

**Министерство образования Республики Беларусь**

**Учреждение образования  
«Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины»**

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

# **АЛЬГОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ**

**ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО  
по изучению раздела «Водоросли»  
для студентов специальности 1 – 31 01 01-02  
«Биология (научно-педагогическая деятельность)»**

**Гомель 2007**

УДК 582.26/27 + 582.28 (075.8)

ББК 28.591 я73

С 557

**Рецензент:**

кафедра ботаники и физиологии растений учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

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

**Собченко, В. А.**

С 557 Альгология и микология: практическое руководство по изучению раздела «Водоросли» для студ. биологич. спец. вузов / В. А. Собченко, О. М. Храмченкова, Ю. М. Бачура; М-во образования РБ, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф.Скорины, 2007. – 74 с.

ISBN 978-985-439-231-8

Практическое руководство ставит своей целью оптимизировать учебно-познавательную деятельность по усвоению материала раздела «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 978-985-439-231-8

© Собченко В. А., Храмченкова О. М.,  
Бачура Ю. М., 2007

© УО «ГГУ им. Ф.Скорины», 2007

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> .....	4
<i>Занятие 1</i> <b>Отдел синезеленые водоросли (<i>Cyanophyta</i>)</b> .....	5
<i>Занятие 2</i> <b>Отдел зеленые водоросли (<i>Chlorophyta</i>), класс собственно зеленые (<i>Chlorophyceae</i>), порядки: вольвоксовые (<i>Volvocales</i>), хлорококковые (<i>Chlorococcales</i>)</b> .....	16
<i>Занятие 3</i> <b>Порядки улотриксые (<i>Ulothrichales</i>) и кладофоровые (<i>Cladophorales</i>). Класс сифоновые водоросли (<i>Siphonophyceae</i>)</b> .....	28
<i>Занятие 4</i> <b>Отдел зеленые водоросли (<i>Chlorophyta</i>), класс конъюгаты (<i>Conjugatophyceae</i>). Отдел Харовые водоросли (<i>Charophyta</i>)</b> .....	37
<i>Занятие 5</i> <b>Отдел желтозеленые водоросли (<i>Xanthophyta</i>). Отдел диатомовые водоросли (<i>Bacillariophyta</i>)</b> .....	47
<i>Занятие 6</i> <b>Отдел бурые водоросли (<i>Phaeophyta</i>)</b> .....	62

## Введение

В практическом руководстве приводятся основные теоретические сведения по разделу «Водоросли», которые необходимы для подготовки и проведения лабораторных занятий по одноименному разделу в курсе «Альгология и микология». Применение предлагаемого руководства сделает занятия 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 шесть занятий. 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 можно использовать для текущего контроля усвоения знаний студентами, а также для самоконтроля.

В практическом руководстве мы придерживались систематики водорослей, изложенной в издании: Вассер, С. П. Водоросли. Справочник / С. П. Вассер [и др.] – Киев: Наук. думка, 1989. – 608 с.

При подготовке практического руководства также использована информация и некоторые иллюстрации из следующих пособий и учебников: Курс низших растений / под ред. М. В. Горленко. – М. : Высшая школа, 1981. – 504 с.; Жизнь растений / под ред. М. М. Голлербаха. – М. : Просвещение, 1977. – Т. 3. Водоросли. – 487 с.; Комарницкий, Н. А. Ботаника. Систематика растений / Н. А. Комарницкий, Л. В. Кудряшов, А. А. Уранов. – М. : Просвещение, 1975. – 608 с.; Лемеза, Н. А. Малый практикум по низшим растениям / Н. А. Лемеза, А. С. Шуканов. – Мн. : Універсітэцкае, 1994. – 288 с.

Значительная часть иллюстраций и схем жизненных циклов выполнены авторами.

Руководство адресовано студентам специальности I – 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 Характеристика класса хроококковые (*Chroococcales*) и основные его представители
- 3 Класс гормогониевые (*Hormogoniophyceae*) – центральный класс отдела
- 4 Крупнейшие таксоны и основные представители класса

### 1 Общая характеристика отдела *Cyanophyta*

**Отдел** синезеленые водоросли (*Cyanophyta*) – древнейшая уникальная в морфологическом и физиологическом отношении группа 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 разноритчатая.

Клетка синезеленых водорослей состоит из клеточных покровов и протопласта, включающего наружную мембрану (плазмолемму) 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, выполняют опорную и защитную функции; в них обнаружены пектины, углеводы, аминокислоты, жирные кислоты, липополисахариды и др. Характерной чертой является наличие в составе клеточной оболочки гетерополимера – муреина (пептидогликана), образующего особый пептидогликановый слой, что сближает *Cyanophyta* с грамотрицательными бактериями и принципиально отличает от эукариотических организмов.

Слизистые обертки разнообразны по своим свойствам и происхождению. В одних случаях слизь образуется в небольшом количестве, в других вокруг клетки возникают более или менее стойкие и четкие слизистые обертки. Слизистые продукты, образованные разными клетками, могут объединяться, что нередко ведет к возникновению колониальной слизи. Вокруг трихомов часто образуются также трубчатые влагалища (чехлы), которые бывают тонкими или толстыми, неслоистыми или слоистыми.

Цитоплазма синезеленых водорослей вязкая, гелеобразная. В клетке отсутствует обособленное ядро, хроматофоры, аппарат Голь-

джи, митохондрии, эндоплазматическая сеть. Но у них все же существует хорошо развитая *мембранная система*, к которой, кроме плазмалеммы, относят еще мембраны тилакоидов, мезосомы, полимембранные структуры, которые являются впячиваниями наружной мембраны.

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; 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 хромасомы. Нередко в клетке содержится более одной нуклеоплазматической области.

В хроматоплазме расположены фотосинтезирующие ламеллярные структуры (тилакоиды; типичных хлоропластов синезеленые не имеют), с которыми связаны ассимиляционные пигменты: хлорофилл *a*, каротиноиды (каротин, ксантофилл) и фикобилипротеиды (аллофикоцианин, фикоциан, фикоэритрин). Последние встречаются в виде специальных структур – фикобилисом, расположенных на поверхности мембран тилакоидов.

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

Клетки многих синезеленых водорослей содержат по одной-много «газовых вакуолей». Они представляют собой красновато- или темно-коричневые (до черных) тельца, округлой или неправильной формы, которые при электронно-микроскопическом наблюдении оказались состоящими из многих палочковидных, плотно расположенных *газовых пузырьков*. Стенка пузырьков белковая, проницаемая для газов. Давление газов внутри пузырьков сходно с давлением в окружающей среде. При повышении давления газов в среде газовые пузырьки сплющиваются (коллапсируют), что сказывается на степени плавучести водоросли.

Помимо описанных выше структур в клетках *Cyanophyta* содержатся также многие другие. Одни из них встречаются постоянно, присутствие других не обязательно. Ряд структур относится к числу запасных включений, возникающих в результате метаболизма клетки. Наиболее известны *полиэдральные тела (карбоксисомы)*, *цианофицииновые (структурированные) гранулы*, *волютиновые гранулы (гранулы полифосфатов)*, *гранулы гликогена* и *липидные включения*.

Цианофицииновые гранулы считают образованиями, специфич-

ными для синезеленых водорослей и являющимися местом запасания азота. Карбоксисомы встречаются также у других прокариот. Их сравнивают с пиреноидами эукариотических водорослей.

У гормогониевых водорослей обязательной составной частью является трихом – неразветвленное или разветвленное нитевидное образование, состоящее из одного или многих рядов физиологически взаимосвязанных клеток (понятие «нить» шире понятия «трихом»). Различают трихомы: 1) гомоцитные – их клетки не дифференцированы по форме и функциям; 2) гетероцитные с неразветвленными или разветвленными трихомами – состоят 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 гомогенным, 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 (споры, точнее 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.

Для синезеленых водорослей характерно бесполое размножение:

1) вегетативное (деление клеток, колоний, фрагментация нитей на отдельные участки таллома – гормогонии (рисунок 1); реже встречается размножение гонидиями, кокками, планококками. Гонидии – мелкие клетки со слизистой оболочкой, отделяющиеся от таллома или располагающиеся внутри эндоспор. Кокки – одноклеточные фрагменты таллома, не имеющие четко выраженной оболочки. Планококки – мелкие клетки, способные к самостоятельному движению);

2) собственно бесполое (экзо- и эндоспорами).

Полового процесса нет, но обнаружены парасексуальные процессы, т.е. явления, при которых происходит только частичное объединение геномов разных клеток, например, трансформация.

Синезеленые водоросли распространены в пресных и соленых водоемах, на поверхности почвы, скалах, в горячих источниках, входят в состав лишайников. Они обогащают почву органическим веществом и азотом, служат кормом для зоопланктона и рыб, могут быть использованы для получения ряда ценных веществ (аминокислоты, витамин В<sub>12</sub>, пигменты и др.).

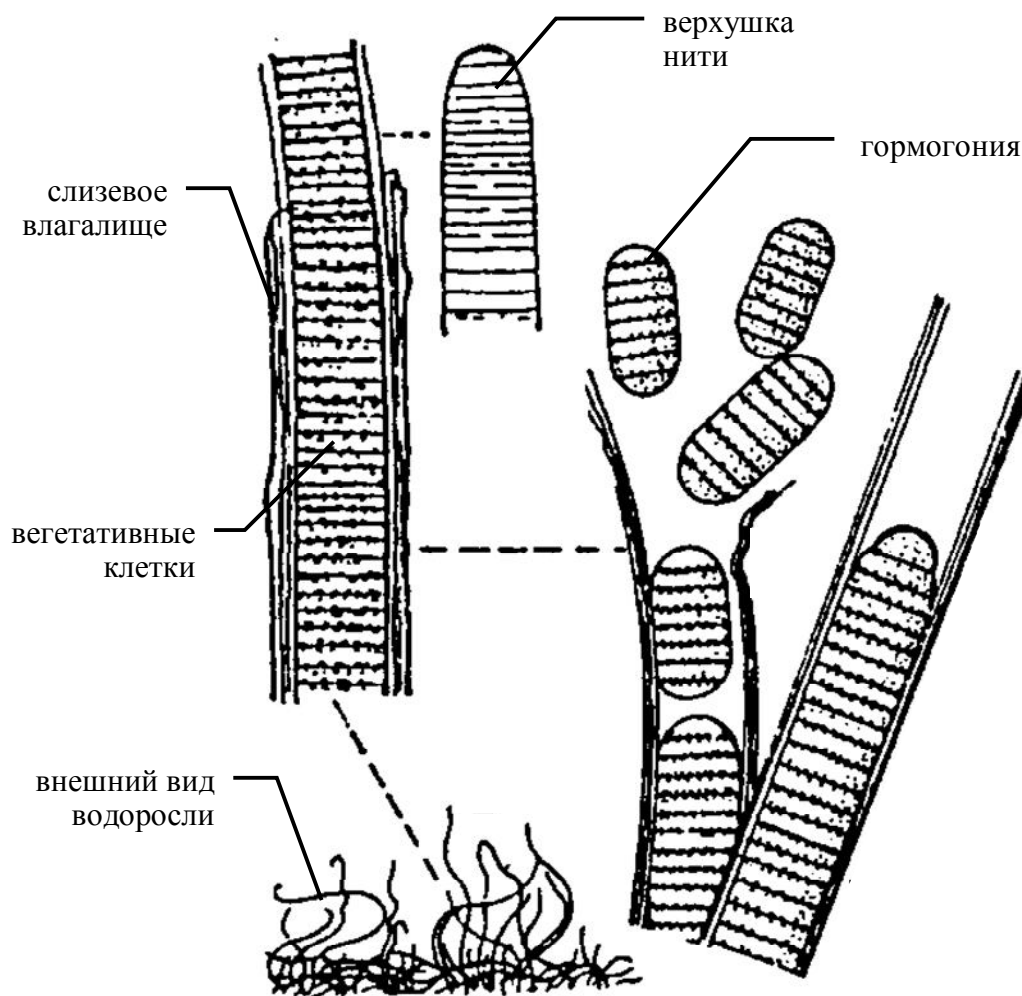


Рисунок 1 – Гормогониевая синезеленая водоросль *Lyngbya aestuarii* [1]

Биомасса, образованная планктонными *Cyanophyta* может быть причиной массового «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 3 класса: хроококковые – *Chroococcophyceae*, хамесифоновые – *Chamaesiphonophyceae*, гормогониевые – *Hormogoniophyceae*.

## **2 Характеристика класса хроококковые (*Chroococcales*) и основные его представители**

**Класс хроококковые (*Chroococcophyceae*).** Представители класса – одноклеточные или колониальные организмы. Строение и форма



колоний зависит от способа деления клеток и особенностей слизиобразования. Клетки хроококковых водорослей в основном шаровидные или эллипсоидные, реже удлинённые. Для представителей класса характерно бесполое вегетативное размножение (деление клеток надвое; деление колоний: фрагментация, собственно деление, почкование).

В пределах класса различают 3 порядка. Наиболее распространены представители порядка хроококковые.

**Порядок** хроококковые (*Chroococcales*). Одноклеточные, чаще колониальные индивиды. Колонии свободные, разнообразной формы (шаровидные, эллипсоидные, удлинённые, кубообразные и др.). Клетки шаровидные, эллипсоидные, цилиндрические, прямые или разнообразно изогнутые. Представители: *Microcystis aeruginosa* – микроцистис синеваато-зелёный (рисунок 2), *M. toxuca* – М. токсичный, *M. flos-aquae* – М. «цветения» воды, *M. pulverea* – М. порошковидный, *Gloeocapsa magna* – глеокапса большая (рисунок 3), *Eucapsis alpina* – эвкапсис альпийский (рисунок 4).

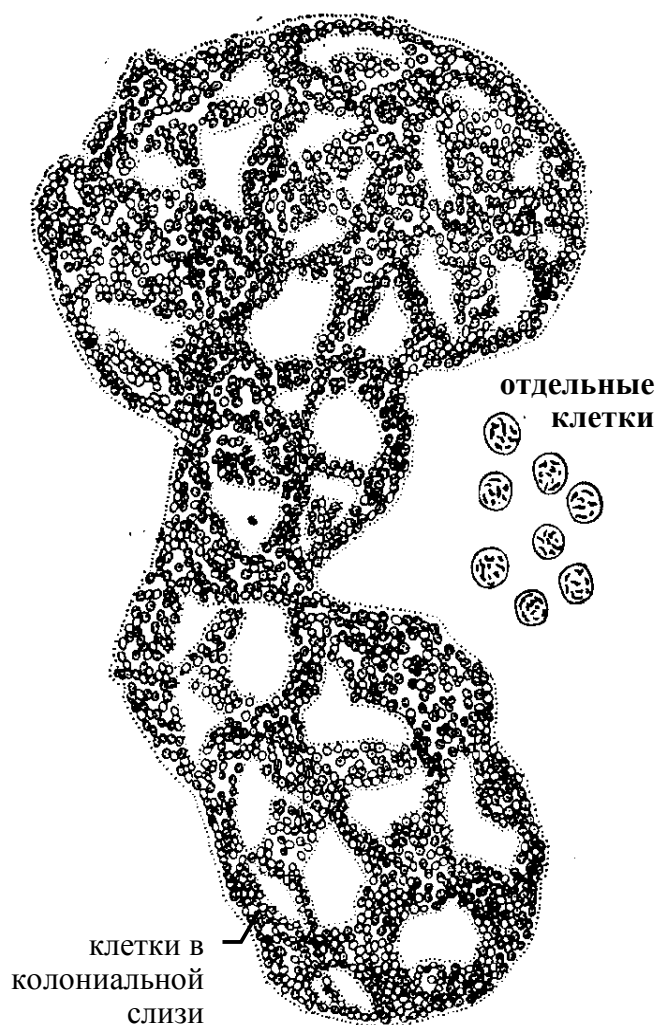


Рисунок 2 – Колония микроцистиса синеваато-зелёного (*Microcystis aeruginosa*) [2]



Рисунок 3 – Глеокапса большая (*Gloeocapsa magna*) [2]

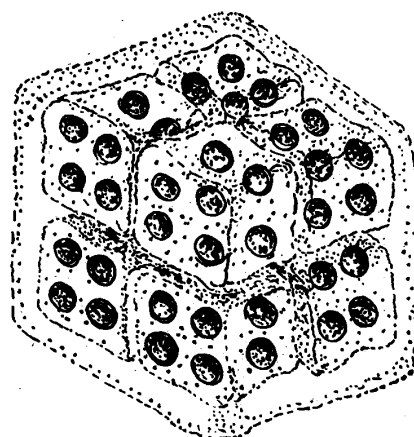


Рисунок 4 – Эвкапсис альпийский (*Eucapsis alpina*) [1]

### **3 Класс гормогониевые (*Hormogoniophyceae*) – центральный класс отдела**

**Класс** гормогониевые (*Hormogoniophyceae*). Самый крупный класс отдела синезеленые водоросли, представители которого характеризуются нитчатой (трихимальной) формой строения тела и способностью к образованию гормогониев, т. е. специальных фрагментов трихомов, способных к активному движению и прорастанию в новые особи. Трихомы голые или заключенные в слизистые влагалища. Многим свойственны гетероцисты.

Индивиды многоклеточные, «простые» или колониальные. «Простые» индивиды содержат один трихом и наиболее соответствуют термину «индивид» в смысле «особь», «организм».

Колониальные индивиды обычно возникают из одного «простого» и имеют признаки, характеризующие их как целое (наличие общего «скелета» в виде общих слизевых влагалищ (т. н. перидерма), особых способов размножения (почкования)), и соответствуют настоящим колониям. К колониям в широком смысле слова наряду с колониальными индивидами (колониальными организмами) относятся также колонии индивидов, например, сплетения нитей осцилляториевых водорослей. В отличие от колониальных индивидов колонии индивидов – образования менее целостные. Они нередко возникают из многих, ранее обособленных особей и часто соответствуют поселением индивидов. Образуются, например, на агаризованной среде в месте посадки водоросли на агар. Размножение, как правило, бесполое вегетативное: случайной фрагментацией, гормогониями, акинетами. Собственно бесполое размножение не характерно. Эндоспоры обнаружены только у отдельных представителей. Экзоспоры не найдены. Класс включает 3 порядка: осцилляториевые – *Oscillatoriales*, ностоковые – *Nostocales*, стигонемовые – *Stigonematales*.

#### **4 Крупнейшие таксоны и основные представители класса**

**Порядок** осцилляториевые (*Oscillatoriales*). Включает виды, имеющие однорядные, неразветвленные, трихомы, которые состоят из одинаковых клеток, за исключением верхушечной. Гетероцисты и акинеты отсутствуют.

Представители: *Oscillatoria limnetica* (О. озерная), *O. planctonica* (О. планктонная), *O. tenuis* (О. тонкая), *O. formosa* (О. стройная), *Lyngbya aestuarii*. (рисунок 1), род спиролина (*Spirulina*) (рисунок 5).

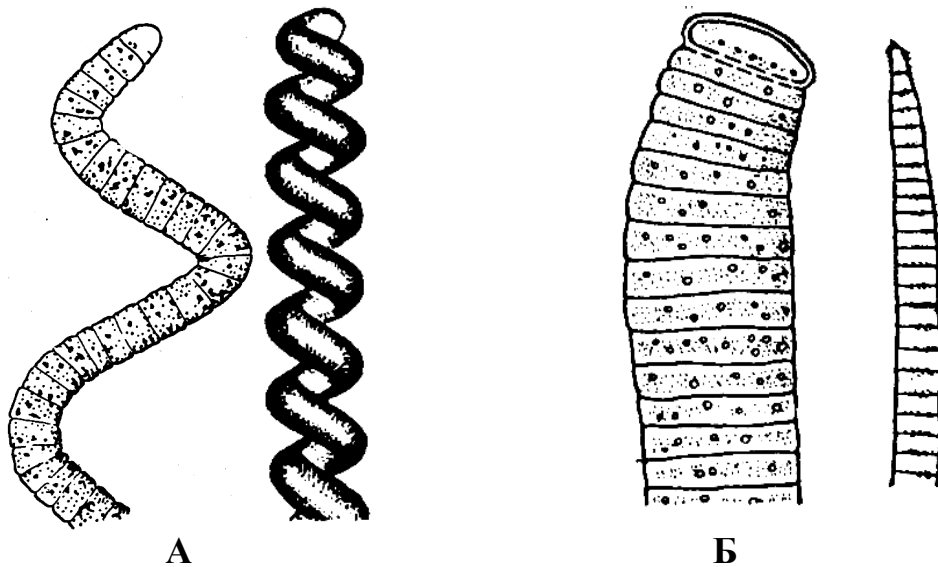


Рисунок 5 – Представители родов спиролина – *Spirulina* (А) и осциллятория – *Oscillatoria* (Б) [1, 2]

**Порядок** ностоковые (*Nostocales*). Объединяет гормогониевые водоросли с гетероцитными неразветвленными нитями или нитями с ложным ветвлением (за счет прорыва трихома в сторону), часто с акинетами. Трихомы бывают как с влагалищами, так и без них. Представители: *Nostoc commune*, *Gloeotrichia natans*, *Anabaena flos-aquae*, *A. variabilis*, *Calothrix elenkinii*, *Rivularia haematites*

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

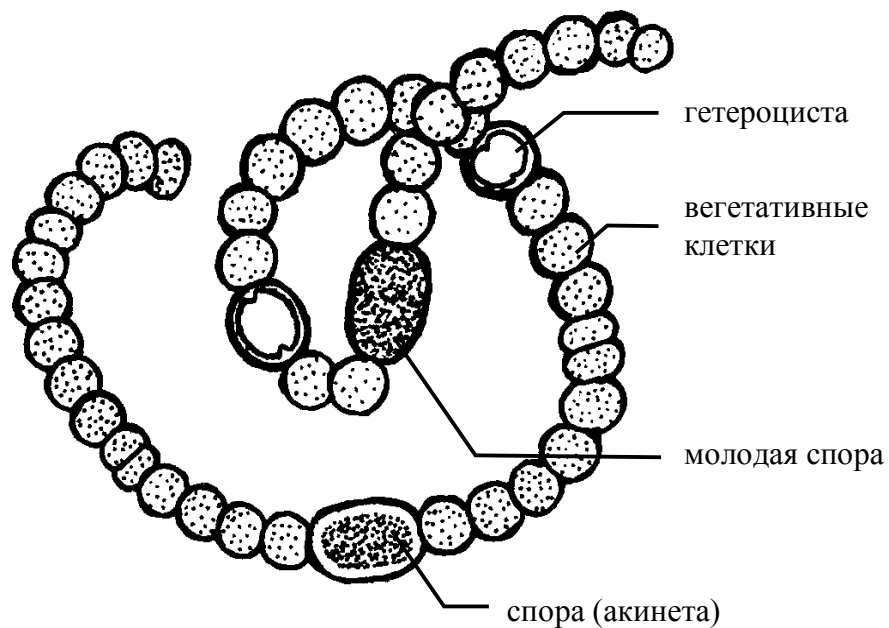


Рисунок 6 – Отдельная нить *Anabaena flos-aquae* (анабена «цветения» воды)

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.

