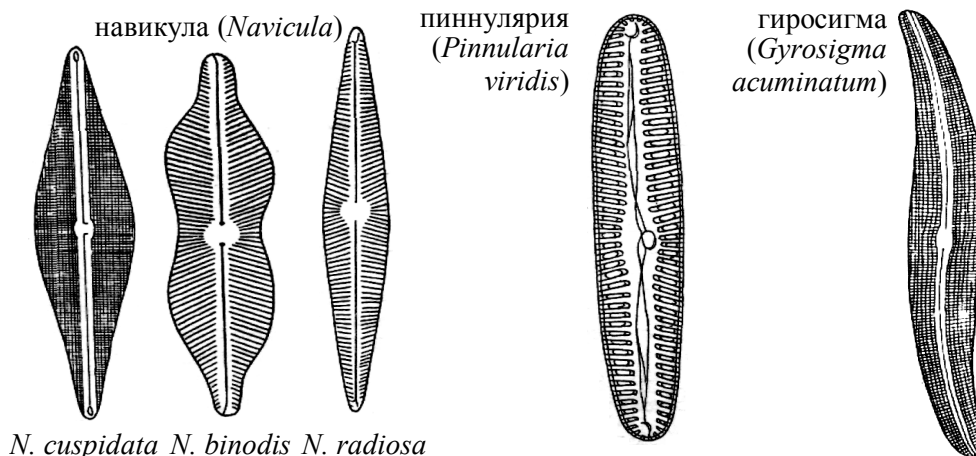


Рисунок 26 – Диатомовые водоросли порядка *Naviculales* [3]

**Род** навикула (*Navicula*) является одним из наиболее многочисленных. Клетки в основном одиночные, реже соединены в лентовидные цепочки, со стороны створки – ланцетовидные, с пояска – удлиненно-прямоугольные. В клетке два пластинчатых хлоропласта, расположенных со стороны пояска. Представители **рода** пиннулярия (*Pinnularia*) характеризуются одиночными клетками, реже соединенными в колонии. Со стороны створки клетки пиннулярии обычно линейно-эллиптические, со стороны пояска – правильно-прямоугольные. Панцирь имеет хорошо выраженные ребра, между ними – мелкие ареолы. Шов у пиннулярии нитевидный, иногда изогнутый. Хлоропластов два, располагаются со стороны пояска.

В **жизненном цикле** пиннулярии (рисунок 27) наблюдается вегетативное и половое размножение. Вегетативное размножение осуществляется *делением клетки надвое*. Перед делением капли масла раздвигают створки увеличивая объем клетки. После митотического деления протопласта, створки панциря расходятся. Каждой новой клетке достается одна створка панциря материнской клетки (эпитека или гипотека). При этом в обоих случаях в дочерней клетке она становится эпитекой, и каждый раз достраивается меньшая створка (гипотека), что приводит к постепенному уменьшению размеров клеток в популяции. Восстановление исходных размеров происходит в результате полового процесса (через стадию ауксоспоры).

**Половой процесс** у пиннулярии гетерогамный (анизогамный). В каждой материнской клетке несколькими делениями (одним из которых является мейоз) образуется по одной подвижной (мужской) и одной неподвижной (женской) гамете. Подвижные гаметы передвигаются к неподвижным и сливаются с ними, что приводит к образованию в оболочке материнских клеток по одной зиготе, которые сразу преобразуются в ауксоспоры.