**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).

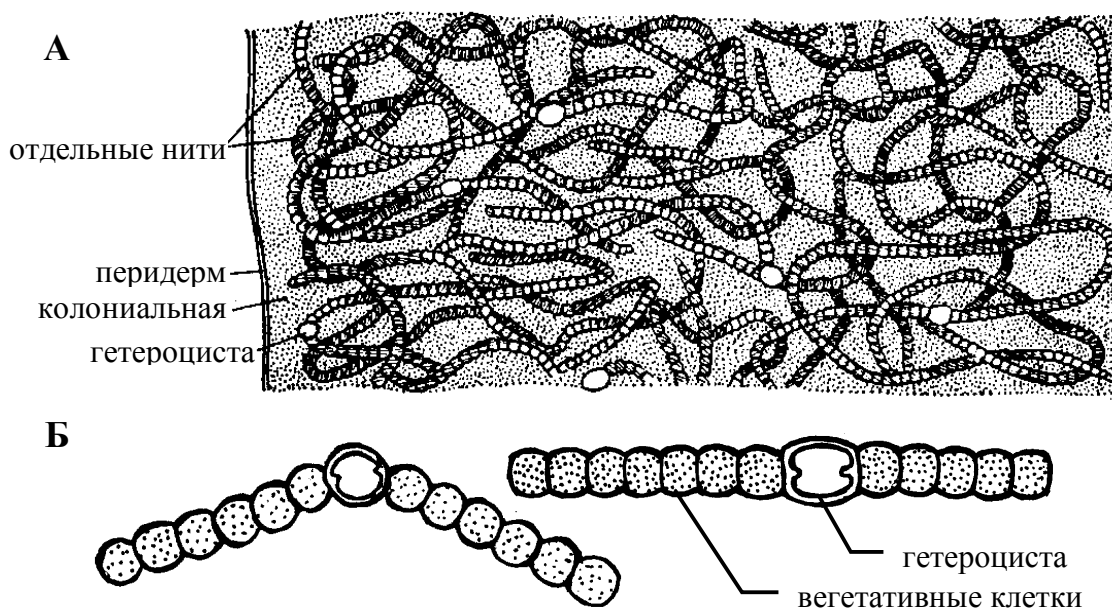


Рисунок 7 – Участок колонии (А) и отдельные нити (Б) *Nostoc commune*

Гормогонии активно движутся и покидают пределы колониальной слизи, которая ко времени их формирования расплывается, а если колония покрыта наружным плотным слоем (перидерм), то и этот слой разрывается.

У многих ностоковых 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.

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

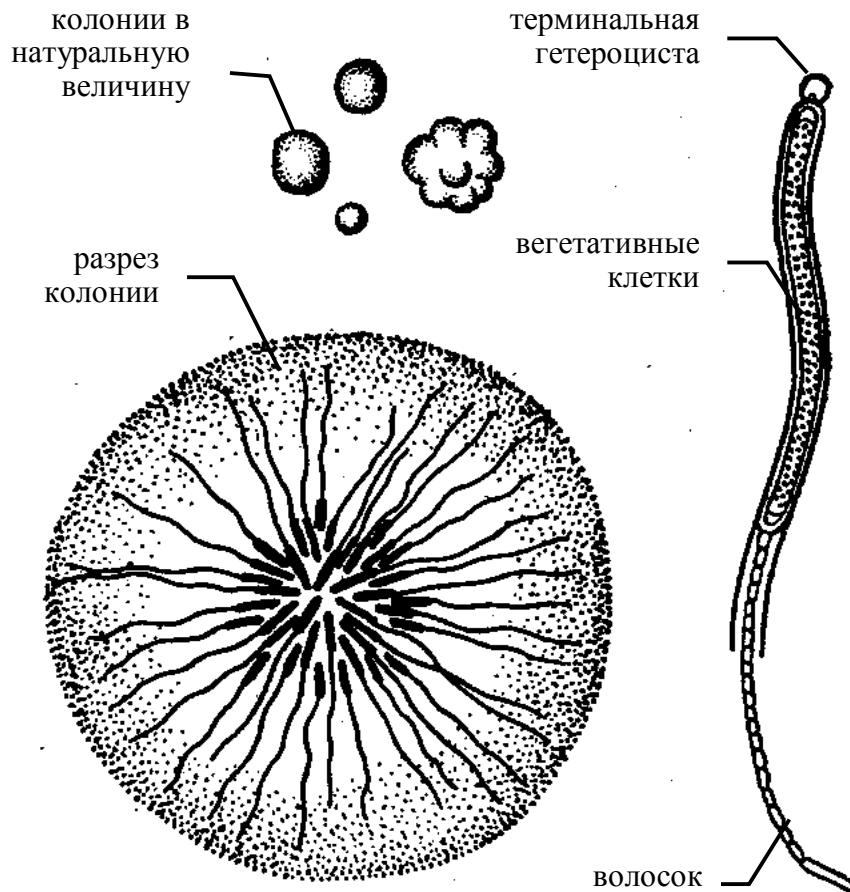


Рисунок 8 – Глеотрихия (*Gloeotrichia natans*) [2]

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

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:**

Отдел синезеленые – *Cyanophyta*

Класс хроококковые – *Chroococcophyceae*

Порядок хроококковые – *Chroococcales*

Род глеокапса – *Gloeocapsa sp.*

Род микроцистис – *Microcystis sp.*

Класс гормогониевые – *Hormogoniophyceae*

Порядок осцилляториевые – *Oscillatoriales*

Род осциллятория – *Oscillatoria sp.*

Порядок ностоковые – *Nostocales*

Род носток – *Nostoc sp.*

Род анабена – *Anabaena sp.*

Род глеотрихия – *Gloeotrichia 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 классы
		Оболочка	Пигменты	Запасные вещества	Особенности			
Синезеленые ( <i>Cyanophyta</i> )								

**Занятие 2 Отдел зеленые водоросли (*Chlorophyta*), класс собственно зеленые (*Chlorophyceae*), порядки: вольвоксовые (*Volvocales*), хлорококковые (*Chlorococcales*)**

- 1 Общая характеристика отдела *Chlorophyta* и класса *Chlorophyceae*
- 2 Разнообразии вольвоксовых водорослей
- 3 Особенности протекания жизненных циклов представителей порядка хлорококковые (*Chlorococcales*)

**1 Общая характеристика отдела *Chlorophyta* и класса *Chlorophyceae***

**Отдел** зеленые водоросли (*Chlorophyta*) – разнообразные по форме, величине, строению и способам размножения. Отдел включает монадные, коккоидные, пальмеллоидные, нитчатые, псевдопаренхиматозные, паренхиматозные, сифональные и сифонокладальные формы, имеющие чисто зеленую окраску, обусловленную присутствием хлорофиллов *a* и *b*, каротина и ксантофиллов. Соотношение пигментов примерно такое же, как у высших растений.

Оболочка клетки состоит из целлюлозы, у немногих пектиновая или гемицеллюлозная, иногда инкрустированная, многослойная, у простейших представлена пелликулой. Протопласт содержит одно или несколько ядер, различное число хроматофоров, у большинства с пиреноидами. У подвижных зеленых водорослей и зооспор встречается стигма, два и более одинаковой длины (изоконтные), подвижности (изодинамические) и внешнего строения (изоморфные) жгутиков. Они могут быть гладкие или покрытые тонкими мастигонемами, некоторые – чешуйками. В клетке имеются вакуоли с клеточным соком (у части представителей – сократительные вакуоли). Запасное вещество – крахмал, откладывается вокруг пиреноида и в строме; иногда запасается масло (волютин).

Размножение вегетативное (деление клетки надвое, распад колоний, деление нитей, образование дочерних ценобиев), бесполое (зооспорами, апланоспорами) и половое. У *Chlorophyta* имеются все известные для водорослей типы полового процесса (изо-, гетеро-, оогамия, хологамия и конъюгация). У части зеленых водорослей в жизненном цикле наблюдается изоморфная или гетероморфная смена поколений (гаметофита и спорофита).

*Chlorophyta* широко распространены: обитают в пресных и морских водоемах, в почве, эпифитно на растениях и животных, встречаются симбионты.



Во многих системах *Chlorophyta* делится на 3 класса: собственно зеленые, или равножгутиковые водоросли – *Chlorophyceae (Isocontae)*, сифоновые водоросли *Siphonophyceae* и конъюгаты – *Conjugatophyceae*.

**Класс** собственно зеленые, или равножгутиковые водоросли (*Chlorophyceae, Isocontae*) занимает центральное положение среди всех зеленых водорослей, характеризуется наличием практически всех типов талломов (кроме ризоподидального, сифонального и сифонккладального). Бесполое размножение обычно осуществляется равножгутиковыми зооспорами, иногда апланоспорами. Обращенных вперед жгутиков может быть 2-4, у некоторых – до 120 (эдогониевые – *Oedogoniales*). Половой процесс хологамный, изогамный, гетерогамный или оогамный. Деление на порядки в пределах класса осуществляется по ступени морфологической дифференциации таллома. Основные порядки: вольвоксовые – *Volvocales*; тетраспоровые – *Tetrasporales*; хлорококковые – *Chlorococcales (Protococcales)*; улотриховые – *Ulotrichales*; кладофоровые – *Cladophorales*; эдогониевые – *Oedogoniales*. Необходимо отметить, что систематика зеленых водорослей окончательно не разработана и не исключены спорные моменты. Так например, *Volvocales, Ulotrichales* и *Chlorococcales* могут возводиться в ранг классов, а положение *Cladophorales* неоднозначно, и этот порядок в некоторых пособиях может рассматриваться в составе класса *Siphonophyceae*.

## **2 Разнообразие вольвоксовых водорослей**

**Порядок** вольвоксовые (*Volvocales*) включает одноклеточные и ценобиальные водоросли, подвижные в вегетативном состоянии. Многие – неподвижные водные слизистые колонии, но с клетками типичного для порядка монадного строения. Клетки наиболее примитивных одеты тонким перипластом, у большинства основа оболочки пектиновая или из гемицеллюлозы. Почти у всех известно пальмеллеподобное состояние, в которое они переходят в неблагоприятных условиях.

**Семейство** хламидомонадовые (*Chlamydomonadinaceae*) включает одноклеточные чаще двужгутиковые водоросли. Одним из типичных представителей семейства является **род** хламидомонас (*Chlamydomonas*). Виды его обитают в мелких хорошо прогреваемых водоемах (временных лужах, канавах), загрязненных органическими веществами. В таких водоемах они способны быстро размножаться и при массовом развитии вызывать зеленое «цветение» воды. Наряду с автотрофным способом питания их клетки способны всасывать через

оболочку растворенные в воде органические вещества, что способствует активизации процессов самоочищения загрязненных вод.

Клетка хламидомонады шаровидная или овальная, одета целлюлозной оболочкой, пропитанной пектиновыми веществами. На переднем конце заметен бесцветный носик (папилла) с отходящими от него двумя жгутиками (рисунок 9). Протопласт обычного для монадных форм строения. Чашевидный хроматофор с одним или несколькими пиреноидами находится в постенном слое цитоплазмы, в хроматофоре выражены ламеллы, имеется крупная стигма (светочувствительный глазок) в верхней его части.

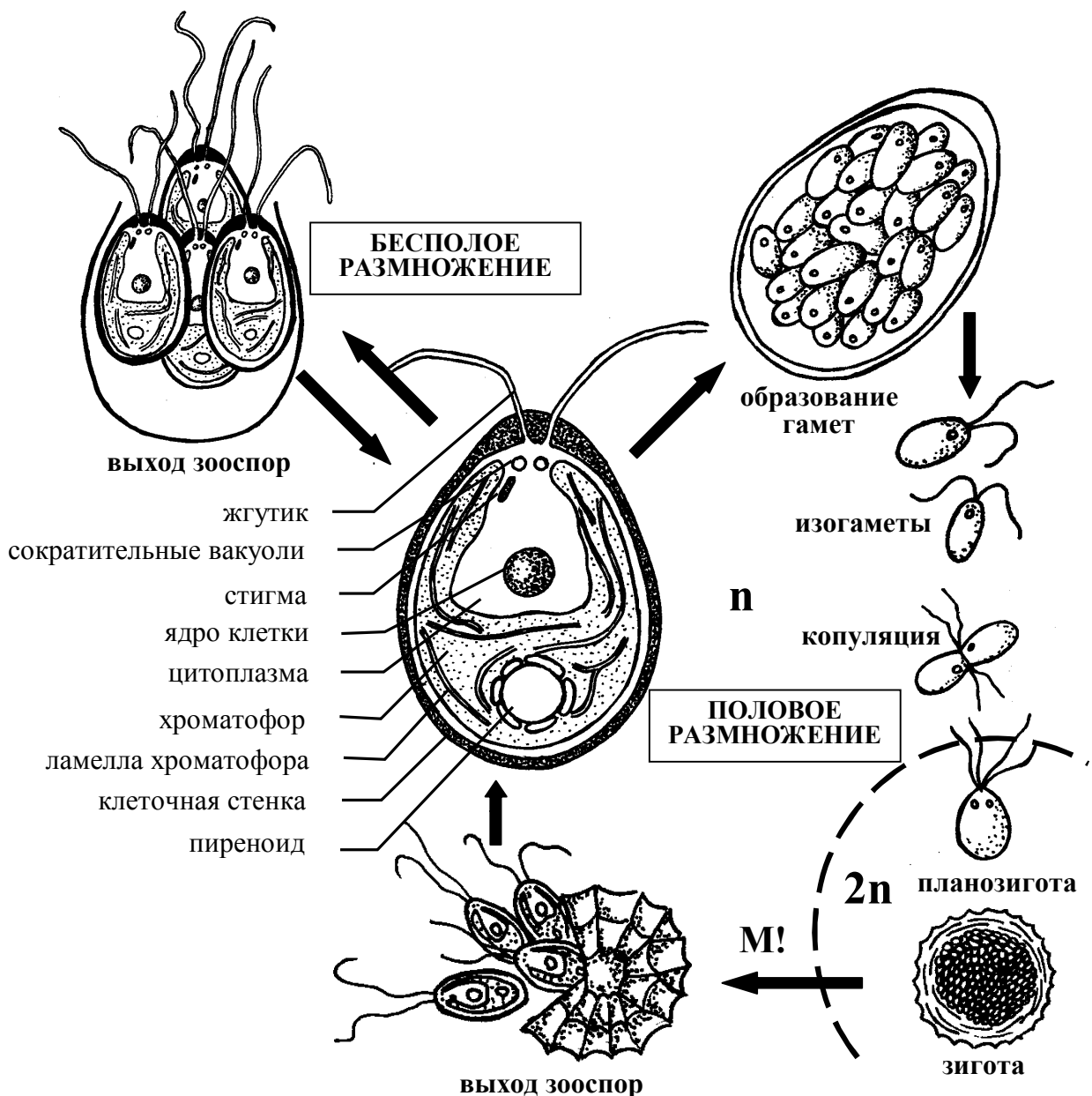


Рисунок 9 – Схема жизненного цикла представителей рода хламидомонада (*Chlamydomonas*)

Продукт ассимиляции (запасное вещество) – крахмал – располагается вокруг пиреноида в виде крахмальной сферы. Две пульсирую-

щие вакуоли заметны на переднем конце клетки у основания жгутиков. Ядро с хорошо различимым ядрышком – в центре клетки. Представители: *Chlamydomonas conferta* – хламидомонада плотная, *Ch. immobilis* – Х. неподвижная.

**Жизненный цикл.** При благоприятных условиях хламидомонада после вегетации размножается двужгутиковыми зооспорами. Они образуются путем деления протопласта материнской клетки на 4 (2-8 и более частей). Покидая оболочку материнской клетки, зооспоры вырастают до ее размеров и снова способны к бесполому размножению. При неблагоприятных условиях (недостатке кислорода, высыхании водоема) клетки могут переходить в пальмеллевидное состояние, одеваясь слизью, а при возврате благоприятных условий вновь вырабатывать жгутики и становиться подвижными. У большинства хламидомонад наблюдается изогамный половой процесс (существуют виды с гетеро- и даже оогамией). Двужгутиковые гаметы образуются чаще по 64 в каждой клетке. В результате полового процесса образуется зигота, которая после периода покоя прорастает четырьмя зооспорами. Перед прорастанием зиготы происходит редукционное деление (мейоз). Таким образом, весь жизненный цикл хламидомонады проходит в гаплоидной ядерной фазе, диплоидна только зигота (гапобионт, редукция зиготическая).

**Семейство** вольвоксовые (*Volvocaceae*) объединяет подвижные ценобиальные организмы. Клетки в ценобии по форме и строению подобны хламидомонаде, но одеты сильно ослизненными оболочками, сам ценобий одет общей оболочкой (инволюкумом). Наиболее яркие представители: *Gonium pectorale* – гониум пекторальный, *G. sociale* – Г. общественный, *Eudorina elegans* – эвдорина изящная, *Pandorina morum* – пандорина ежевикова (рисунок 10), *Volvox globator* – вольвокс шаровидный, *V. aureus* – В. золотистый.

Половой процесс у гониума – изогамный, у пандорины – гетерогамный, у эвдорины и вольвокса – оогамный.

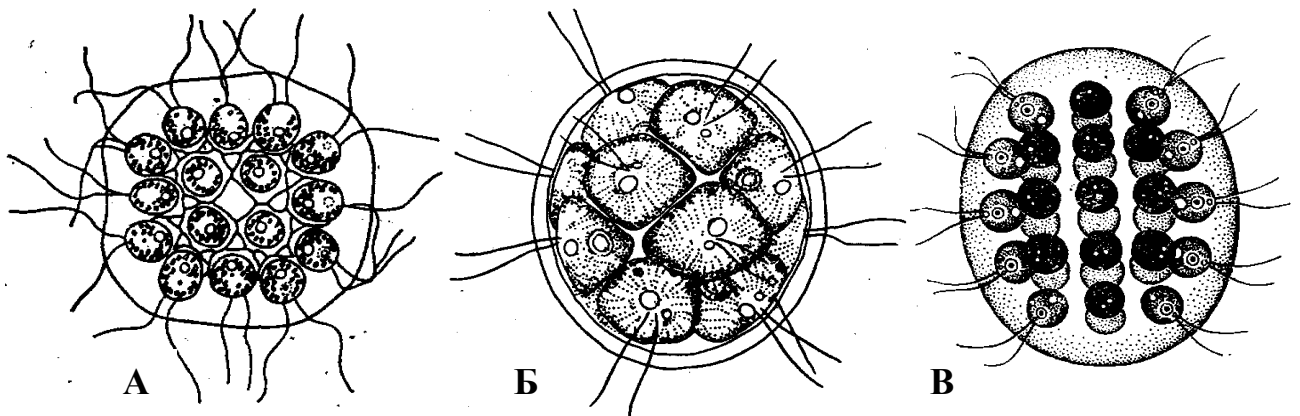


Рисунок 10 – А-*Gonium pectorale*; Б-*Pandorina morum*; В-*Eudorina elegans* [1]

Представители *рода* вольвокс (*Volvox*) имеют вид относительно крупных (до 2 мм) в диаметре шаров (рисунок 11). Шар состоит из 500 – 5000 вегетативных клеток, расположенных в один слой. Плотность шара заполнена слизью.

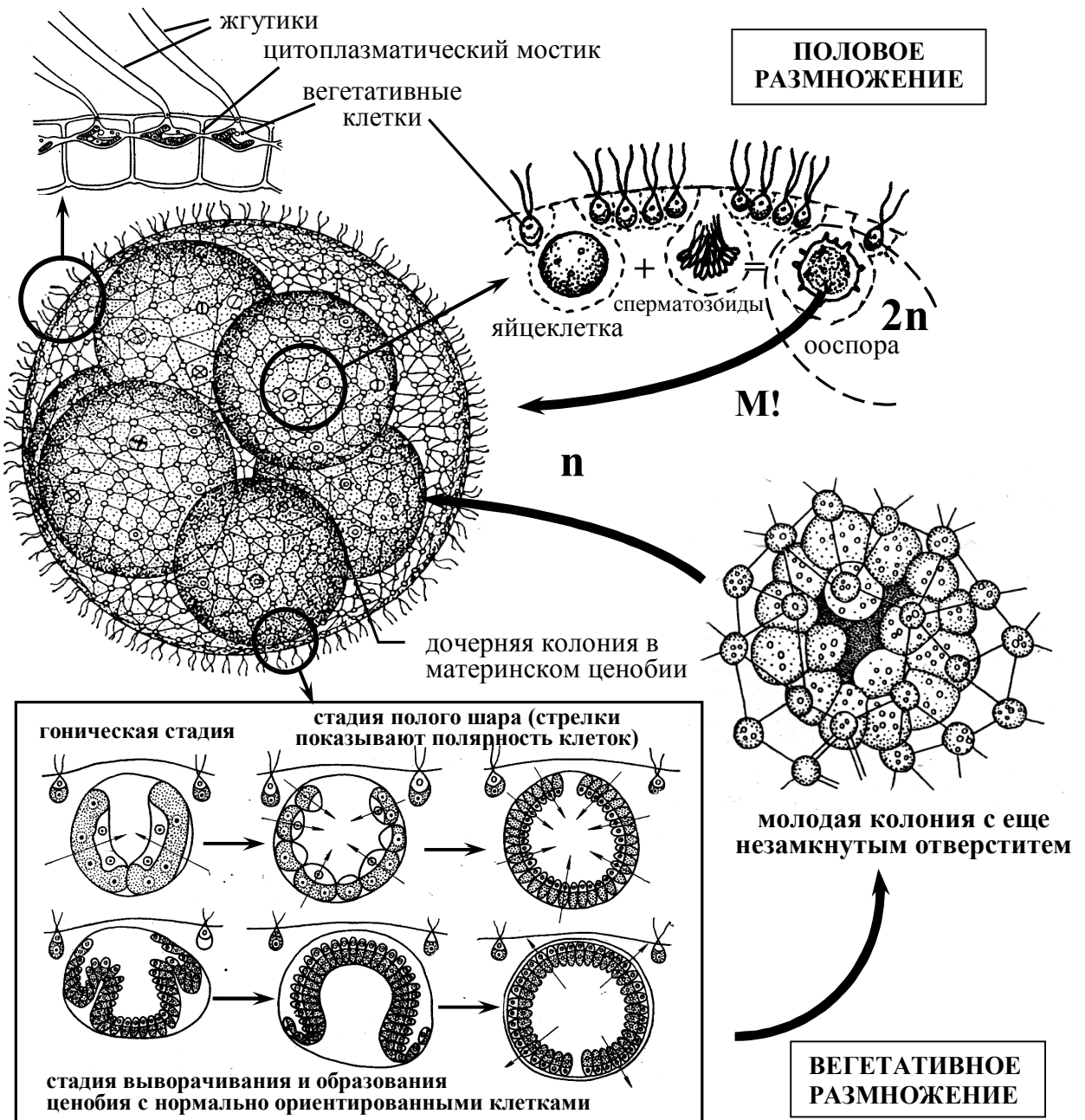


Рисунок 11 – Схема жизненного цикла представителей рода вольвокс (*Volvox*) [по 4]

Кроме вегетативных в ценобии наблюдаются половые клетки и партеногонидии (партеногонии, гонидии). В ценобии ярко выражена полярность: передние вегетативные клетки имеют более крупную стигму, только в задней части ценобия располагаются до 8-10 гонидий. Из этих крупных безжгутиковых клеток образуются дочерние ценобии. Данный процесс включает следующие стадии:

- 1) стадия пластинки (гоническая стадия);

2) стадия полого шара, передние концы клеток которого ориентированы вовнутрь;

3) стадия выворачивания и образования ценобия с нормально ориентированными клетками (жгутиками наружу);

4) стадия перехода дочерних ценобиов в полость материнского;

5) стадия освобождения дочерних ценобиов (при разрыве стенок и гибели материнского).

При половом размножении в задней части колонии развиваются до 10 антерогониев (антеридиев) и оогонидиев (оогониев) в одном или разных ценобиях. В антеридиях образуется по несколько десятков сперматозоидов. Каждый оогоний содержит по одной яйцеклетке. После оплодотворения яйцеклетки образуется зигота (ооспора), которая одевается плотной многослойной оболочкой, наполняется запасными веществами, а после периода покоя редуционно делится. Затем содержимое ее дополнительно делится на большое число клеток, которые внутри материнской складываются в шар. Этот процесс принципиально сходен с образованием дочерних шаров из партеногонидий при бесполом размножении. Вольвокс – гаплобионт (редукция зиготическая).

### ***3 Особенности протекания жизненных циклов представителей порядка хлорококковые (Chlorococcales)***

**Порядок** хлорококковые (*Chlorococcales (Protococcales)*) объединяет одиночные и ценобиальные формы с наиболее выраженной коккоидной структурой таллома, с изогамным (редко оогамным) половым процессом, с плотной целлюлозной оболочкой, размножающиеся зооспорами или автоспорами. Жгутики и стигма характерны только для репродуктивных клеток. У ценобиальных форм споры обычно еще внутри оболочки материнской клетки слагаются в дочерние ценобии, которые, как и у вольвоксовых, растут только за счет увеличения размеров клеток, а их число остается постоянным.

Представители: *Chlorella vulgaris* – хлорелла обыкновенная, *Ch. terricola* – Х. почвенная, *Ch. ellipsoidea* – Х. эллипсоидная, *Chlorococcum humicolum* – хлорококкум наземный; *Hydrodictyon reticulatum* – гидродикцион сеточный («водяная сеточка»), *Pediastrum angulosum* – педиаструм угловатый, *P. araneosum* – П. паутиновидный, *P. biradiatum* – П. двулучевой, *P. simplex* – П. простой, *Scenedesmus quadricauda* – сценедесмус четырехрогий (рисунок 12), *S. acuminatus* – С. остроконечный, *S. denticulatus* – С. мелкозубчатый.

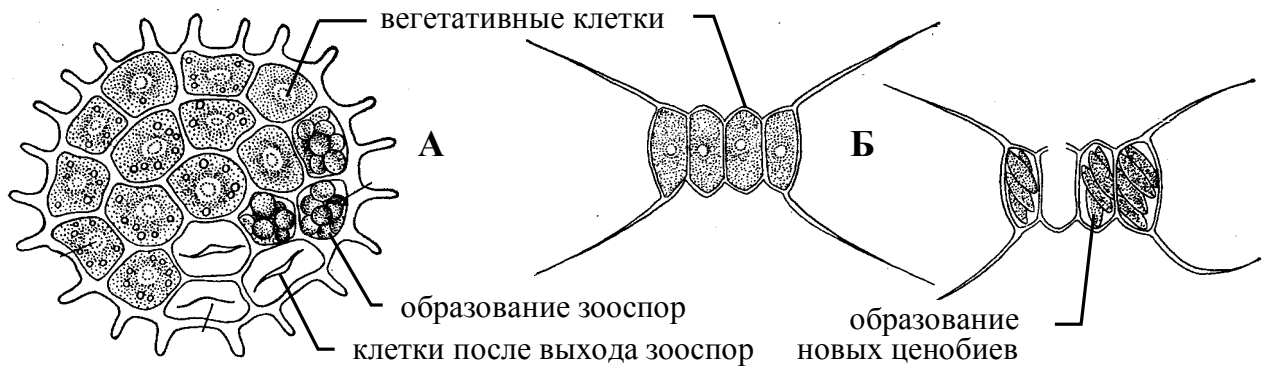


Рисунок 12 – А - *Pediastrum angulosum*; Б - *Scenedesmus quadricauda* [2]

Представители *рода* хлорококкум (*Chlorococcum*) встречаются в пресных водоемах, на влажной почве, на коре деревьев (рисунок 13). Клетки имеют шаровидную форму, одеты целлюлозной (у отдельных видов слоистой) оболочкой, с одним ядром, чашевидным хроматофором с одним пиреноидом. У более старых клеток может встречаться несколько ядер.

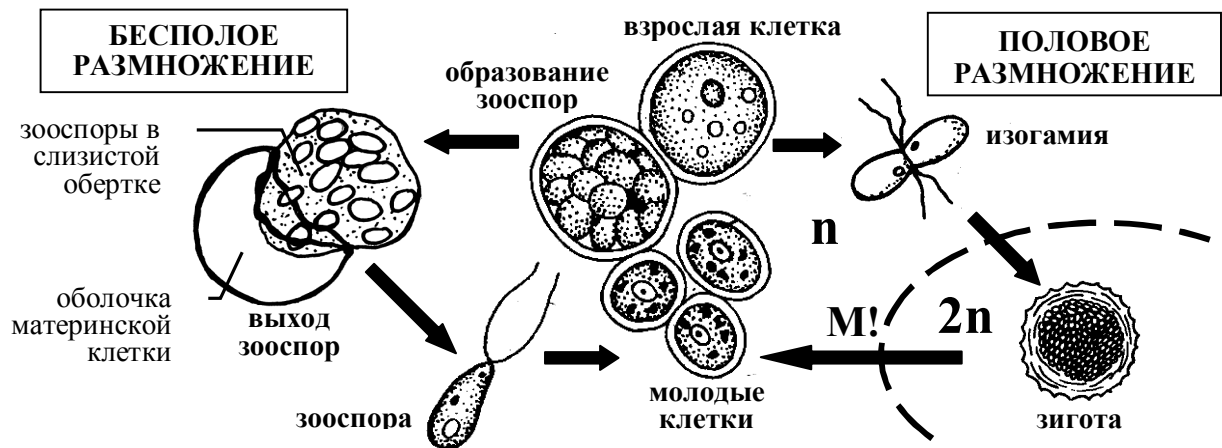


Рисунок 13 – Схема жизненного цикла представителей рода хлорококкум (*Chlorococcum*)

Жизненный цикл. При бесполом размножении в материнской клетке образуется от 8 до 32 двужгутиковых зооспор, которые освобождаются через разрыв оболочки. Через некоторое время они теряют жгутики, одеваются плотной оболочкой и превращаются в неподвижные вегетирующие клетки хлорококкума, постепенно дорастающие до размеров материнской. Половой процесс происходит путем слияния двужгутиковых изогамет, похожих на зооспоры. Зигота прорастает после периода покоя. Редукция зиготическая.

*Род* гидродиктион (*Hydrodictyon*) включает макроскопические водоросли, которые имеют вид длинного замкнутого сетчатого мешка. Таллом гидродиктиона состоит из цилиндрических клеток, сросшихся своими концами по 3-4 так, что образуется сетка из пяти-шестиугольных ячеек, формирующих стенки ценобия (рисунок 14).

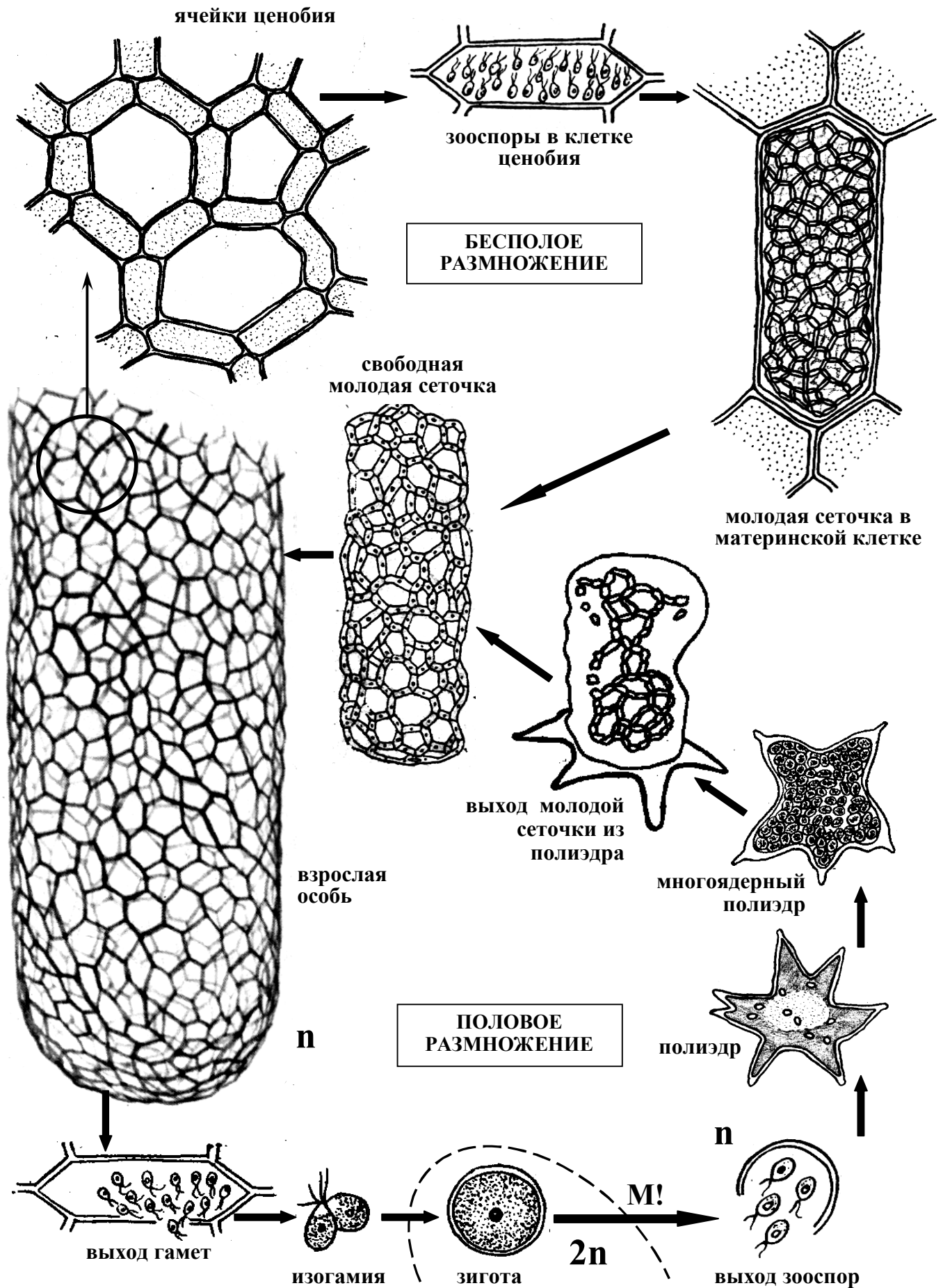


Рисунок 14 – Схема жизненного цикла представителей рода гидродиктион (*Hydrodictyon*) – «водяная сеточка»

Его размеры достигают 1,5 м в длину и 15 см в ширину. Клетки имеют крупную центральную вакуоль. Постенная цитоплазма содержит многочисленные ядра и сетчатый хроматофор со множеством пиреноидов.

**Жизненный цикл.** При бесполом размножении в клетке путем последовательного распада протопласта на более мелкие участки возникает от 7 до 20 тысяч одноядерных двужгутиковых зооспор, которые, не выходя из материнской клетки, некоторое время движутся, затем втягивают жгутики и складываются в дочернюю сеточку. Освободившиеся в результате ослизнения стенки материнской клетки молодые ценобии увеличиваются в размерах только за счет роста размеров клеток (до 1,5 см), образование новых клеток больше не происходит. Половой процесс изогамный, при этом встречающийся на территории Беларуси *Hydrodictyon reticulatum* – однодомный вид (гомоталлический: у него способны копулировать даже гаметы, образованные в одной клетке). Гаметы образуются так же, как и зооспоры, но в большем количестве (до 30 тысяч). Они выходят из материнской клетки, попарно копулируют, образуя шаровидную зиготу. Зигота после периода покоя и редукционного деления прорастает четырьмя зооспорами, которые поплавав некоторое время, останавливаются, и каждая преобразуется в многоугольную, одетую оболочкой клетку – полиэдр. Он увеличивается в размере, становится многоядерным, протопласт его распадается на двужгутиковые зооспоры по числу ядер, которые некоторое время движутся внутри полиэдра и складываются в новую сеточку. Молодая сеточка освобождается через разрыв оболочки полиэдра и вырастает во взрослый ценобий.

**Под** хлорелла (*Chlorella*) имеет одиночные шаровидные или эллиптические клетки, одетые гладкой оболочкой, одноядерные (рисунок 15).

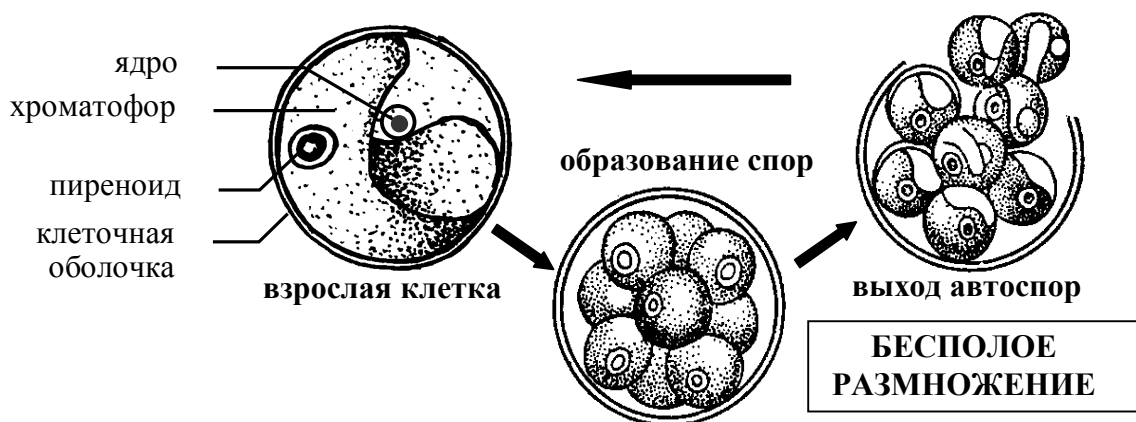


Рисунок 15 – Схема жизненного цикла представителей рода хлорелла (*Chlorella*)



Хроматофор постенный, чаще чашевидный с пиреноидом, иногда сетчато-продырявленный или лопастной. Запасное вещество – крахмал или волютин. Виды хлореллы широко распространены в пресных водоемах, в почве, на коре деревьев, в качестве симбионта встречается в лишайниках, инфузориях и даже гидрах. Она легко культивируется, богата питательными веществами (белками, углеводами, жирами, витаминами), разрабатываются вопросы ее использования в качестве объекта космических исследований.

В жизненном цикле в настоящий момент половой процесс не установлен, и, как следствие, не установлена смена ядерных фаз. Размножается хлорелла автоспорами (неподвижные безжгутиковые споры общим планом строения похожие на взрослую особь). После разрыва или ослизнения оболочки материнской клетки автоспоры освобождаются, и каждая из них вырастает во взрослую особь. Известны покоящиеся стадии – акинеты.

Материалы и оборудование. Слянки с водорослями, постоянные препараты изучаемых объектов, микроскопы МБР – 1Е, препаровальные иглы, чашки Петри, пинцет, предметные и покровные стекла, склянки с водой, пипетки, фильтровальная бумага, двухпроцентный раствор метиленовой сини, таблицы.

Цель: Ознакомиться с представителями класса равножгутиковые водоросли. Изучить особенности протекания жизненных циклов наиболее типичных видов порядков вольвоксовые и хлорококковые.

### Задания

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

Отдел зеленые водоросли – *Chlorophyta*

Класс собственно зеленые, или равножгутиковые водоросли –  
*Chlorophyceae (Isocontae)*

Порядок вольвоксовые – *Volvocales*

Род хламидомонада – *Chlamydomonas sp.*

Род вольвокс – *Volvox sp.*

Порядок хлорококковые – *Chlorococcales*

Род хлорококкум – *Chlorococcum sp.*

Род гидродикцион – *Hydrodictyon sp.*

Род хлорелла – *Chlorella sp.*

2 Приготовить уже известным вам способом препарат хламидомонады, рассмотреть при большом и малом увеличении. **Зарисовать**

**строение клетки хламидомонады**, отметить пектиновую оболочку, ядро, две пульсирующие вакуоли, светочувствительный глазок (стигму), чашевидный хроматофор, пиреноид, жгутики на переднем конце тела. Чтобы рассмотреть жгутики, необходимо окрасить препарат двухпроцентным раствором метиленовой сини или йодом в йодистом калии. Для этого по каплям наносят раствор с одного края покровного стекла, а с противоположной стороны оттягивают воду фильтровальной бумагой. Также изучить и **зарисовать процесс выхода зооспор и схему жизненного цикла хламидомонады** (рисунок 9).

3 Приготовить препарат колонии вольвокса, рассмотреть при малом и большом увеличении микроскопа (для сравнения можно использовать постоянные препараты). **Зарисовать: 1) материнскую колонию вольвокса с расположенными внутри ее дочерними колониями; 2) часть колонии с половыми клетками**, отметив при этом вегетативные клетки, плазмодесмы, партеногонидии, оогонии с яйцеклетками и антеридии со сперматозоидами (рисунок 11).

4 Для приготовления препарата хлорококкума можно использовать зеленый налет с коры деревьев, соскоблив его в каплю чистой воды на предметное стекло. Затем разбить комочки водорослей препаровальной иглой, накрыть покровным стеклом и рассмотреть при малом и большом увеличении микроскопа. **Зарисовать: 1) внешний вид хлорококкума**, отметив оболочку клетки, ядро, хроматофор с одним пиреноидом, цитоплазму и вакуоль; **2) образование зооспор** у данного представителя; **3) отдельную зооспору** водоросли (рисунок 13).

5 Для приготовления препарата гидродикциона (водяной сеточки) в каплю воды на предметное стекло поместить кусочек колонии, расправить препаровальной иглой, накрыть покровным стеклом. Рассмотреть и **зарисовать: 1) ячейку сети**, указав при этом в отдельной клетке оболочку, сетчатый хроматофор с пиреноидами, многочисленные ядра, постенное расположение цитоплазмы; **2) молодую сеточку внутри материнской клетки** (рисунок 14).

6 Приготовить препарат хлореллы и рассмотреть при малом и большом увеличении микроскопа. Сравнить строение клеток хлореллы и хлорококкума. **Зарисовать: 1) отдельную клетку хлореллы**, отметить оболочку клетки, ядро, хроматофор с пиреноидом, цитоплазму и вакуоль; **2) выход автоспор** (рисунок 15).

#### Вопросы для самоконтроля

- 1 Дайте общую характеристику отделу зеленые водоросли.
- 2 Сколько классов включает отдел *Chlorophyta*? Какие признаки лежат в основе такого деления?

3 Охарактеризуйте строение клетки наиболее типичное для порядка вольвоксовые. Перечислите известных вам представителей порядка.

4 Каково строение, распространение и образ жизни хлорококковых?

5 Каково чередование ядерных фаз у вольвоксовых и хлорококковых?

6 Сопоставьте жизненные циклы вольвокса и гидродиктиона.

7 Продолжите заполнение таблицы 1 «Общая характеристика отделов водорослей» (отдел *Chlorophyta*).

### **Занятие 3 Порядки улотриксовые (*Ulothrichales*) и кладофоровые (*Cladophorales*). Класс сифоновые водоросли (*Siphonophyceae*)**

1 Особенности строения представителей порядка улотриксовые (*Ulothrichales*)

2 Место кладофоровых (*Cladophorales*) в системе зеленых водорослей и особенности их строения

3 Общая характеристика и основные представители класса сифоновые (*Siphonophyceae*)

#### ***1 Особенности строения представителей порядка улотриксовые (Ulothrichales)***

**Порядок** улотриксовые (*Ulothrichales*) в подавляющем большинстве представлен индивидами нитчатой, разнонитчатой и пластинчатой структуры. Одноклеточные формы обычно образуют временные короткие нити из небольшого числа клеток или плотные скопления.

У форм, живущих в свободном состоянии, морфологически уловимое различие между верхушкой и основанием нити отсутствует. У прикрепленных организмов базальная и апикальная клетки отличаются от остальных клеток таллома. Апикальная клетка полушаровидная или заостренная, реже – изогнутая. Базальная – обычно имеет форму вытянутого конуса, суженной частью обращенного к субстрату. Пластинчатые (в данном случае – псевдопаренхиматозные; необходимо отметить, что у других таксонов пластинчатая структура тела может быть образована также разнонитчатым и паренхиматозным типом таллома) талломы улотриксовых обычно листовидные или лентовидные, одно- или двуслойные. Может наблюдаться образование между слоями таллома полости, тогда формируется пузыревидное вегетативное тело. Во всех случаях дифференциации вегетативных клеток в талломе не наблюдается.

Вегетативное размножение улотриксовых осуществляется путем фрагментации тела водорослей на многоклеточные участки или отдельными клетками с утолщенной оболочкой и большим количеством запасных питательных веществ – акинетами размножения. Собственно бесполое размножение осуществляется чаще четырех- или двужгутиковыми зооспорами. Половое размножение чаще изогамное, реже гетеро- и оогамное. Споры и гаметы способны образовываться в любой вегетативной клетке, за исключением базальной.

**Под** улотрикс (*Ulothrix*) представлен нитчатыми, неразветвлен-

ными, прикрепленными формами. Клетки цилиндрические или боченковидные с толстыми целлюлозными оболочками. Отличительной чертой рода является строение хроматофора: он постенный, в виде широкой пластинки-пояска, с загибающимися, но не смыкающимися краями. В хроматофоре – несколько пиреноидов.

Жизненный цикл. При бесполом размножении во всех зеленых клетках может образовываться две и более четырехжгутиковых зооспоры. Обычно этот процесс начинается в апикальной клетке и продвигается к основанию нити. Зооспоры выходят из материнской клетки в слизистой обертке («рубашке»), которая вскоре расплывается. После периода движения зооспора останавливается, теряет один за другим жгутики, прикрепляется боковой поверхностью к субстрату и прорастает в нить (рисунок 16).

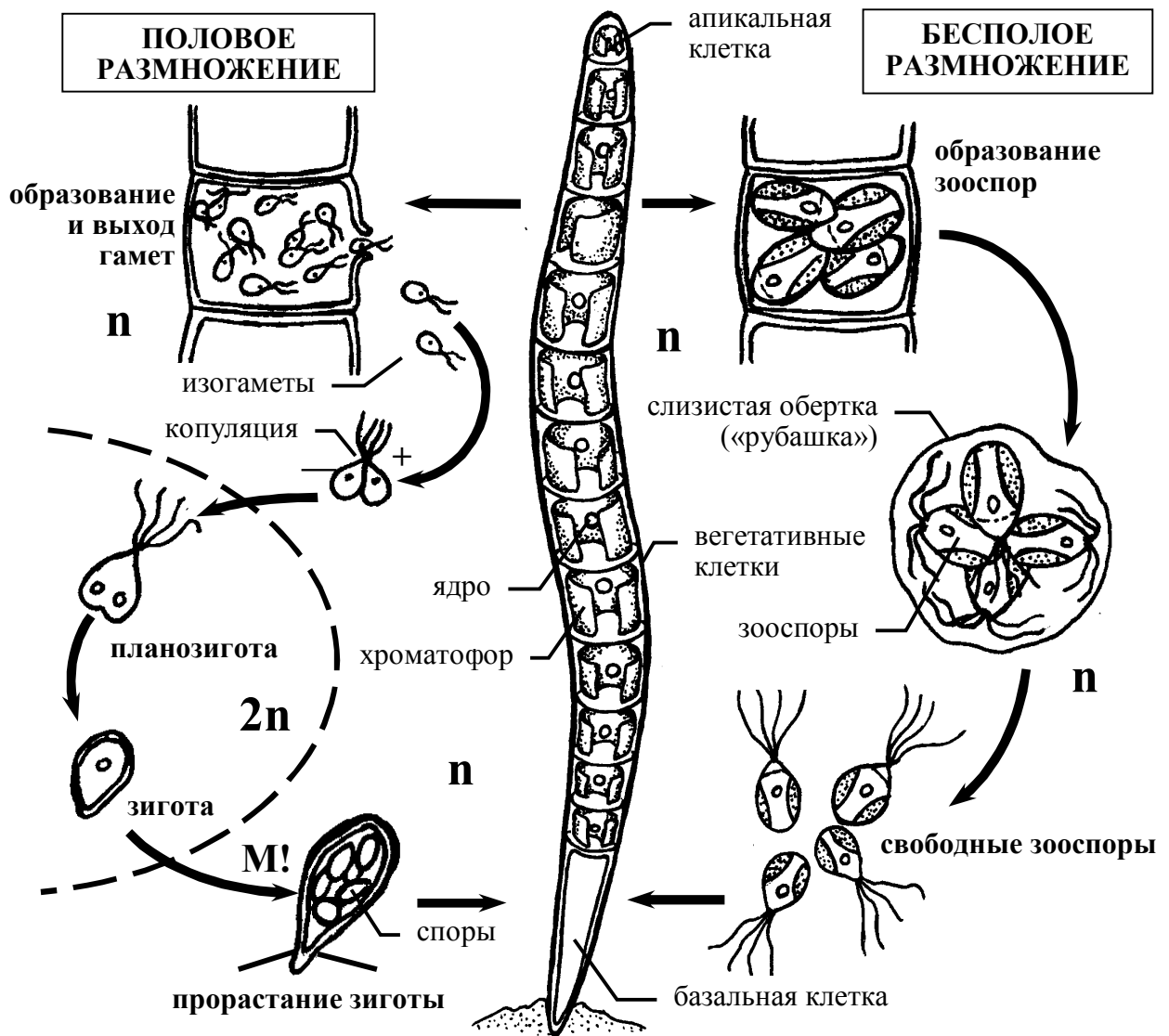


Рисунок 16 – Схема строения таллома и жизненного цикла улотрикса опоясанного (*Ulothrix zonata*)

При половом размножении в вегетативных клетках возникают двухгугутиковые гаметы (до 64 – в каждой клетке). Половой процесс изогамный. У улотрикса опоясанного (*Ulothrix zonata*) наблюдается гетероталлизм, т.е. копулируют гаметы из разных нитей, отличающихся в половом отношении («+» или «-»). В результате копуляции образуется сначала подвижная четырехгугутиковая планозигота, которая после некоторого периода движения прикрепляется к субстрату и округляется. Зигота редукционно делится на 4-16 зооспор или апланоспор. В данном случае – редукция зиготическая, проходящая, однако, с образованием спор.