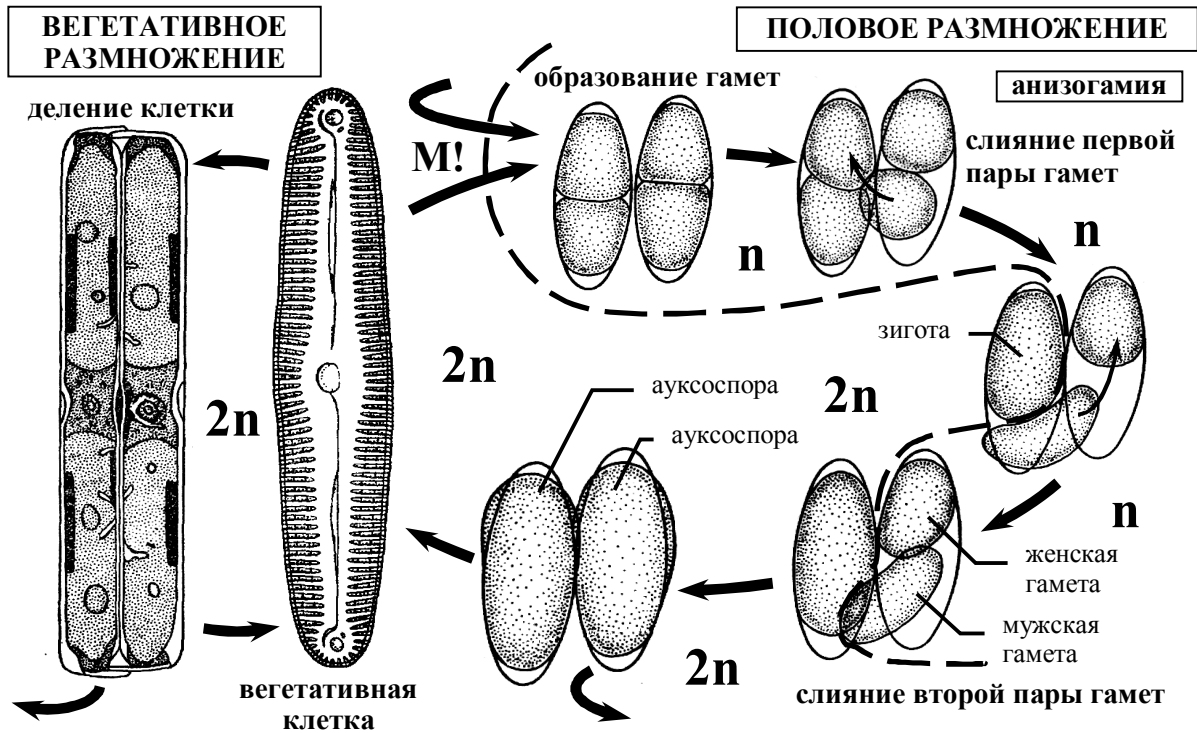


Рисунок 27 – Схема жизненного цикла навикуляльных (*Naviculales*) на примере пиннулярии (*Pinnularia*)

**Порядок** Бацилляриальные *Bacillariales* включает водоросли, на створках которых располагается по одному каналовидному шву. Клетки обычно одиночные, подвижные, реже неподвижные, иногда бывают соединены в подвижные лентовидные и нитевидные колонии. Панцирь продольно-, поперечно- или диагонально-симметричный. Створки разнообразной формы: линейные, эллиптические, круглые или полулунные. Представители порядка: род бациллярия (*Bacillaria*), род нитцшия (*Nitzschia*) (рисунок 28).

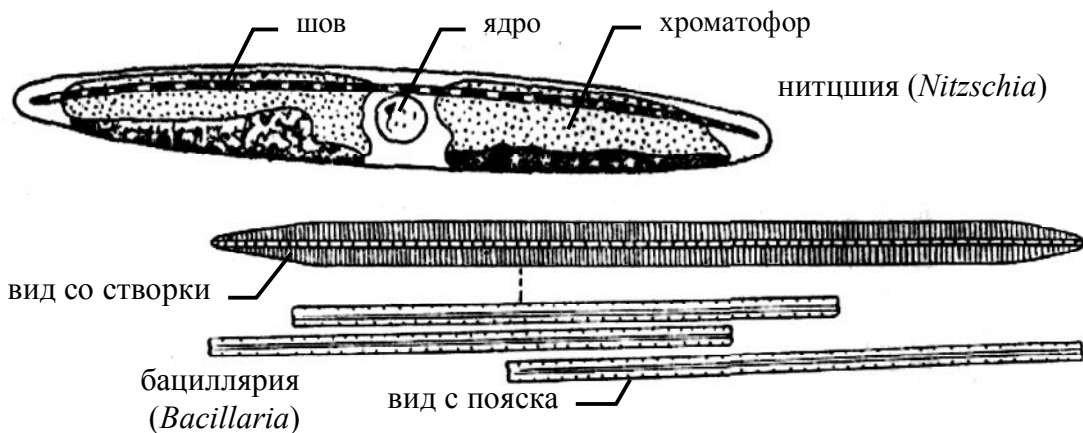


Рисунок 28 – Бацилляриальные диатомовые водоросли [3]

Представители **рода** нитцшия *Nitzschia* характеризуются клетками разнообразной формы, чаще одиночными. Створки линейные палочковидные, часто S-образно изогнутые. Каналовидный шов расположен на краю створки. В клетке обычно два пластинчатых хлоропласта.

**Порядок** Сурирелляльные (*Surirellales*) характеризуется наличием двух каналовидных швов на каждой створке, расположенных в складках (крыльях) или гребнях (килях) по краю загиба створки. Ввиду массивности панциря в основном обитают в бентосе пресных и соленых водоемов. Характерные представители – сурирелла (*Surirella*), циматоплевра (*Cymatopleura*)

**Материалы и оборудование.** Склянки с водорослями, микроскопы МБР – 1Е, постоянные препараты, препаровальные иглы, чашки Петри, пинцет, предметные и покровные стекла, склянки с водой, пипетки, фильтровальная бумага, таблицы.