Зигота способна вырабатывать плотную оболочку и слизистую ножку, поэтому часто рассматривается как одноклеточный спорофит. Таким образом, у улотрикса опоясанного наблюдается гетероморфная смена нитчатого, гаплоидного, многоклеточного гаметофита (способного, однако, образовывать и споры) и одноклеточного диплоидного спорофита.

Для некоторых морских видов характерна изоморфная смена поколений. Зигота прорастает в диплоидную нить, а редукция числа хромосом происходит при образовании зооспор.

**Род** ульва (*Ulva*) характеризуется двуслойным пластинчатым талломом. Оба слоя клеток остаются плотно сомкнутыми. Таллом достигает достаточно крупных размеров (до 25 см), имеет гофрированные края и прикрепляется к субстрату суженным в короткий черешок основанием (рисунок 17).

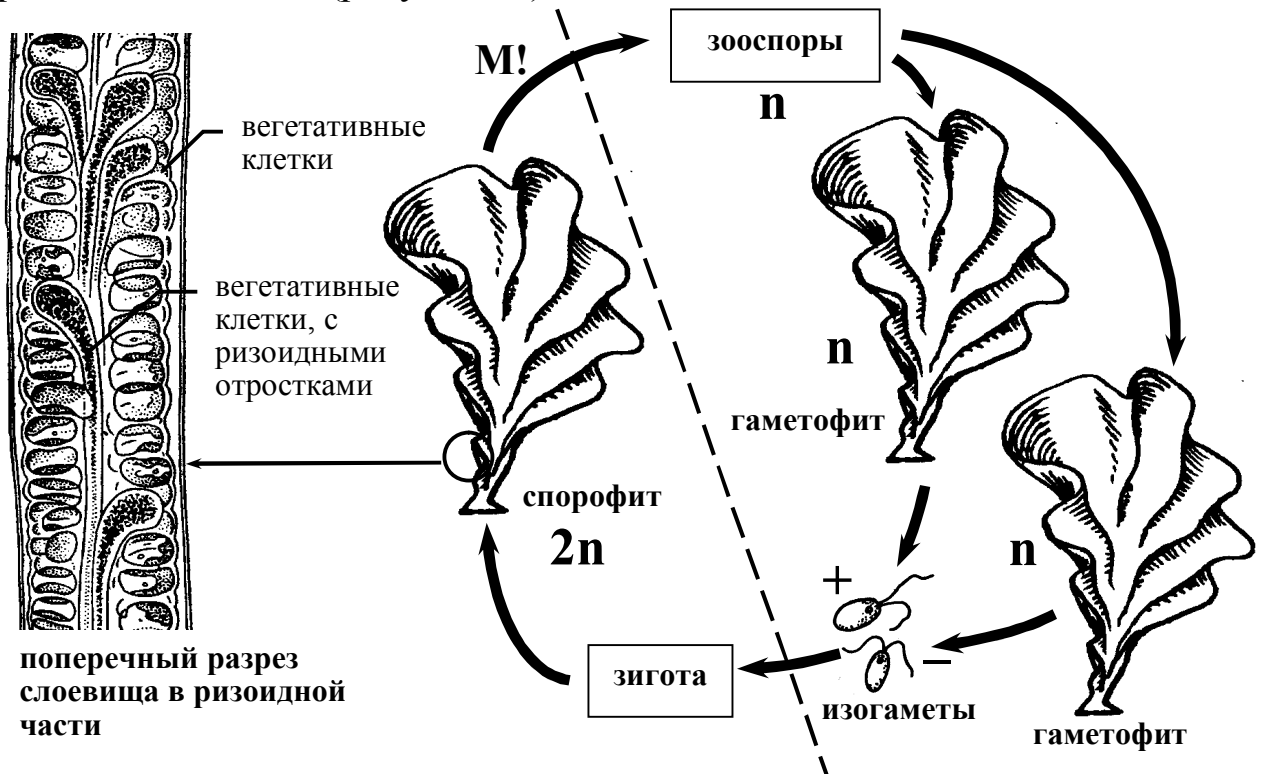


Рисунок 17 – Схема строения таллома и жизненного цикла ульвы (*Ulva*)

Клетки таллома одноядерные с постенным хроматофором, недифференцированные. Среди вегетативных клеток основания таллома иногда наблюдаются более крупные клетки с ризоидными отростками.

Жизненный цикл. У ульвы наблюдается изоморфная смена поколений. Гаметофит и спорофит отличаются только цитологически. Спорофит размножается зооспорами, которые формируются редуциционно в любой вегетативной клетке таллома (спорическая редукция). Зооспоры дают гаплоидную генерацию, которая образует гаметы.

Половой процесс изогамный. Копуляция, как и у улотрикса, происходит лишь при встрече гамет разного знака. Зигота прорастает в диплоидный спорофит без периода покоя. На начальных стадиях развития ульвы формируется однорядная нить, которая преобразуется в пластинку через трубчатую стадию.

## ***2 Место кладофоровых (Cladophorales) в системе зеленых водорослей и особенности их строения***

Порядок кладофоровые (*Cladophorales*) не имеет однозначного систематического положения и в ряде пособий рассматривается в составе класса сифональные (*Siphonophyceae*).

Порядок объединяет водоросли, у которых слоевище представляет собой разветвленные нити кустистой или шаровидной формы. Клетки вытянутые, цилиндрические с толстой, слоистой, не ослизняющейся оболочкой. Цитоплазма постенная, с многочисленными ядрами и сетчатым хроматофором со многими пиреноидами.

Жизненный цикл. Вегетативное размножение осуществляется участками таллома или акинетами, бесполое – зооспорами, которые образуются в зооспорангиях, по форме не отличимых от вегетативных клеток, но более темно окрашенных (рисунок 18). Зооспоры двух- или четырехжгутиковые, выходят через боковое отверстие в стенке спорангия.

Половой процесс изогамный, гаметы двужгутиковые, мельче зооспор. У пресноводной кладофоры скученной (*Cladophora glomerata*) образованию гамет предшествует редуциционное деление. Зигота прорастает в диплоидный таллом. Таким образом, изучаемый вид – диплобионт с гаметической редукцией.

У ряда морских видов установлена изоморфная смена поколений и, в отличие от кладофоры скученной, у них образование зооспор и гамет всегда происходит на разных растениях: гаметы – на гаплоидных гаметофитах, зооспоры – редуциционно, на диплоидных спорофитах.

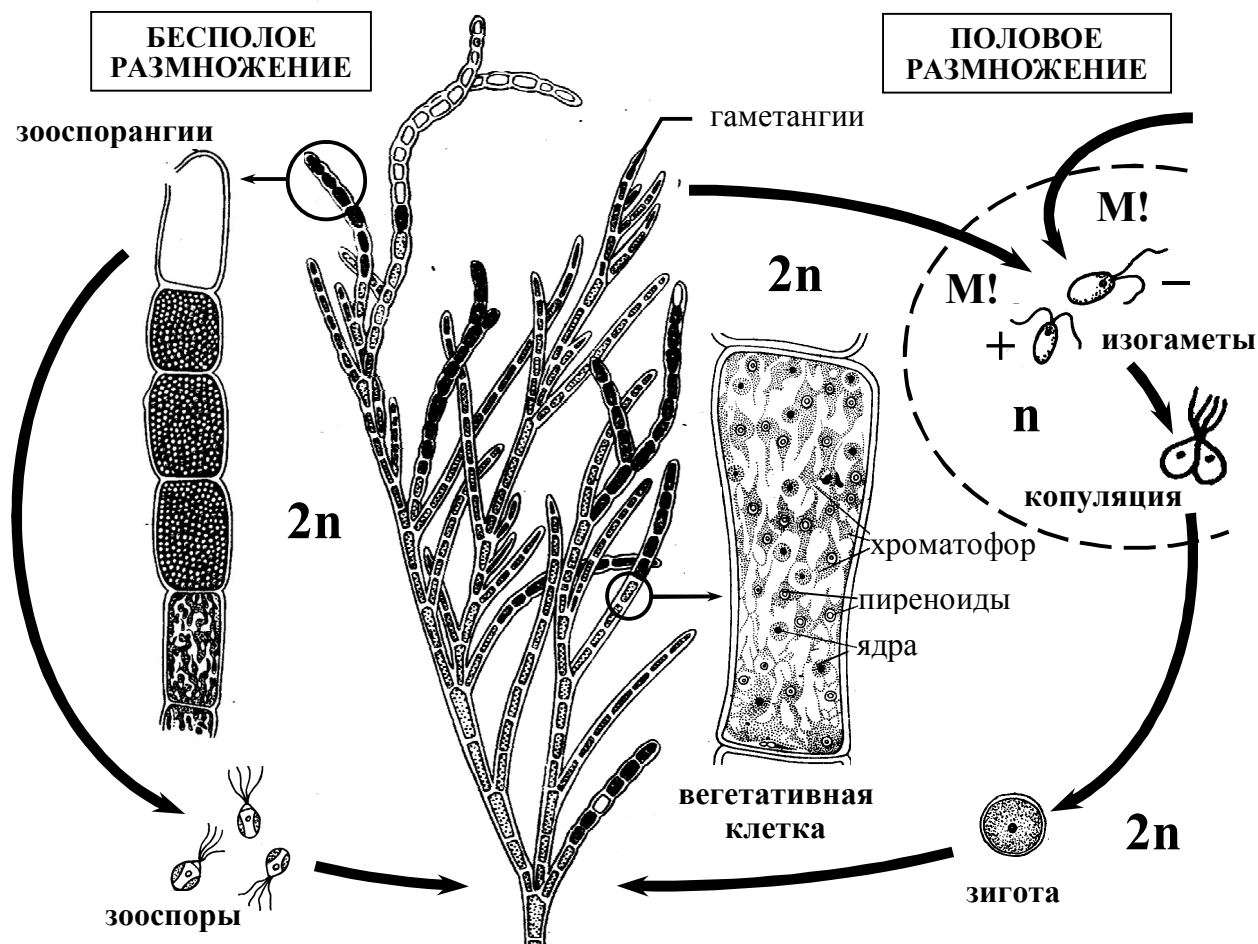


Рисунок 18 – Строение таллома и схема жизненного цикла кладофоры скученной (*Cladophora glomerata*)

### 3 Общая характеристика и основные представители класса сифоновые (*Siphonophyceae*)

**Класс сифоновые (*Siphonophyceae*)** – это водоросли, у которых таллом имеет сифональную структуру. Несмотря на крупные размеры, сложное строение и причудливую форму, вегетативное тело представляет собой одну гигантскую клетку со множеством ядер, но рассматривать их как одноклеточные организмы было бы неправильно. Слоевище представляет собой комплекс не вполне разделившихся клеток. У части видов таллом разделен полными или неполными перегородками на многоядерные участки сходного строения – сегменты или агрегаты (сифонокладальный таллом).

Современные морские сифоновые – обычно макроскопические, некоторые до 0,5 м и более (рисунок 19), отличаются не только большим разнообразием внешнего облика, но и очень сложным расчленением тела на стебле-, листо- и корневищеподобные части. Пресноводные сифоновые водоросли обычно различимы невооруженным глазом и имеют вид слабоветвящихся нитей или шаровидных клеток.



Вегетативное размножение сифоновых зеленых водорослей происходит путем фрагментации таллома, выводковых почек – пропагул, возникающих на верхушке ветвей, иногда акинетами. Кроме того, участки протопласта, вытекшие из таллома при его повреждении (например, у бриопсиса), округляются, формируют оболочку и развиваются в новое растение. Бесполое размножение обнаружено только у видов со сменой поколений и осуществляется шаровидными зооспорами с несколькими ядрами, хроматофорами и венцом жгутиков.

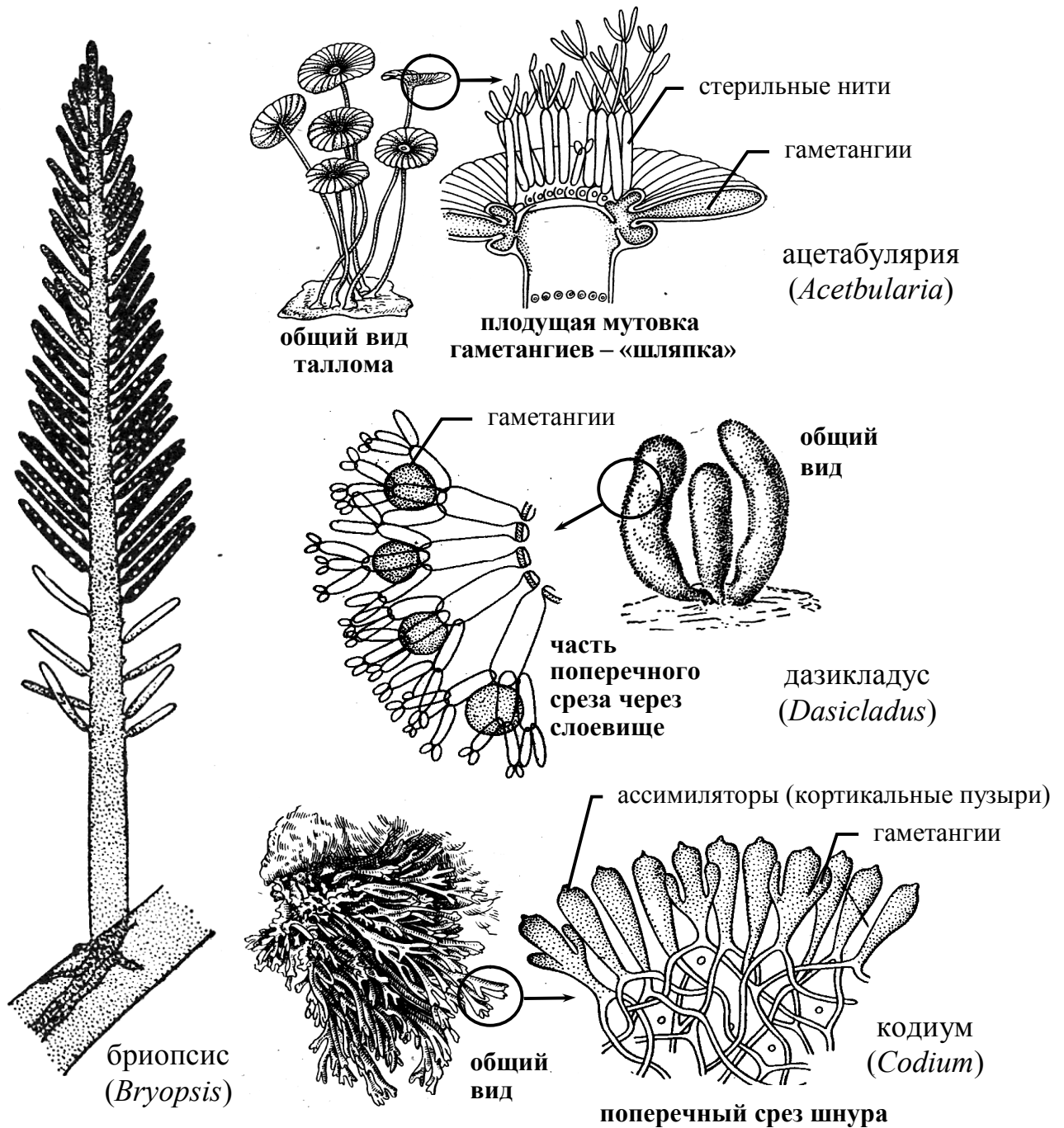


Рисунок 19 – Некоторые представители сифоновых (*Siphonophysaeae*) [3]

Наиболее часто наблюдаемое половое размножение – анизога-

мия. Двужгутиковые гаметы образуются в необособленных частях таллома, такой способ размножения называют голокарпией (каулерпа), или в специализированных гаметангиях (бриопсис, кодиум). Сифоновым водорослям свойственна изоморфная или гетероморфная смена поколений, имеются виды, которые являются диплобионтами.

*Род* каулерпа (*Caulerpa*) объединяет виды, у которых слоевище расчленяется на стелющиеся трубковидные ризоиды с ризоидами (имеют вид цилиндрических сифонов) и вертикально расположенные ассимиляторы («листья») (рисунок 20).

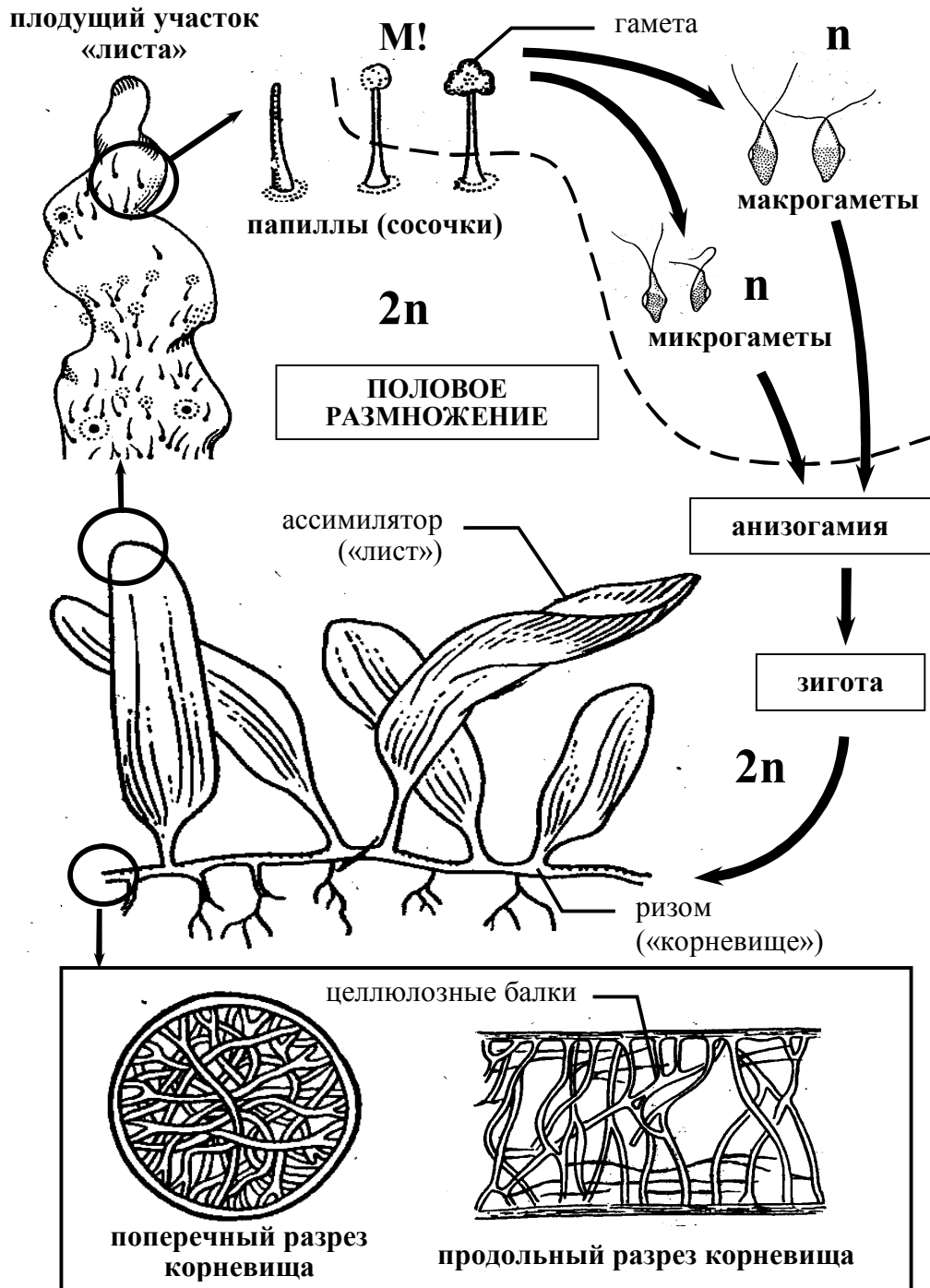


Рисунок 20 – Строение таллома и схема жизненного цикла каулерпы прорастающей (*Caulerpa prolifera*) [2]

В талломе развивается своеобразный внутренний скелет в виде радиальных, перпендикулярных тяжей (целлюлозные балки), которые связаны со стенкой или свободны, одеты цитоплазмой. Окончательно их функция не выяснена, но, по-видимому, они играют роль в повышении механической прочности таллома и заметно увеличивают поверхность, выстланную цитоплазмой. Вертикальные ассимиляторы могут быть разнообразной формы и расчленения (цилиндрические, расположенные мутовками; двухрядно размещенные на вертикальной оси).

У каулерпы прорастающей ассимиляторы листовидные, уплощенные, иногда с вторичными ассимиляторами. Широко распространено вегетативное размножение, когда при отмирании горизонтального «корневища» отдельные участки с вертикальными «листьями» становятся самостоятельными растениями. Бесполое размножение не обнаружено, половое – гетерогамное (анизогамное), имеющее ряд особенностей. У каулерпы нет гаметангиев, гаметы формируются в плодущих участках ассимиляторов, которые приобретают темно-зеленую окраску и сетчатое строение, затем делятся с образованием одноядерных гамет. Участок, где образуются гаметы, не отделяется от остального таллома (голокарпия). Для выхода гамет из таллома служат длинные выросты – папиллы (сосочки). Гаметы освобождаются через разрыв оболочки на верхушке папиллы. Редукционное деление происходит при образовании гамет, а образовавшаяся в результате их слияния зигота вскоре прорастает в новую особь. Таким образом, в цикле развития каулерпы доминирует диплоидная ядерная фаза, гаплоидные лишь гаметы (диплобионт, редукция гаметическая).

Материалы и оборудование. Слянки с водорослями, микроскопы МБР – 1Е, гербарные образцы улотрикса, ульвы и кладофоры, препаровальные иглы, чашки Петри, пинцет, предметные и покровные стекла, слянки с водой, пипетки, фильтровальная бумага, таблицы.

Цель: Ознакомиться с представителями улотриксковых водорослей. Изучить особенности протекания жизненных циклов наиболее типичных видов порядка. Ознакомиться с особенностями представителей класса сифоновые зеленые водоросли.

### **Задания**

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

Отдел зеленые водоросли – *Chlorophyta*

Класс собственно зеленые, или равножгутиковые водоросли – *Chlorophyceae*

Порядок улотриковые – *Ulothrichales*

Род улотрикс – *Ulothrix sp.*

Род ульва – *Ulva sp.*

Порядок кладофоровые – *Cladophorales*

Род кладофора – *Cladophora sp.*

Класс сифоновые водоросли – *Siphonophyceae*

Порядок бриопсидовые – *Bryopsidales (Siphonales)*

Род каулерпа – *Caulerpa sp.*

2 Приготовить препарат, поместив несколько нитей улотрикса на предметное стекло, накрыть покровным. Рассмотреть при малом увеличении микроскопа общий вид нити, при большом – форму и строение отдельной клетки, обратив внимание на хроматофор в виде широкого незамкнутого кольца. **Зарисовать схему жизненного цикла улотрикса** с отображением полового и бесполого размножения.

3 Рассмотреть таллом ульвы на гербарных образцах, отметить его пластинчатость; изучить внутреннее строение таллома. **Зарисовать схему цикла развития ульвы.**

4 Познакомиться с внешним видом кладофоры, приготовить известным способом препарат. Рассмотреть при малом увеличении и **зарисовать часть ветвящегося таллома кладофоры.** Отметить дифференцировку тела на главную ось и боковые ветви, цилиндрическую форму клеток. Рассмотреть и **зарисовать отдельную клетку кладофоры** при большом увеличении микроскопа. Отметить оболочку, цитоплазму, хроматофор, пиреноиды, многоядерность. **Зарисовать зооспорангий.**

5 Рассмотреть и **зарисовать слоевище каулерпы,** отметить стелющиеся трубковидные ризомы и вертикальные ассимиляционные побеги. **Зарисовать схему жизненного цикла каулерпы.**

#### Вопросы для самоконтроля

1 Охарактеризуйте особенности строения, размножения и протекания жизненных циклов улотрикса; ульвы.

2 Какие формы порядка улотриковых отклоняются от общей для зеленых водорослей схемы смены ядерных фаз?

3 Строение клетки, размножение и смена ядерных фаз у представителей порядка кладофоровые.

4 Дайте характеристику классу *Siphonophyceae*, назовите основных представителей класса.

5 Строение, размножение и цикл развития каулерпы.

**Занятие 4 Отдел зеленые водоросли (*Chlorophyta*), класс конъюгаты (*Conjugatophyceae*). Отдел харовые водоросли (*Charophyta*)**

- 1 Отличительные черты класса конъюгаты (*Conjugatophyceae*)
- 2 Общая характеристика отдела харовые (*Charophyta*)

**1 Отличительные черты класса конъюгаты (*Conjugatophyceae*)**

**Класс** конъюгаты (*Conjugatophyceae*) является одной из самых больших групп среди зеленых водорослей, представленной в основном пресноводными организмами. Большинство конъюгат одноклеточные (*Mesotaeniales* (рисунок 21), *Desmidiiales*), симметрично построенные индивиды, зеленого или изумрудного цвета. Форма клеток очень разнообразна. У многих видов клетки перешнурованы посередине (рисунок 22) и состоят из двух одинаковых полуклеток (*Desmidiiales*). Многие формы конъюгат образуют типичные нити, некоторые рыхлые колонии (*Desmidiiales*, *Gonatozygotales*, *Zygnematales*).

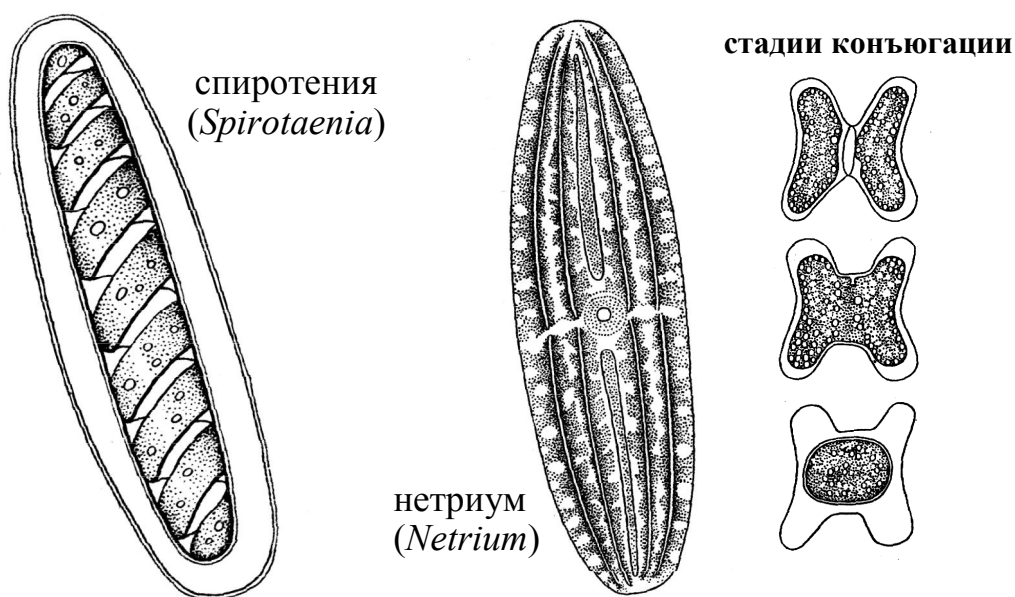


Рисунок 21– Представители порядка мезотениевые (*Mesotaeniales*) [2]

Самая яркая отличительная черта конъюгат, позволяющая объединить их в особый класс – полное отсутствие подвижных жгутиковых стадий размножения (зооспор и подвижных гамет) и наличие своеобразного полового процесса – конъюгации.

Оболочки клеток целлюлозные, ослизняющиеся. Клетки одноядерные, содержат крупные осевые или постенные хроматофоры пластинчатой, лентовидной, звездчатой, спиралевидной формы. Пиреноиды хорошо выражены, множественные.

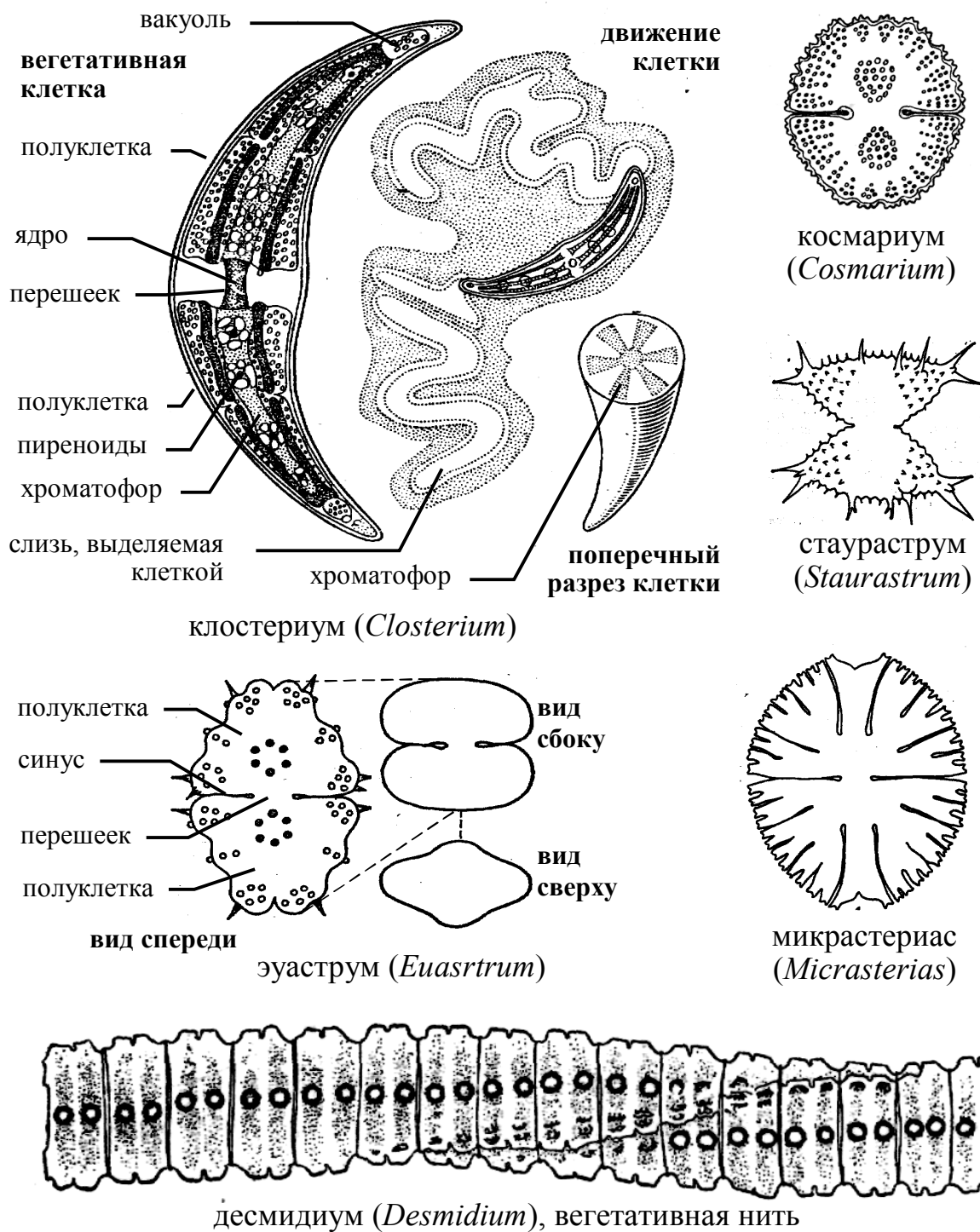


Рисунок 22 – Представители порядка десмидиевые (*Desmidiiales*) [1]

Размножаются конъюгаты половым и вегетативным путем.

Вегетативное размножение осуществляется за счет деления клеток, распада нитей (на участки и даже клетки, способные регенерировать целую нить), изредка образующихся партеноспор, акинет, служащих также и для переживания неблагоприятных условий. Деление клеток отличается по таксонам, наиболее своеобразно у десмидиевых.

При делении их клетки ядро, расположенное в перешейке, делится и расходится к центрам полуклеток. Затем область перешейка

делится поперечной перегородкой и вытягивается, старые полуклетки отделяются друг от друга (рисунок 23). Перешеек раздувается, и образовавшиеся полуклетки (временно соединенные своими вершинами) быстро растут и достигают нормального размера. Когда молодые полуклетки созревают, их оболочки разъединяются. Образовавшиеся особи, соответственно, содержат более старую и более молодую полуклетки.

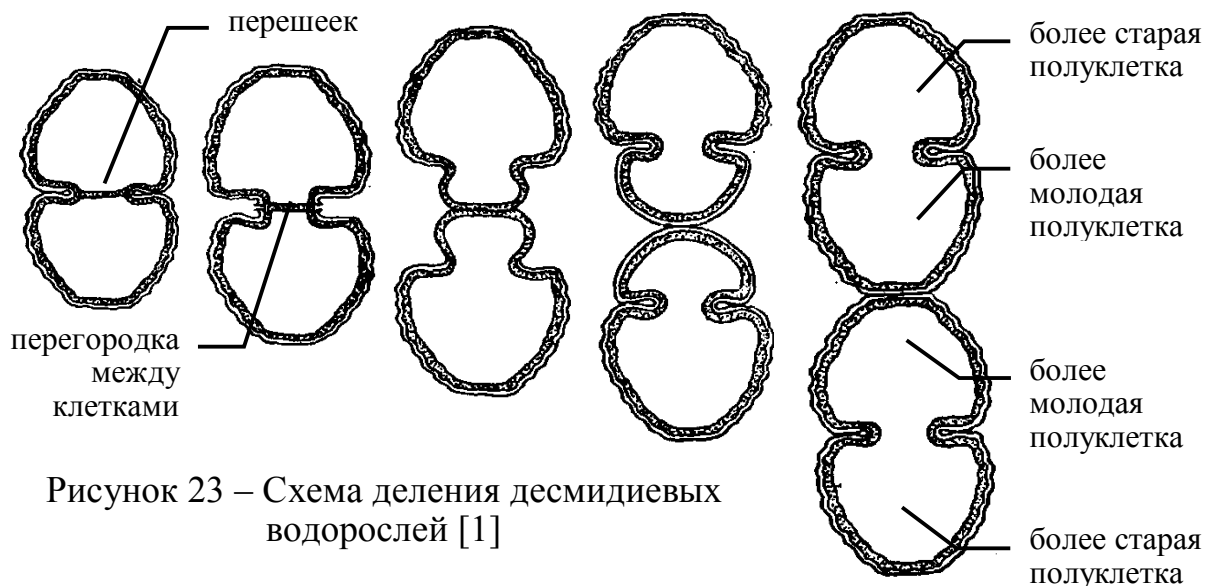


Рисунок 23 – Схема деления десмидиевых водорослей [1]

Конъюгация представляет собой слияние протопластов вегетативных клеток. Если скорость их перетекания одинакова, а слияние происходит в копуляционном канале, то половой процесс условно называют изогамным (физиологическая изогамия). При полном перетекании одного протопласта в воспринимающую клетку более подвижный протопласт называют мужским, а воспринимающую клетку – женской. В этом случае половой процесс носит название физиологической гетерогамии. После периода покоя и редукционного деления зигота прорастает 1-4 проростками.

В классе выделяют четыре порядка (мезотениевые – *Mesotaeniales*, гонатозиговые – *Gonatozygotales*, зигнемовые – *Zygnematales*, десмидиевые – *Desmidiiales*), в основу систематики положены особенности строения клеток и количество жизнеспособных проростков.

**Порядок** зигнемовые (*Zygnematales*) характеризуется в основном нитчатыми талломами. Нити неветвящиеся, свободноплавающие, как правило, состоящие из одного ряда цилиндрических клеток, одетых цельной оболочкой без пор и слизистым чехлом. Центр клетки занят крупной вакуолью, цитоплазма – постенная.

Вегетативное размножение осуществляется благодаря разрыву нитей или в результате отмирания промежуточных клеток. Половой

процесс – конъюгация, но благодаря нитчатому строению имеет некоторые внешние особенности. Чаще наблюдается лестничная конъюгация, когда нити располагаются параллельно друг другу и склеиваются слизью, после чего противоположащие клетки образуют навстречу друг другу выросты, постепенно раздвигающие нити (так возникает фигура в виде лестницы). Стенки на соприкасающихся концах отростков растворяются, и образуется конъюгационный канал, через который более подвижный протопласт перетекает в воспринимающую клетку. Сокращение протопласта и отставание его от клеточной стенки обусловлено диффузией жидкости из центральной вакуоли в возникающие сократительные вакуоли, которые впрыскивают ее в полость между плазмолеммой и стенкой клетки. Помимо лестничной у этих же видов наблюдается и боковая конъюгация (рисунок 24), когда конъюгационные отростки образуются между соседними клетками одной нити.

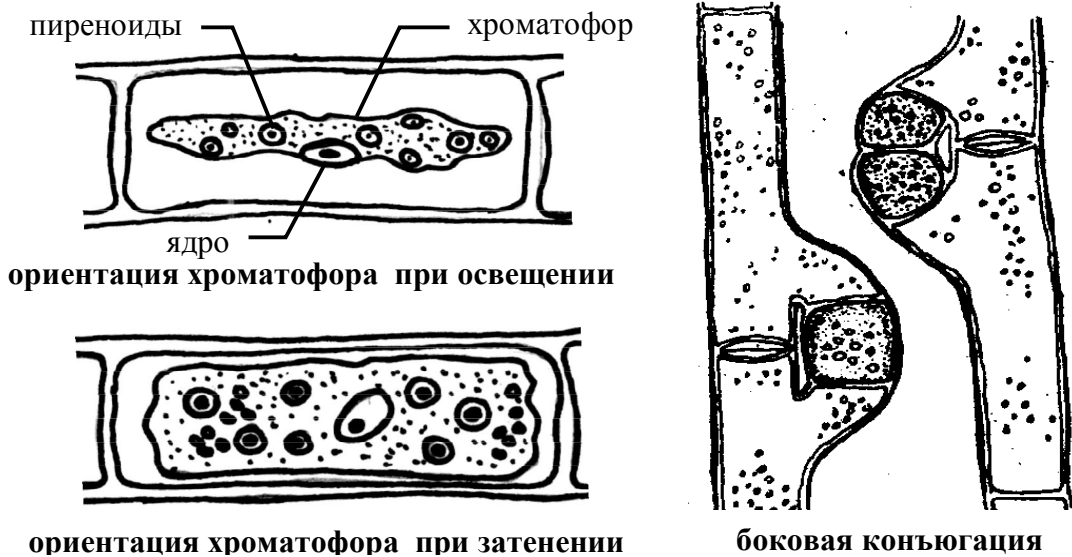


Рисунок 24 – Представитель рода мужоция (*Mougeotia*)

Наиболее характерными представителями порядка являются различные виды **родов** мужоция (*Mougeotia*), зигнема (*Zygnema*) и спирогира (*Spirogira*). Представители рода мужоция (*Mougeotia*) встречаются чаще в стоячих водоемах, иногда затягивая их поверхность желто-зеленой тиной, и характеризуются наличием пластинчатого осевого хроматофора с несколькими пиреноидами (рисунок 24). Хроматофор обращен широкой стороной к свету, но при чрезмерном освещении может повернуться на 90° и стать к свету ребром. Такой поворот занимает около 30 мин. Ядро прилегает к одной из сторон хроматофора. Два осевых звездчатых хроматофора, каждый с крупным центральным пиреноидом, наблюдается у представителей рода зигнема



(*Zygnema*) (рисунок 25). Ядро расположено в цитоплазматическом мостике, соединяющем хроматофоры.



Рисунок 25 – Представитель рода зигнема (*Zygnema*)

Хроматофоры наиболее распространенного рода спирогира (*Spirogyra*) в виде одной или нескольких лент расположены в постенной цитоплазме и опоясывают клетку по спирали (рисунок 26). Спирогира обитает в стоячих и медленно текущих водоемах, нередко образует большие массы тины ярко-зеленого цвета.

Края хроматофоров городчатые или рассеченные, у многих видов посередине проходит гребень, вдающийся в направлении центра клетки. По средней линии хроматофора располагаются пиреноиды, окруженные крахмальными зернами. Одно ядро, окруженное слоем цитоплазмы, расположено в центре клетки, в середине вакуоли и подвешено на цитоплазматических тяжах, отходящих от постенной цитоплазмы.

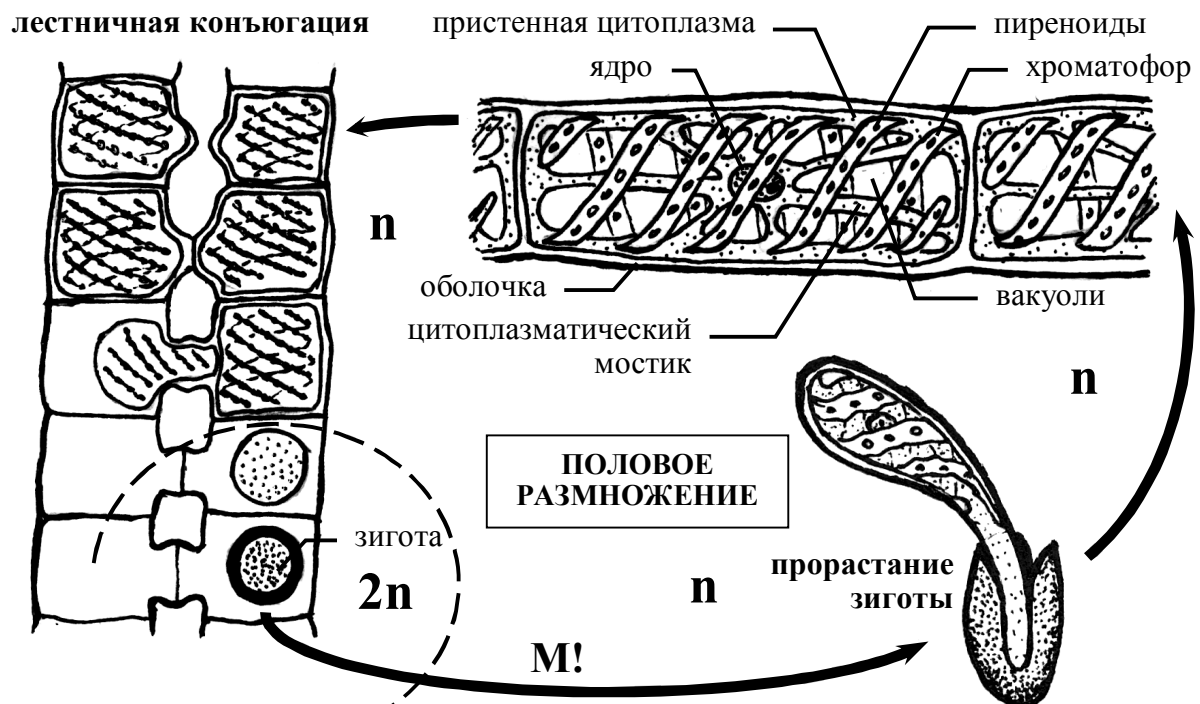


Рисунок 26 – Схема жизненного цикла и строения таллома представителей рода спирогира (*Spirogyra*)

В жизненном цикле зигнемовых, как и всех конъюгат, преобладает гаплоидная ядерная фаза. Половой процесс – конъюгация (чаще лестничная). Образовавшаяся в результате слияния протопластов зигота округляется, выделяет толстую трехслойную оболочку и переходит в состояние покоя. В молодой зиготе еще можно различить хроматофоры, при этом в случае физиологической гетерогамии мужские хроматофоры разрушаются, а остаются только женские. Ядра сливаются незадолго до прорастания зиготы. При прорастании зиготы происходит редукционное деление, но из четырех гаплоидных ядер остается жизнеспособным только одно, оно и развивается в проросток.

## **2 Общая характеристика отдела харовые (*Charophyta*)**

**Отдел** харовые водоросли (*Charophyta*) представлен одним порядком *Charales*. Это своеобразная высокоорганизованная группа макроскопических пресноводных водорослей, достигающих 20-30 см (иногда 1-2 м) и по внешнему виду похожих на высшие растения – хвощи. Клетки лучиц (второе название харовых водорослей) покрыты плотной, толстой оболочкой. Внутренний слой целлюлозный, наружный состоит из каллозы и пропитан известью. В постенной цитоплазме находятся многочисленные мелкие дисковидные хроматофоры, лишенные пиреноидов. В удлиненных клетках коры хроматофоры располагаются заметными рядами. Набор пигментов сходен с таковым зеленых водорослей (хлорофиллы *a* и *b* и почти полностью те же каротиноиды). В качестве запасного питательного вещества вырабатывается крахмал. Клетки, способные к делению, одноядерные, не способные делиться клетки междуузлий – во взрослом состоянии многоядерные, содержат крупные ядра лопастной формы, размножающиеся амитотически.

Таллом харовых водорослей (псевдопаренхиматозного типа) имеет мутовчатое строение и состоит из неограниченно нарастающих осей («стебли») и боковых ветвей ограниченного роста («листья»). И «стебли», и «листья» состоят из узлов и междуузлий. Узел состоит из центральных и нескольких периферических клеток, из которых образуются боковые побеги. Междуузлие образовано одной гигантской многоядерной клеткой, часто покрытой «корой» из нескольких клеток, которые в виде полосок растут из верхнего и нижнего узлов и соединяются посередине междуузлия. Нарастание таллома в длину обусловлено деятельностью верхушечной клетки. Она попеременно откладывает при делении двояковыпуклые и двояковогнутые клетки. Двояковыпуклая клетка преобразуется в центральную многоядерную клетку междуузлия, а двояковогнутая претерпевает ряд продольных

делений и образует все структуры узла, боковые побеги и клетки коры. Таллом прикрепляется посредством многоклеточных разветвленных ризоидов, возникающих из периферических клеток нижнего узла главной оси.