**Цель:** Ознакомиться с общей характеристикой и представителями диатомовых водорослей. Изучить особенности жизненных циклов водорослей отдела *Bacillariophyta*.

### **Задания**

1 Ознакомиться с систематическим положением объектов исследования. **Записать систематику:**

Надцарство эукариоты – *Eucaryota*

Царство тубулокростаты – *Tubulocristates*

Отдел Диатомовые водоросли – *Bacillariophyta*.

Класс Косцинодискофициевые – *Coscinodiscophyceae*

Порядок Мелозиральные – *Melosirales*

Род мелозира – *Melosira* sp.

Класс Бацилляриофициевые (Шовные) – *Bacillariophyceae*

Порядок Навикуляльные – *Naviculales*

Род пиннулярия – *Pinnularia* sp.

Род навикула – *Navicula* sp.

2 На приготовленном обычным способом препарате при малом увеличении микроскопа рассмотреть и **зарисовать нить мелозир**. При большом увеличении изучить строение клетки.

3 Изучить и **зарисовать пиннулярию в двух положениях: со створки и с пояска**. На рисунке со стороны створки отметить S-

образный шов, три узелка, ребра по краю створки; на рисунке со стороны пояска обозначить две створки – эпитеку и гипотеку. Также **зарисовать строение клетки пиннулярии**, указав ядро, 2 пластинчатых хроматофора, вакуоль и пектиновую оболочку. Найти и **зарисовать пиннулярию в стадии вегетативного размножения**.

4 Рассмотреть и **зарисовать навикулу со стороны створки**, отметить шов, узелки, ребра.

### **Вопросы для самоконтроля**

1 Дайте характеристику отделу *Bacillariophyta*.

2 На какие классы делятся диатомовые водоросли и по какому признаку? Назовите основных представителей классов.

3 Опишите строение и жизненный цикл мелозиры

4 Охарактеризуйте строение и особенности протекания жизненного цикла пиннулярии.

5 Продолжите заполнение таблицы 1 «Общая характеристика отделов водорослей» (отдел *Bacillariophyta*).

### **Литература**

1. Ботаніка. Водорості та гриби / І. Ю. Костиков [та інш.]. – Київ: Арістей, 2006. – 476 с.

2. Белякова, Г.А. Ботаника: В 4 т. Т.2. Водоросли и грибы: учебник для студ. высших учеб. заведений / Г.А. Белякова, Ю.Г. Дьяков, К.Л. Тарасов. – М: Академия, 2006. – 320 с.

3. Вассер, С. П. Водоросли. Справочник / С. П. Вассер [и др.] – Киев: Наук. думка, 1989. – 608 с.

4. Лемеза, Н. А. Альгология и микология. Практикум : учеб. пособие / Н. А. Лемеза. – Минск: Выш.школа, 2008. – 319 с.

5. Курс низших растений / под ред. М. В. Горленко. – М. : Высшая школа, 1981. – 504 с.

6. Комарницкий, Н. А. Ботаника. Систематика растений / Н. А. Комарницкий, Л. В. Кудряшов, А. А. Уранов. – М. : Просвещение, 1975. – 608 с.

7. Жизнь растений / под ред. М. М. Голлербаха. – М. : Просвещение, 1977. – Т. 3. Водоросли. – 487 с.

8. Мандрик, В. Ю. Основы альгологии / В. Ю. Мандрик, О. Б. Колесник. – Київ: Фітосоціоцентр, 2006. – 350 с.

Производственно-практическое издание

**Собченко Владимир Анатольевич**  
**Бачура Юлия Михайловна**  
**Храмченкова Ольга Михайловна**

**СИНЕЗЕЛЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ.  
ЖЕЛТОЗЕЛЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ.  
БУРЫЕ ВОДОРОСЛИ.  
ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ**

Практическое руководство

для студентов специальности 1 – 31 01 01-02  
«Биология (научно-педагогическая деятельность)»

Редактор *В. И. Шкредова*  
Корректор *В. В. Калугина*

Подписано в печать 5.01.2013. Формат 60×84 1/16.  
Бумага офсетная. Ризография. Усл.печ.л. 2,8.  
Уч.-изд.л. 3,05. Тираж 50 экз. Заказ 2.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждения образования  
«Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины»  
ЛИ №02330/0549481 от 14.05.2009.  
ул. Советская, 104, 246019, г. Гомель