Наиболее характерными представителями являются виды из рода хара (*Chara*) (рисунок 27).

Жизненный цикл. Бесполого размножения у харовых не отмечено. Вегетативное осуществляется с помощью ризоидных клубеньков и нарастания горизонтальных побегов. Половой процесс исключительно оогамный.

Антеридии и оогонии формируются на вторичных боковых побегах ограниченного роста, вырастающих из верхних узлов «листьев». Оогоний направлен вверх, содержит одну яйцеклетку, окруженную корой из пяти защитных спирально завитых клеток, которые на ранних стадиях формирования отчленяют на верхушках клетки коронки. Клетки коронки при созревании яйцеклетки слегка разъединяются и образуют щель для проникновения сперматозоида. Антеридий состоит из восьми щитков, плотно соединенных зазубренными краями и выпуклой стороной обращенных наружу. С внутренней стороны на щитке в центре крепится рукоятка с первичной головкой, на которой расположены шесть вторичных головок. На каждой из них развиваются сперматогенные нити, обычно раздвоенные у основания и плотным клубком заполняющие полость антеридия. Нити состоят из дисковидных клеток (до 300), в которых образуется по одному спирально изогнутому сперматозоиду. Сперматозоиды высвобождаются при расхождении щитков антеридиальной стенки и ослизнении стенок клеток сперматогенных нитей.

После оплодотворения яйцеклетка выделяет целлюлозную оболочку, а внутренние стенки защитных клеток опробковывают, в них также может откладываться кремнезем, а в полости этих же клеток – обычно еще и известь. Образовавшаяся таким образом ооспора проходит период покоя.

При прорастании ооспоры ее ядро претерпевает редукционное деление, из четырех ядер только одно отделяется в верхней клетке (три других оказываются в нижней клетке, богатой запасными веществами, а затем дегенерируют). Верхняя клетка прорывает стенку ооспоры и образует первый ризоид и проросток, на котором развивается затем нормальный побег.

Наиболее распространенными лучицами в Беларуси являются представители семейств харовые (*Characeae*) и нителловые (*Nitellaceae*). Семейство нителловые отличается отсутствием коры и некоторых других структур, а также коронкой оогония, состоящей из 10 клеток.

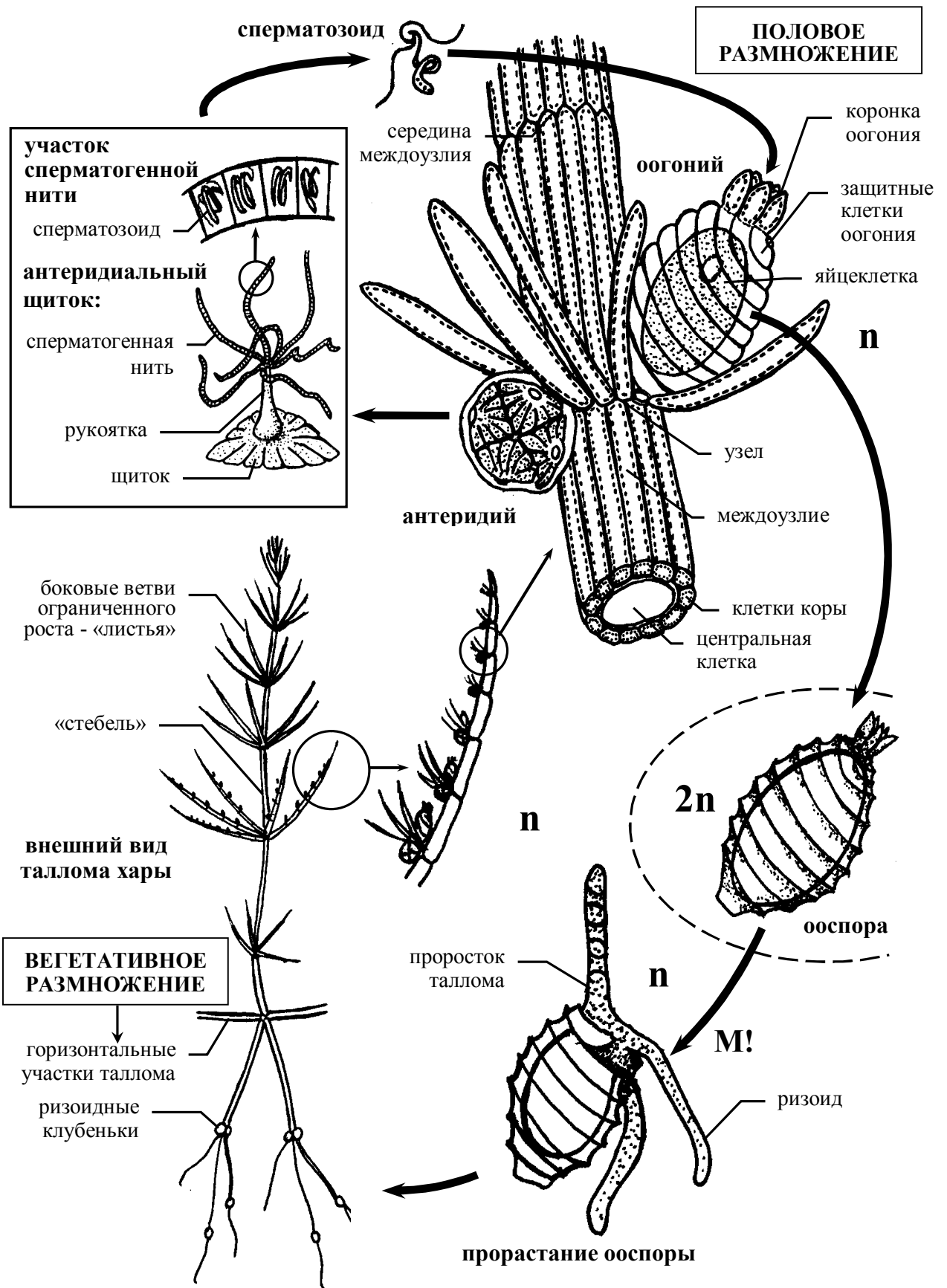


Рисунок 27 – Схема жизненного цикла представителей рода хары (*Chara*)

Распространены харовые водоросли в прудах, озерах и тихих водах рек, в местах с илистым или песчаным дном на глубине до пяти метров, предпочитая водоемы с чистой жесткой водой, насыщенной растворимыми солями кальция.

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 класса конъюгаты. Изучить особенности организации и общие черты жизненных циклов. Ознакомиться с особенностями строения и размножения хары как представителя отдела харовые водоросли.

### Задания

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

Отдел зеленые водоросли – *Chlorophyta*

Класс конъюгаты – *Conjugatophyceae*

Порядок зигнемовые – *Zygnematales*

Род спирогира – *Spirogyra sp.*

Род зигнема – *Zygnema sp.*

Род мужоция – *Mougeotia sp.*

Отдел харовые водоросли – *Charophyta*

Класс харовые – *Charophyceae*

Порядок харовые – *Charales*

Род хара – *Chara sp.*

2 Приготовить препарат спирогиры, рассмотреть вначале нить, затем отдельную клетку водоросли, **зарисовать строение клетки.** Отметить оболочку, цитоплазму, ядро в цитоплазматическом мешочке, вакуоль, спирально закругленный хроматофор с пиреноидами. На готовом препарате рассмотреть и **зарисовать стадии лестничной конъюгации спирогиры:** появление боковых выростов, образование копуляционного канала, переливание протопластов через канал, формирование зиготы.

3 Приготовить препарат и рассмотреть зигнему при малом и большом увеличении микроскопа. **Зарисовать отдельную клетку зигнемы.** Отметить оболочку, цитоплазму, ядро в цитоплазматическом мостике, два хроматофора звездчатой формы, в центре которых находится по пиреноиду.

4 Познакомиться на приготовленном препарате с внешним видом мужоции вначале при малом увеличении микроскопа, затем при большом. **Зарисовать отдельную клетку мужоции в двух положениях:** с хроматофором в плане и с хроматофором в профиль. Отметить оболочку, цитоплазму, ядро, пластинчатый хроматофор, пиреноиды.

5 Рассмотреть и **зарисовать таллом хары**. Обратит внимание на внешнее сходство хары с листостебельными растениями. Отметить стебель с узлами и междоузлиями и боковые ветви, расположенные мутовчато, а также ризоиды с клубеньками. При малом увеличении микроскопа рассмотреть **строение узла с оогонием и антеридием** (можно использовать постоянный препарат) и **зарисовать**.

#### Вопросы для самоконтроля

1 Какие признаки легли в основу выделения класса конъюгаты, на какие порядки он делится?

2 Охарактеризуйте строение клетки зигнемовых на примере спирогиры.

3 Какова особенность полового размножения у представителей класса *Conjugatophyceae*? Сравните процессы лестничной и боковой конъюгаций.

4 Какие признаки в организации харовых позволяют говорить о них как о наиболее высокоорганизованных водорослях?

5 Охарактеризуйте строение таллома и органов полового размножения харовых водорослей.

6 Как осуществляется смена ядерных фаз у харовых водорослей?

7 Продолжите заполнение таблицы 1 «Общая характеристика отделов водорослей» (отдел *Charophyta*).

## Занятие 5 Отдел желтозеленые водоросли (*Xanthophyta*). Отдел диатомовые водоросли (*Bacillariophyta*)

- 1 Общая характеристика и основные представители отдела желтозеленые водоросли
- 2 Общая характеристика отдела диатомовые водоросли
- 3 Крупнейшие таксоны диатомей

### *1 Общая характеристика и основные представители отдела желтозеленые водоросли*

**Отдел** желтозеленые (*Xanthophyta*). Включает около 600 видов одноклеточных, колониальных, многоклеточных или неклеточных организмов, для которых характерны почти все типы таллома от монадного до сифонального, исключая сифонокладальный (преобладают коккоидный, нитчатый, реже монадный, амeboидный и сифональный типы таллома).

Среди желтозеленых водорослей есть подвижные и неподвижные, прикрепленные и свободноживущие организмы, для подвижных форм (в том числе и для зооспор) характерно наличие двух жгутиков неравной длины (боковой – короткий бичевидный и передний длинный с мастигонемами). У примитивных форм клетка одета перипластом, а у более высокоорганизованных представителей имеется пектиновая или целлюлозная оболочка (цельная или двухстворчатая). Оболочка клеток пропитана солями железа, кремнеземом, известью, имеет различные скульптурные украшения.

В цитоплазме клетки находятся мелкие ядра (одно или много); дисковидные, корытовидные, пластинчатые, реже лентовидные, звездчатые или чашевидные хромофоры (иногда с пиреноидом), содержащие комплекс фотосинтетических пигментов: хлорофиллы *a*, *c* и по некоторым данным *e*, имеются  $\beta$ - и  $\epsilon$ -каротины, ксантофиллы (вошериа-, антера-, зеа-, виола-, неоксантин, лютеин). Комбинации этих пигментов придают клетке чаще желто-зеленую, светло- или темно-желтую окраску, реже зеленую, у некоторых – голубую; встречаются и бесцветные формы. Запасные продукты желтозеленых – волютин, жир, хризоламинин. У подвижных форм отмечена стигма. У некоторых монадных форм в переднем конце клетки есть одна или две пульсирующие вакуоли. В клетке еще содержатся сильно преломляющие свет кристаллы неизвестной природы.

Размножение желтозеленых водорослей осуществляется преимущественно бесполом путем. Бесполое вегетативное размножение осуществляется продольным делением клеток, фрагментацией талло-

ма или отчленением отдельных клеток таллома, выводковыми почками, акинетами. Наиболее характерно бесполое размножение с помощью специализированных клеток: амeboидов, апланоспор, зооспор и синзооспор, гемизооспор и гемиавтоспор, автоспор и синавтоспор. При неблагоприятных условиях у некоторых видов образуются покоящиеся цисты (гипноспоры) с толстой насыщенной кремнеземом оболочкой и с богатым запасом питательных веществ. Иногда желтозеленые водоросли переживают неблагоприятные условия в пальмеллевидном состоянии. Половой процесс (оогамного типа) достоверно известен лишь у видов рода *Vaucheria*. Цикл развития вошерии гаплофазный; цикл развития остальных *Xanthophyta*, у которых отсутствует половой процесс, проходит без смены ядерных фаз.

Желтозеленые водоросли распространены в воде, 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. Хозяйственное значение желтозеленых определяется их использованием в качестве показательных организмов в системе экологического мониторинга, в составе комплекса микроорганизмов, осуществляющих очистку сточных вод.

В состав отдела входят два класса; класс ксантофициевые (*Xanthophyceae*) и класс эустигматофициевые (*Eustigmathophyceae*).

**Класс** ксантофициевые (*Xanthophyceae*). Одно- или многоклеточные организмы, преимущественно коккоидной структуры, реже наблюдаются монадная, гемимонадная, амeboидная, нитчатая, разноритчатая, сифональная структура вегетативного тела. Деление класса на порядки базируется на морфологических признаках (тип таллома). В классе шесть порядков, из которых наибольший интерес представляют порядки ботридиевые (*Botrydiales*) и трибонемовые (*Tribonematales*).

**Порядок** ботридиевые (*Botrydiales*). Неклеточные водоросли сифональной структуры, талломы макроскопические пузыревидные (*Botrydium*) или нитевидные (*Vaucheria*), прикрепленные или неприкрепленные. Оболочка плотная, слоистая. Ядер много. Хлоропласты многочисленные, дисковидные, пластинчатые, с пиреноидами или без них. Центральную часть таллома обычно занимает одна крупная или несколько мелких вакуолей с клеточным соком. Размножение зооспорами, синзооспорами, гемиавтоспорами, апланоспорами или фрагментацией таллома. Известны цисты. У видов рода *Vaucheria* наблюдается оогамный половой процесс.

**Род** ботридий (*Botrydium*) объединяет наземные прикрепленные



сифональные водоросли шаровидной или булавовидной формы. Клетка покрыта пектиновой оболочкой, которая пропитывается известью и с возрастом грубеет. Надземная часть содержит крупную центральную вакуоль, многочисленные ядра и хроматофоры. Подземная часть состоит из дихотомически разветвленных бесцветных ризоидов (рисунок 28).

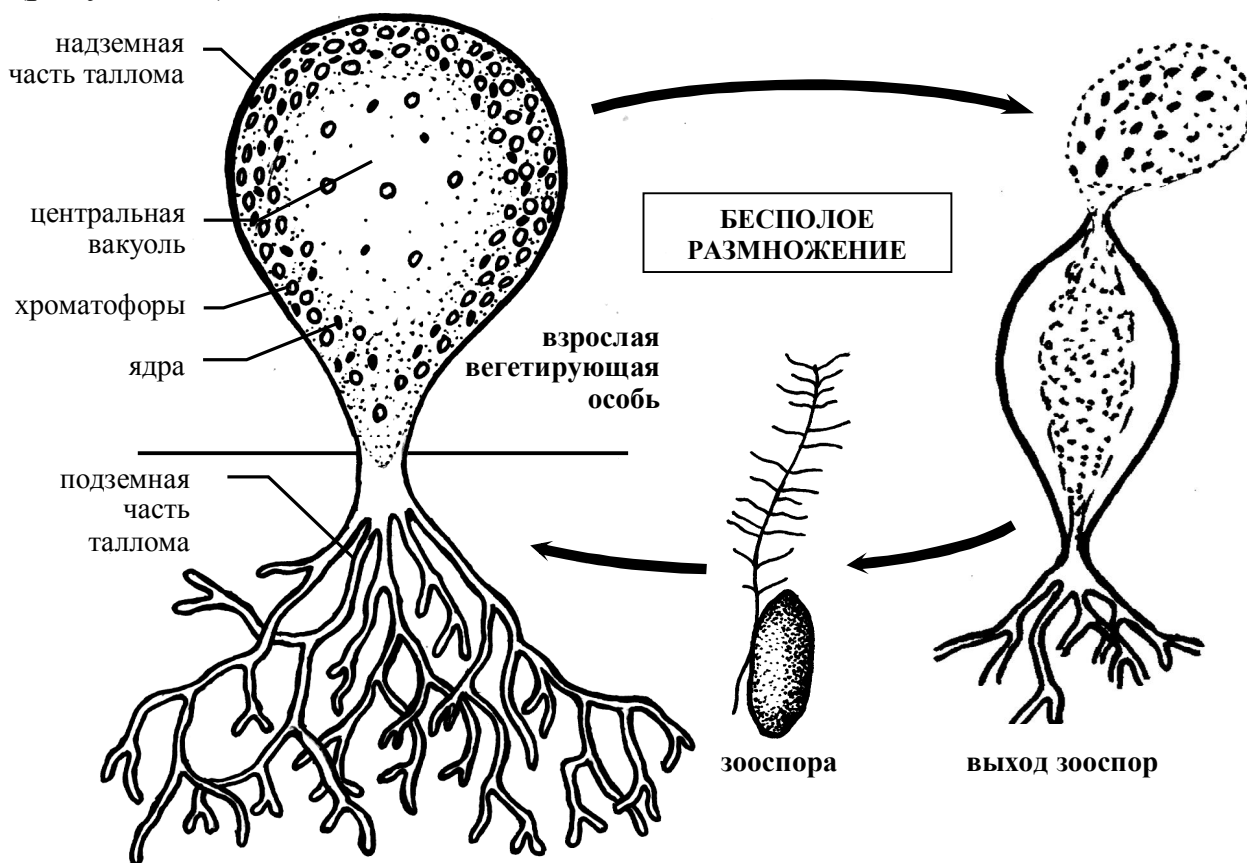


Рисунок 28 – Схема жизненного цикла представителей рода ботридий (*Botrydium*)

**Жизненный цикл.** Размножается ботридий, в основном, зооспорами, которые образуются в надземной части таллома. Зооспоры типичного для разножгутиковых строения: бобовидной формы, с двумя жгутиками, прикрепленными сбоку. Передний жгутик более длинный, перистый. Задний – более короткий, бичевидный и направлен назад. Иногда наблюдается образование апланоспор.

При неблагоприятных условиях содержимое надземной части таллома перемещается в ризоиды и распадается на покрытые плотной оболочкой ризоцисты (гипноспоры). С наступлением благоприятных условий ризоцисты прорастают в новые особи непосредственно или через стадию зооспор.

Половой процесс у ботридия не известен.

**Род** вошерия (*Vaucheria*) включает водоросли, сифональный таллом которых представляет собой неправильно и редко ветвящиеся ни-

ти с бесцветными ветвящимися ризоидами (рисунок 29). Центральную часть занимает вакуоль с клеточным соком. В постенном слое цитоплазмы расположены дисковидные хроматофоры и ядра. Хроматофоры без пиреноидов.

**Жизненный цикл.** Бесполое размножение осуществляется многожгутиковыми многоядерными зооспорами (синзооспорами). Напротив каждого ядра располагается пара почти одинаковых жгутиков. Образование синзооспор происходит в спорангиях, которые отчлениваются перегородкой на концах нитей. Содержание этих участков становится густым и темным и превращается в одну крупную подвижную спору.

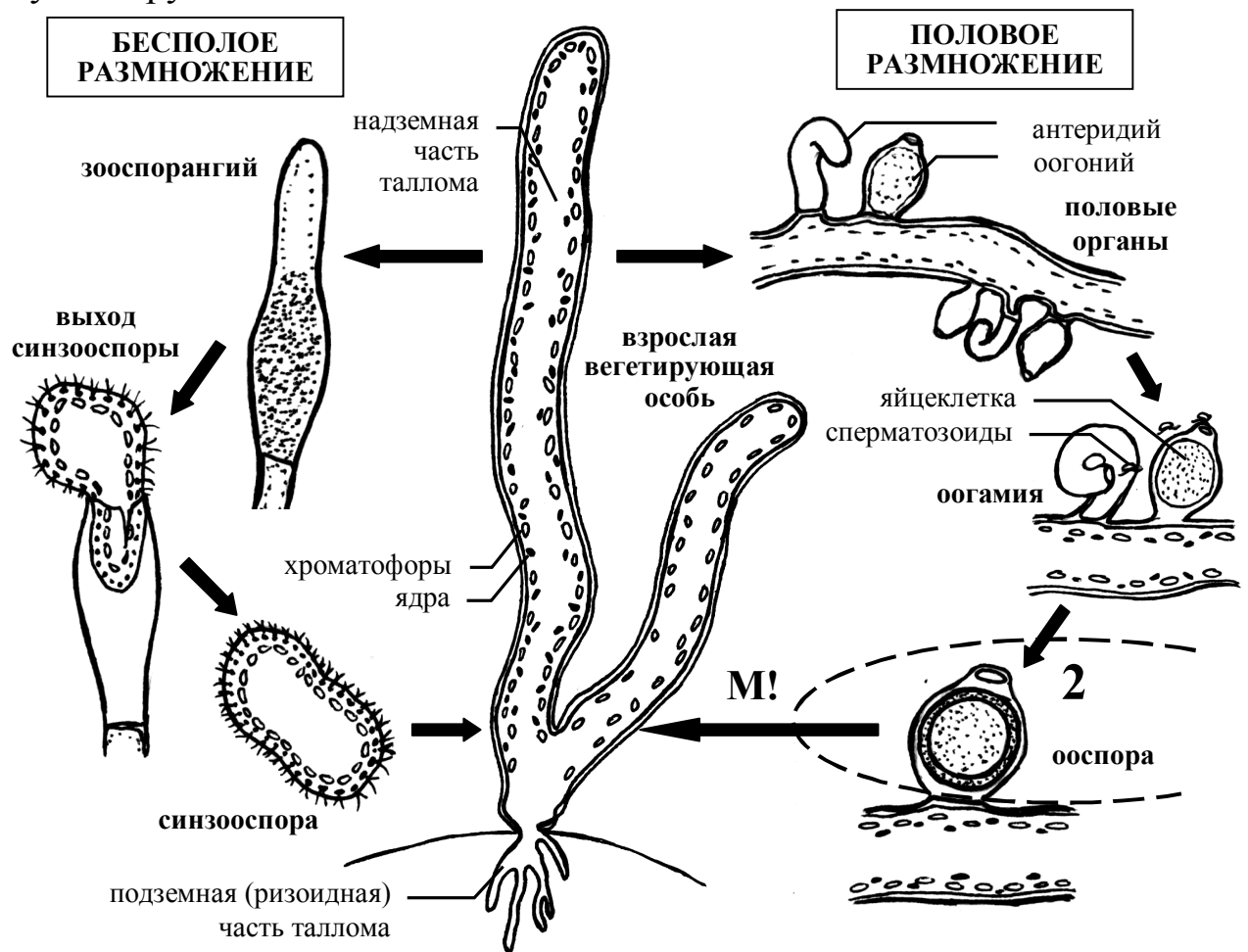


Рисунок 29 – Схема жизненного цикла представителей рода вошерия (*Vaucheria*)

Половое размножение у вошерии оогамное. На таллеме отчленивается антеридий и около него один или несколько оогониев. При созревании яйцеклетки на носике оогония выделяется капелька содержимого, привлекающего сперматозоиды. Сперматозоиды по строению напоминают разножгутиковые зооспоры. После оплодотворения в оогонии развивается диплоидная ооспора с толстой оболочкой. После периода покоя в ней происходит редукционное деление, и она прорастает в гаплоидную нить.

## 2 Общая характеристика отдела диатомовые водоросли

**Отдел** диатомовые водоросли (*Bacillariophyta*) объединяет микроскопические одноклеточные и колониальные индивиды с коккоидным типом структуры тела, имеющие покровы в виде кремнеземного панциря, который плотно примыкает к наружному уплотненному слою протопласта клетки – плазмолемме. Панцирь состоит из двух частей – эпитеки и гипотеки. Большая часть – эпитека – надвигается своими краями на гипотеку как крышка на коробку (рисунок 30). *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-несколько вставочных ободков, которые увеличивают объем клетки и способствуют ее росту. Форма панциря разнообразна: в виде шара, диска, цилиндра и т. п., она определяется формой створок и их высотой.

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 которую происходит связь протопласта с внешней средой (различают: 1) мелкие поры – *ареолы*; 2) крупные удлиненные камеры, покрытые перфорированной пленкой – *альвеолы*). В створках панциря могут быть одна-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). Через шов происходит выделение и циркуляция цитоплазмы, что обеспечивает реактивное передвижение водоросли.

Подобная структура панциря наряду с некоторыми другими признаками (небольшой объем протопласта, содержание многочисленных капелек масла) обеспечивает парение диатомовых водорослей в тол-

ще воды.

Клетки представителей отдела имеют типичное *эукариотическое строение* (рисунок 30). *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). В клетке имеется одна или несколько *вакуолей* с клеточным соком; разнообразные по форме, размерам и положению *хлоропласты*, содержащие один или несколько *пиреноидов*. Окраска хлоропластов обусловлена наличием следующих *пигментов*: хлорофиллы *a* и *c*, каротины, ксантофиллы (фукоксантин, диатоксантин, неофукоксантины А и В, диадиноксантин), которые изменяют цвет водорослей от светло-желтого, золотистого до зеленовато-бурого. Мертвые клетки диатомей обесцвечиваются или становятся зелеными вследствие растворения бурых пигментов в мертвых клетках. *Продукты ассимиляции* диатомовых – липиды, волютин, хризоламинарин.

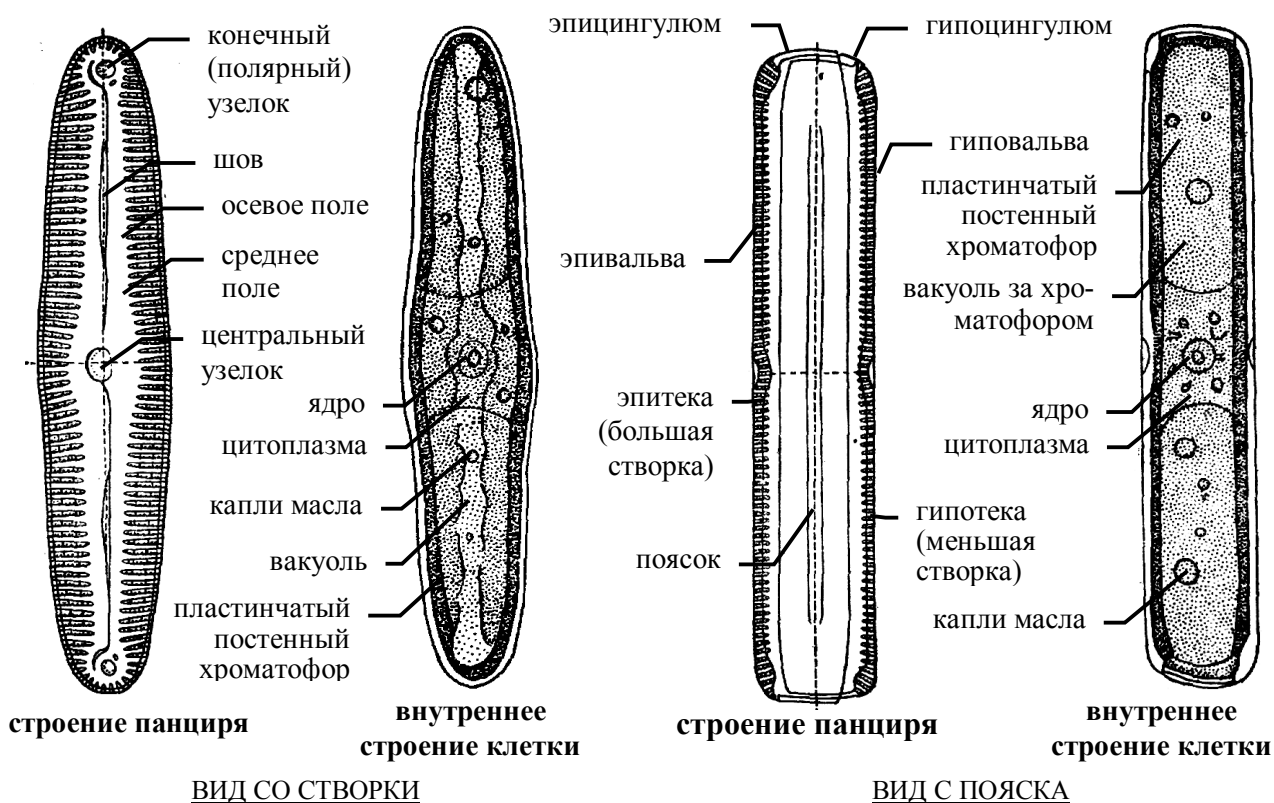


Рисунок 30 – Строение пеннатных на примере пиннулярии (*Pinnularia*) [2]

У представителей отдела *Bacillariophyta* отмечается бесполое и половое размножение. *Вегетативное размножение*, наиболее характерное для диатомовых водорослей, осуществляется *делением клетки на две половинки*. Перед делением в протопласте скапливаются капли

масла, он увеличивается в размерах, раздвигает эпитеку и гипотеку так, что они соприкасаются лишь краями поясковых ободков. Митотически делится ядро, а затем весь протопласт, после чего створки панциря расходятся. Каждой новой клетке достается одна створка панциря, являющаяся эпитекой, а гипотека достраивается. Многократные вегетативные деления приводят к постепенному уменьшению размеров клеток, получающих гипотеку материнской клетки. Восстановление первоначальных размеров клеток происходит во время прорастания покоящихся спор, покоящихся клеток и в результате *полового процесса*, сопровождающегося образованием *ауксоспор*. Цикл развития диатомовых водорослей проходит в диплоидной фазе с гаметической редукцией.

*Собственно бесполое размножение* у диатомей не отмечено, хотя у некоторых морских планктонных представителей обнаружены микроспоры от 8 до 16 и более в клетке со жгутиками и без жгутиков, с хлоропластами и бесцветные, природа которых до настоящего времени не выяснена.

*Половой процесс* может быть изо-, гетеро- (анизо-) и оогамным. Из зиготы образуется *ауккоспора* («растущая спора»). Диатомовые водоросли – единственная группа растительных организмов, в жизненном цикле которых есть стадия аукспоробразования. При созревании ауккоспора превращается в инициальную клетку, значительно превосходящую по размерам исходную материнскую, принимает типичную для вида форму. У ряда видов диатомовых водорослей аукспоробразование происходит за счет *автогамии*: после мейоза жизнеспособными остаются два ядра, которые и сливаются внутри своей клетки.

При неблагоприятных условиях диатомовые водоросли переходят в состояние покоя. В ходе образования покоящихся клеток протопласт передвигается к одному из концов клетки и, вследствие потери клеточного сока, сильно сжимается. Жизнедеятельность этих клеток возобновляется при наступлении благоприятных условий. Некоторые пресноводные планктонные озерные виды в зимний период погружаются на дно водоемов, где пребывают в состоянии покоя или пониженной жизнедеятельности до начала нового вегетационного периода.

Диатомовые водоросли имеют широкое распространение и населяют всевозможные 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. В основе систематики диатомовых водорослей лежит структура панциря, его форма, соотношение осей и плоскостей симметрии. Отдел *Bacillariophyta* включает два класса: центрические (*Centrophyceae*) и пеннатные диатомеи (*Pennatophyceae*).

### 3 Крупнейшие таксоны диатомей

**Класс** центрические диатомеи (*Centrophyceae*) объединяет преимущественно морские водоросли с радиально симметричным панцирем. В пресноводных водоемах встречаются реже. Форма панциря цилиндрическая, дисковидная, линзовидная, шаровидная, эллипсоидная, бочонковидная, реже призматическая, со вставочными ободками различной формы (рисунок 31). Клетки одиночные или соединенные в нитевидные или цепочковидные колонии. Ареолы на створках расположены беспорядочно или радиальными, спиральными, тангенциальными рядами. По краю створки размещаются крупные или мелкие выросты или шипы, с помощью которых клетки соединяются в колонии, кроме того, имеются рога, щетинки и другие элементы структуры.

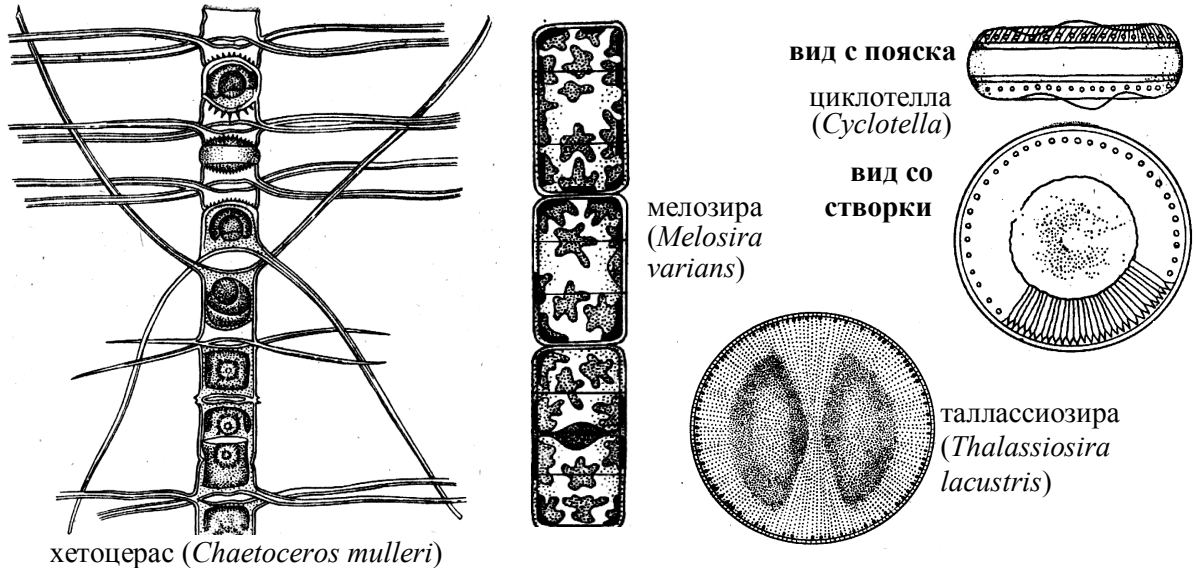


Рисунок 31– Центрические диатомовые водоросли [1, 2]

В жизненном цикле (рисунок 32) центрических водорослей отмечен *оогамный половой процесс*, при котором женская репродуктивная клетка (соответствует оогонию) производит одну или две яйцеклетки, а мужская репродуктивная клетка (соответствует сперматогонию или антеридию) образует два или четыре сперматозоида, оплодотворяющих яйцеклетку. После оплодотворения из зиготы образуется ауксоспора.

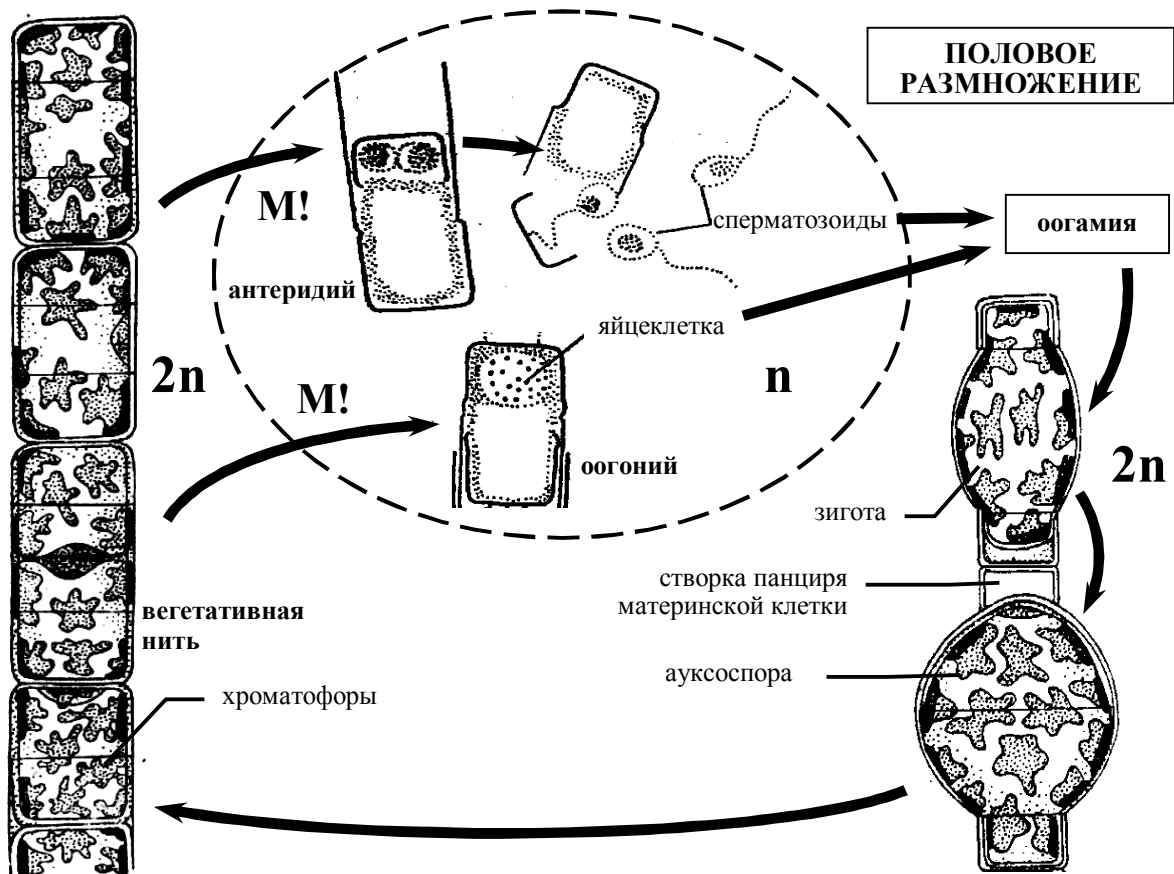


Рисунок 32 – Схема жизненного цикла мелозиры (*Melosira*), представителя класса центрические (*Centrophyceae*)

**Класс** пеннатные диатомеи (*Pennatophyceae*). Клетки одиночные или соединенные в колонии различного типа. Панцирь симметричный по продольной оси, изопольный (полюса клетки одинаковые), реже гетеропольный (полюса разные), редко асимметричный, с пояска линейный, таблетчатый, клиновидный, прямой, иногда S-образно изогнутый, часто со вставочными ободками и септами.

Створки в очертании линейные, ланцетные, эллиптические, реже булабовидные, симметричные по отношению к продольной и поперечной плоскостям, реже по отношению только к одной из плоскостей. Структура створок симметричная, представлена мелкими или крупными ареолами, расположенными обычно параллельными рядами, которые у полюсов створки несколько сходятся или радиально расходятся к ее краям. Иногда имеются поперечные ребра, слизевые поры и одиночные щелевидные выросты, мелкие и многочисленные шипики. По продольной оси створки проходит осевое поле, в середине створки оно расширяется, образуя среднее поле. У большинства видов вдоль середины осевого поля расположен щелевидный шов, иногда шов сдвинут к краю створки или находится в киле.

Половой процесс изо- или гетерогамия (анизогамия). При *изогамном половом процессе* две сблизившиеся клетки выделяют слизь, ядро в каждой клетке редукционно делится на четыре: из них три ядра дегенерируют, а четвертое становится гаметой. Гаметы, амeboобразно двигаясь, выползают из раздвинувшихся створок панциря, попарно копулируют с образованием зиготы, которая без стадии покоя начинает расти, увеличивается в размерах и преобразуется в *ауксоспору* («растущую спору»).

*Анизогамный (гетерогамный) половой процесс* (рисунок 33) может протекать двояко. В первом случае в ходе последовательных мейотического и митотического делений в каждой материнской клетке образуется по одной подвижной (мужской) и одной неподвижной (женской) гамете. Подвижные гаметы передвигаются к неподвижным и сливаются с ними. Во втором случае в одной клетке обе гаметы неподвижные, в другой – обе подвижные, переходящие в клетку с неподвижными гаметами.

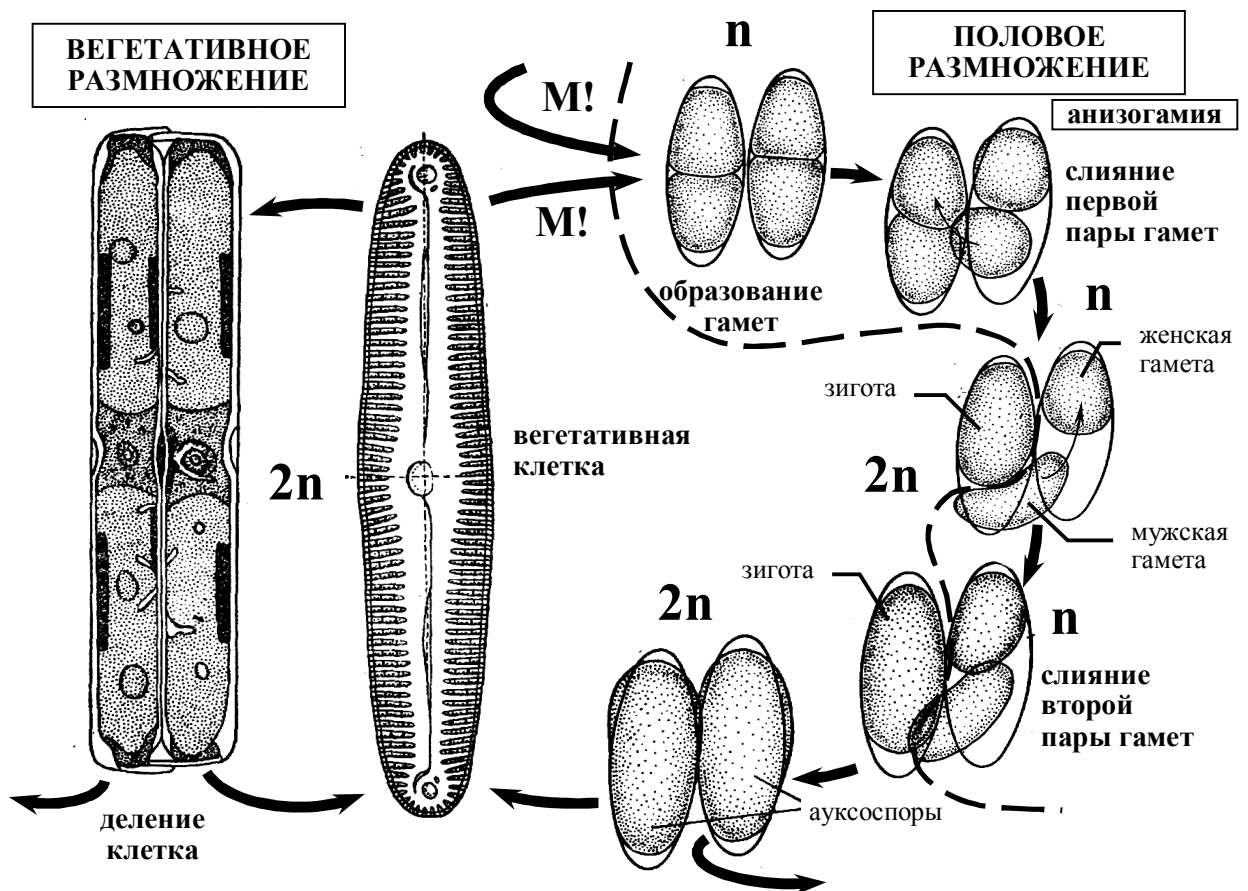


Рисунок 33– Схема жизненного цикла пеннатных водорослей (*Pennatophyceae*) с анизогамным половым процессом

Пресноводные и морские формы, обитающие в бентосе или на различных субстратах, единичные виды – в планктоне. Четыре порядка, составляющие класс, различаются по степени развития шва.



**Порядок** бесшовные (*Araphales*). Клетки одиночные или соединенные в пучки, звездчатые или зигзаговидные колонии. Панцирь прямой, иногда со вставочными ободками и септами. Створки от эллиптических до линейных, иногда булавовидные. Структура створок представлена ареолами, расположенными поперечными рядами, иногда чередующимися с поперечными грубыми ребрами. Осевое поле от нитевидного до широколинейного. Шов отсутствует.

В пресных водоемах распространены виды *Tabellaria flocculosa*, *T. fenestrata*, *Fragilaria capucina*, *Meridion circulare*, *Opephora martyi*, *Asterionella formosa*, *Ceratoneis arcus*, *Synedra ulna* (рисунок 34).

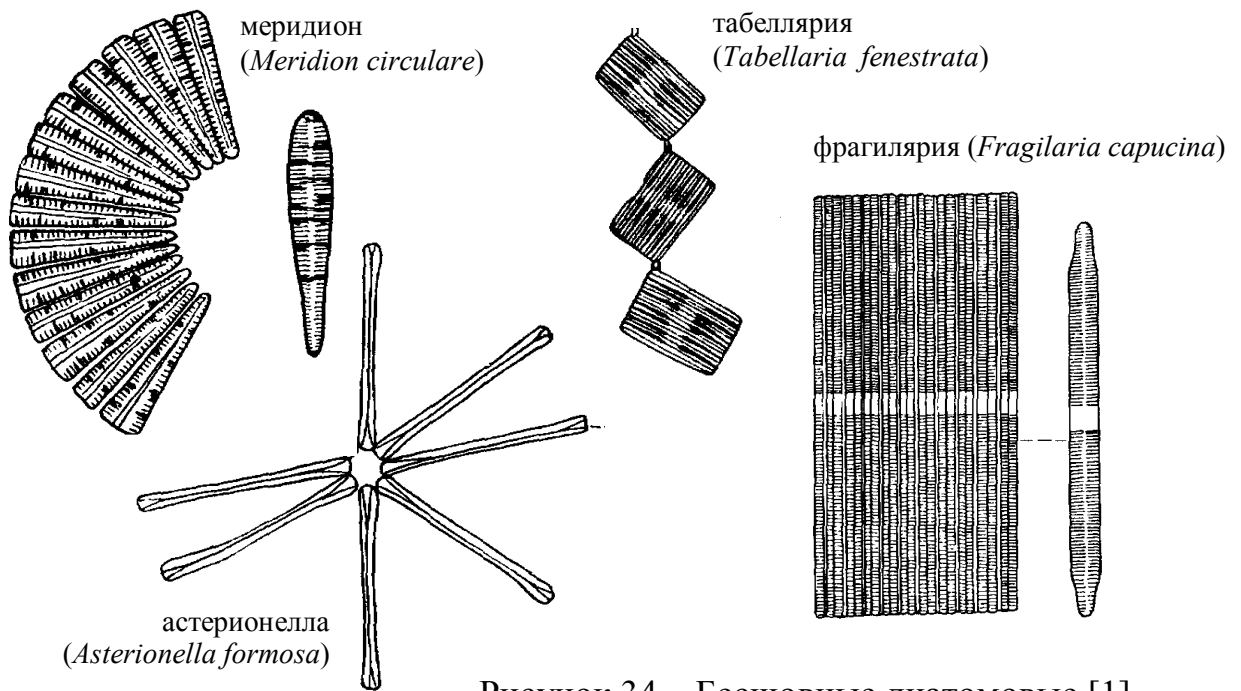


Рисунок 34 – Бесшовные диатомовые [1]

**Порядок** одношовные (*Monoraphales*) объединяет одиночные водоросли, прикрепляющиеся к субстрату нижней створкой или студенистой ножкой, реже собраны в лентовидные колонии, также прикрепляющиеся к субстрату (рисунок 35).

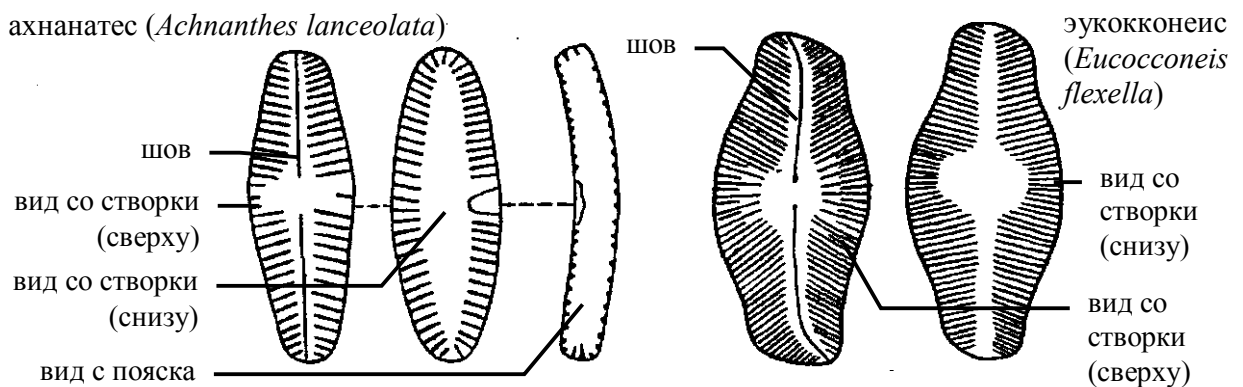


Рисунок 35 – Одношовные диатомовые [1]

Панцирь прямой или изогнутый в продольном или поперечном направлении. Структура створок различная: нижняя створка имеет щелевидный шов, расположенный по продольной оси створки, верхняя – без шва, но с продольным осевым полем; обе створки – с поперечными ребрами, чередующимися с поперечными рядами ареол.

Порядок объединяющий ископаемые и современные, морские и пресноводные виды: *Achnanthes lanceolata*, *Eucocconeis flexella*, *Eunotia arcus*, *Rhoicosphaenia curvata*.

**Порядок** двушовные (*Diraphales*, рисунок 36) представлен водорослями, у которых структура обеих створок одинаковая: из штрихов и ребер или ареол, расположенных поперечными рядами. Обе створки со щелевидным простым или сложным швом. Шов прямой или изогнутый, реже сигмоидный. Клетки большей частью одиночные, подвижные, реже собранные в лентовидные или кустиковидные колонии. Панцирь изопольный, реже гетеропольный, иногда с камерами вдоль краев ободка. Створки в очертаниях линейные до эллиптических, изредка S-образно изогнутые.

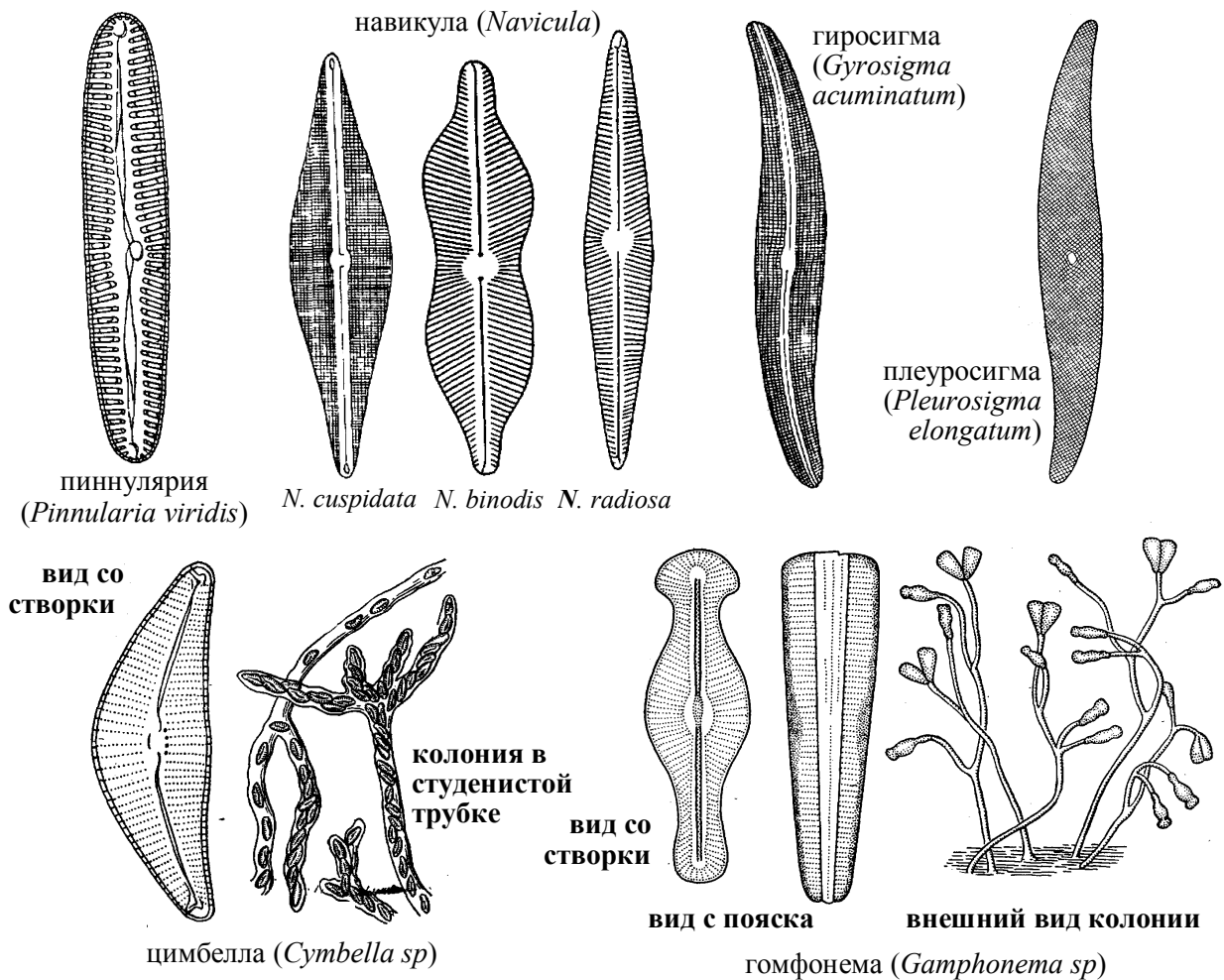


Рисунок 36 – Двушовные диатомовые водоросли [1-4]

Обширный порядок, включающий три семейства. Наиболее распространенные виды: *Navicula cuspidata*, *N. radiosa*, *N. binodis*, *Neidium affine*, *Frustulia rhomboides*, *Didymosphenia geminata*, *Gyrosigma acuminatum*, *Pinnularia viridis*, *P. major*, *P. microstauron*, *Scoliolepta peisonis*, *Pleurosigma elongatum*, *Stauroneis phoenicenteron*, *Tropidoneis lepidoptera*, *Amphiprora paludosa*, *Cymbella prostrata*, *Caloneis amphisbaena*, *Gomphonema tergestinum*, *G. olivaceum*.

**Порядок** каналшовные – *Aulonographales*. Клетки обычно одиночные, подвижные, реже сидячие, неподвижные, иногда бывают соединены в подвижные лентовидные и нитевидные колонии. Панцирь продольно-, поперечно- или диагонально-симметричный. Створки разнообразной формы: линейные, эллиптические, круглые или полукруглые. Обе створки с каналовидным швом (рисунок 37), расположенным в киле или крыловидном выросте створки.

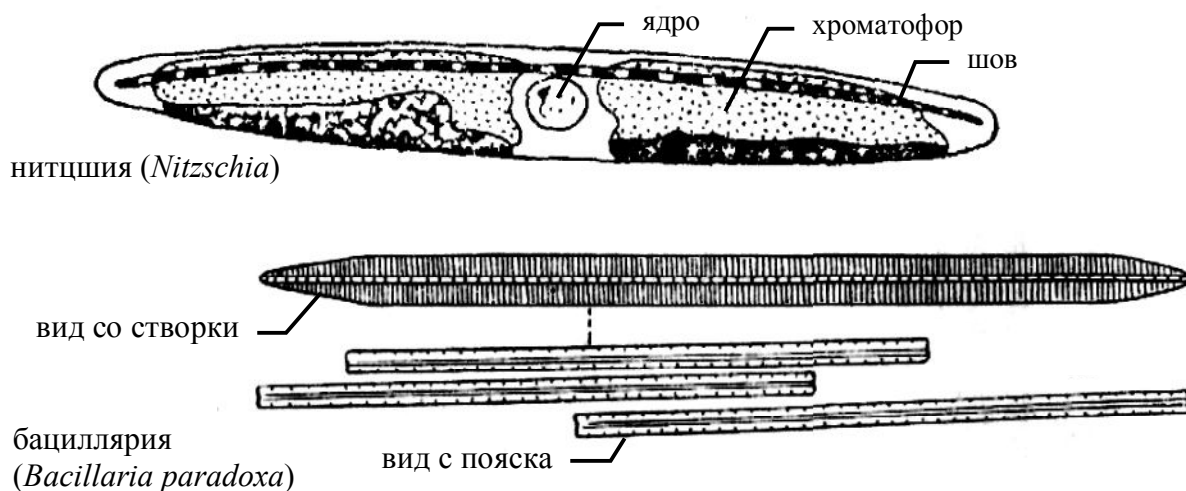


Рисунок 37– Каналшовные диатомовые водоросли [1]

Структура обеих створок одинаковая, представленная ареолами, ребрами и другими элементами, расположенными поперечными рядами. Обширный порядок. Представители порядка: *Cylindrotheca gracilis*, *Stenopterobia intermedia*, *Bacillaria paradoxa*, *Rhopalodia gibba*, *Campilodiscus noricus*, *Nitzschia angustata*, *N. apiculata*, *Cymatopleura solea*.

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

**Цель:** Ознакомиться с представителями желтозеленых и диатомовых водорослей. Изучить особенности их жизненных циклов

## Задания

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

Отдел желтозеленые водоросли – *Xanthophyta*

Класс ксантофициевые – *Xanthophyceae*

Порядок ботридиевые – *Botrydiales*

Род вошерия – *Vaucheria sp.*

Род ботридиум – *Botrydium sp.*

Отдел диатомовые водоросли – *Bacillariophyta*

Класс центрические диатомеи – *Centrophyceae*

Род мелозира – *Melosira sp.*

Класс пеннатные диатомеи – *Pennatophyceae*

Порядок двушовные – *Diraphales*

Род пиннулярия – *Pinnularia sp.*

Род навикула – *Navicula 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 На приготовленном обычным способом препарате при малом увеличении микроскопа рассмотреть и **зарисовать нить мелозиреи.** При большом увеличении изучить строение клетки.

5 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.**

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

### Вопросы для самоконтроля

- 1 Какие особенности характерны желтозеленым водорослям.
- 2 Какие признаки отличия и сходства можно указать между отделами *Chlorophyta* и *Xanthophyta*?
- 3 Опишите строение, размножение и распространение вошерии

и ботридиума.

4 Дайте характеристику отделу *Bacillariophyta*.

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

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

## Занятие 6 Отдел бурые водоросли (*Phaeophyta*)

- 1 Общая характеристика отдела бурые водоросли (*Phaeophyta*)
- 2 Принципы систематики и жизненные циклы наиболее характерных представителей

### 1 Общая характеристика отдела бурые водоросли (*Phaeophyta*)

К *отделу* бурые водоросли (*Phaeophyta*) относятся почти исключительно морские, макроскопические организмы (рисунок 38).

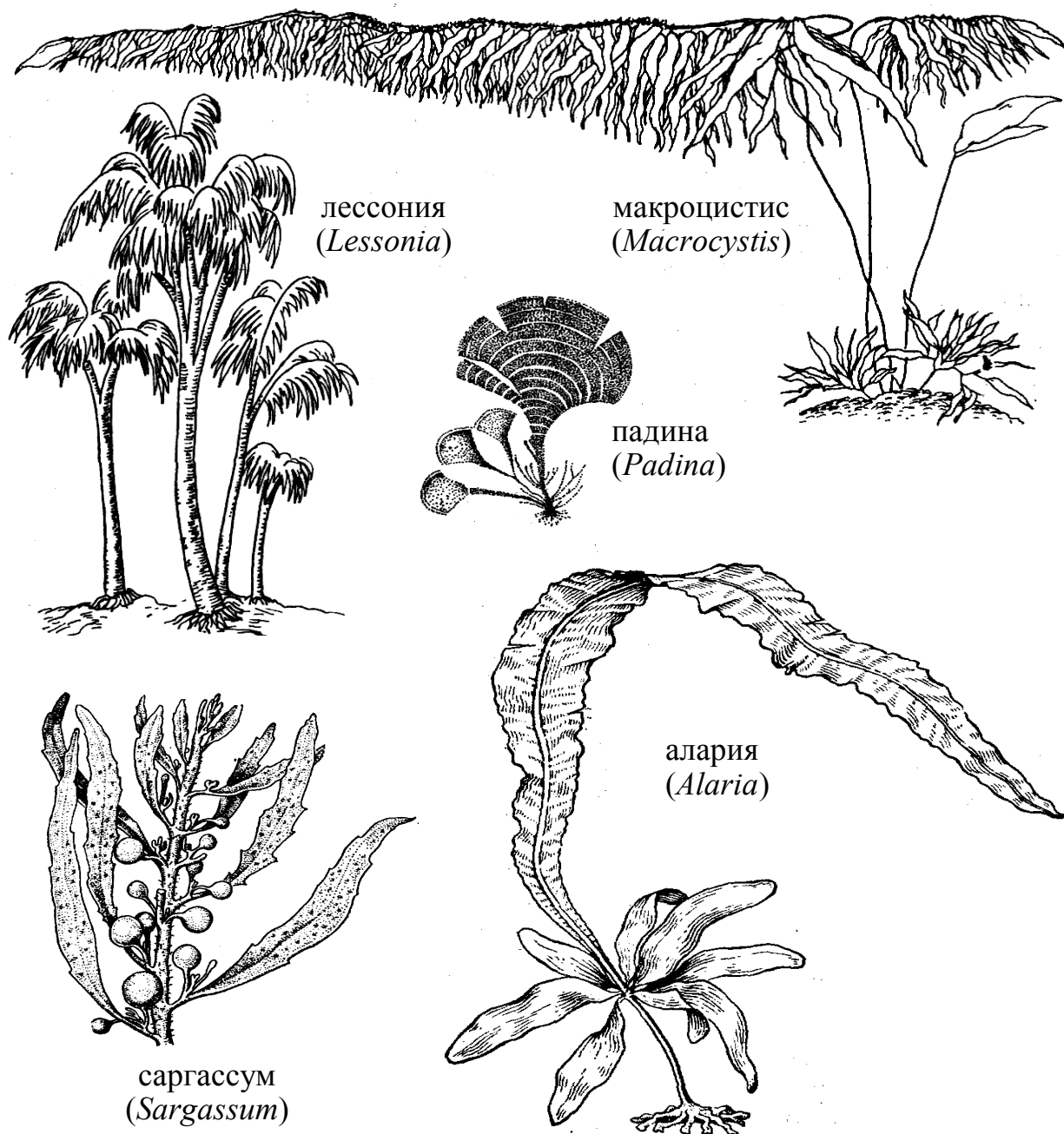


Рисунок 38 – Высокоорганизованные представители бурых водорослей (*Phaeophyta*) [3]

В настоящий момент известно только пять видов пресноводных представителей, однако, ввиду их малых размеров и редкой встречаемости, они остаются слабо изученной группой. Общим внешним признаком этой группы является окраска талломов от желтовато-бурой до почти черной, обусловленной своеобразным набором пигментов (хлорофиллы *a*, *c*, каротины, а также несколько ксантофиллов – фукоксантин, виолаксантин, антераксантин и зеаксантин), среди которых наиболее специфичным является фукоксантин интенсивно бурого цвета.

Хроматофоры большей частью многочисленны, мелкие, диско-видные, реже лентовидные или пластинчатые. Ядро в клетке одно. Пиреноиды имеются не всегда. Запасное вещество – ламинарин, реже обнаруживаются маннит и масла. Оболочка клеток 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 соединений альгиновой кислоты и ее солей. Благодаря такому строению оболочка бурых водорослей может набухать, превращаясь в слизистую массу иногда значительного объема.

Наиболее просто организованы талломы представителей порядка эктокарповые (*Ectocarpales*), которые представлены однорядными беспорядочно ветвящимися нитями, иногда формирующими кустистые формы, основанием которых служат стелющиеся ризоиды.

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 многорядных слоевищах наблюдается специализация клеток с образованием тканей (ассимиляционная, запасная, механическая и проводящая). 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 (рисунок 39).

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 пе-

перегородок они воронкообразно расширены. В перегородках трубчатых нитей находятся поры, а сами перегородки называются ситовидными пластинками.

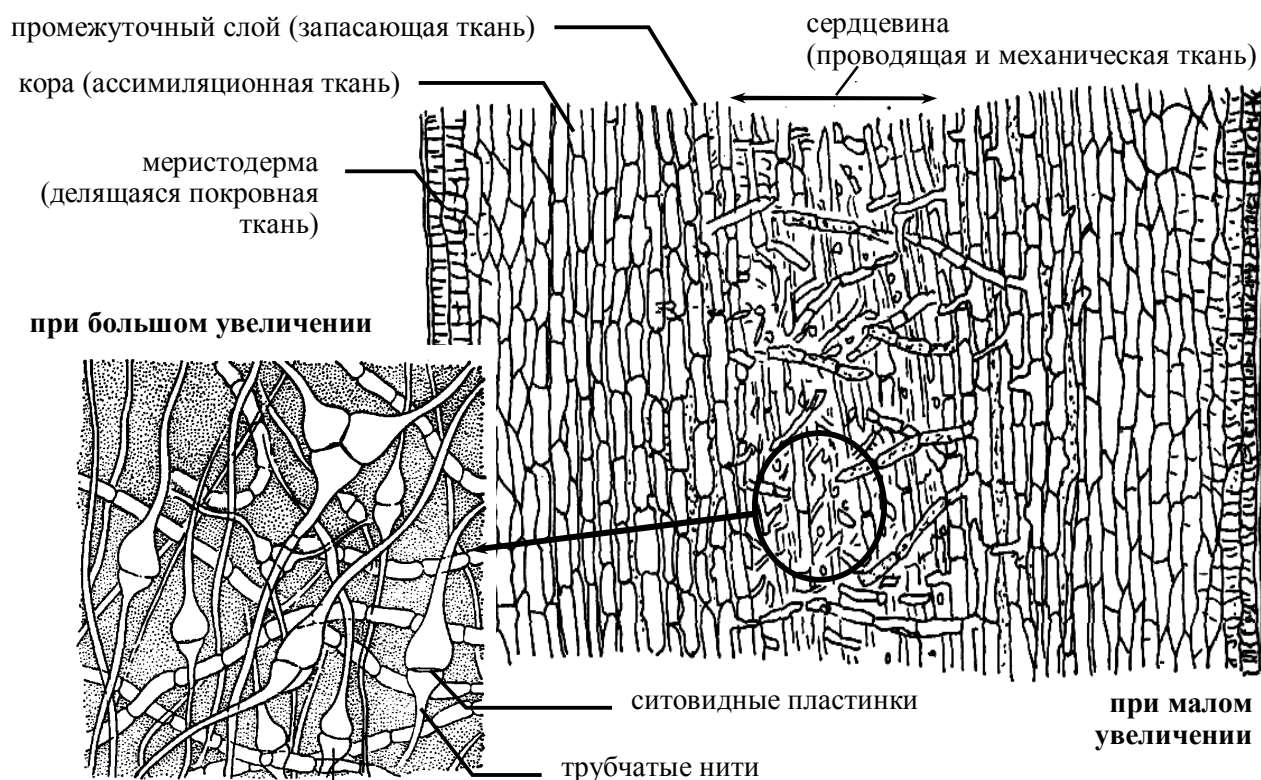
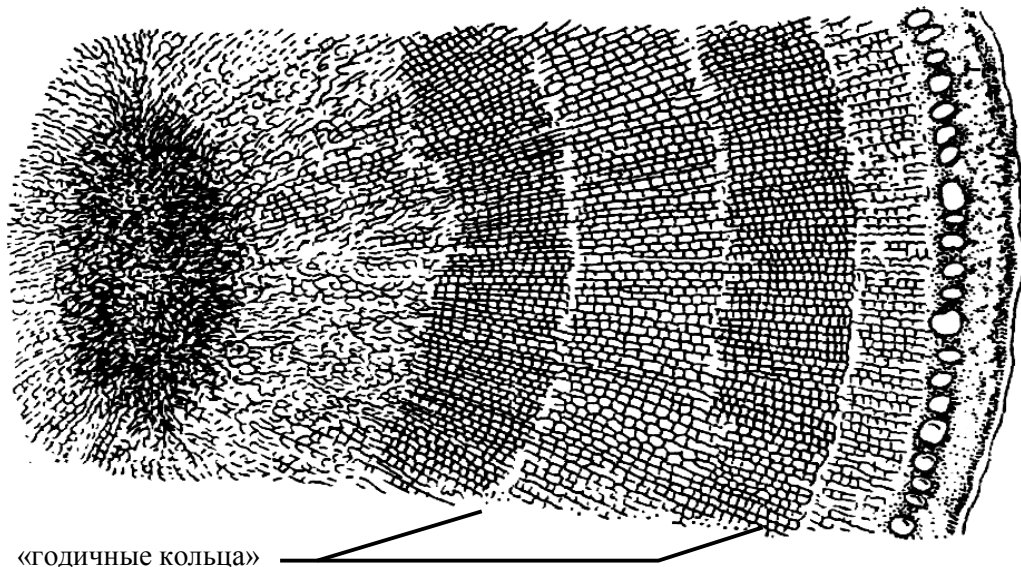


Рисунок 39 – Продольный разрез слоевища ламинарии (*Laminaria*) [1]

Среди бурых водорослей имеются виды с однолетними и многолетними талломами. Многолетние бывают нескольких типов. У одних таллом многолетний весь, а ежегодно отмирают только побеги, на которых развивались органы размножения (*Fucus*). У других многолетними являются ствол и органы прикрепления (*Laminaria*). У третьих многолетний только базальный диск, а остальная часть таллома ежегодно отрастает вновь (*Sargassum*). Рост слоевищ спорофитов осуществляется в интеркалярной зоне, которая расположена в основании пластинчатой части слоевища, на вершине ствола. Если слоевище разветвленное, то интеркалярная зона имеется в основании каждой пластины. Интеркалярная зона не ограничена резко, деление клеток происходит и в слоевище на некотором расстоянии от нее. Наибольшая скорость роста таллома наблюдается у ламинариевых (до 10 – 13,5 см в сутки), но одновременно с его ростом происходят процессы разрушения его верхушки. Многолетние органы нарастают периодически за счет деления клеток коры, что приводит к формированию концентрических слоев, напоминающих годовые кольца высших растений (рисунок 40).





«годовые кольца»

Рисунок 40 – Поперечный срез двулетнего стебля ламинарии (*Laminaria*) [1]

Бурые водоросли размножаются вегетативным, бесполом и половым путем. Вегетативное размножение осуществляется у некоторых представителей специализированными веточками (выводковые почки). Вегетативное размножение путем фрагментации таллома нельзя считать безусловным. Оторвавшиеся участки талломов продолжают вегетацию только при попадании в наиболее благоприятные условия и при этом никогда не образуют органов размножения. Бесполое размножение у большинства бурых водорослей происходит с помощью зооспор, у отдельных – неподвижными спорами, которые по количеству их в спорангии называются тетраспорами или моноспорами. Половой процесс изо-, гетеро- и оогамный. Зигота без периода покоя прорастает в диплоидное растение.

## ***2 Принципы систематики и жизненные циклы наиболее характерных представителей***

В зависимости от наличия или отсутствия смены поколений выделяют два класса. В **классе** фэозооспоровые (*Phaeozoosporophyceae*) объединяются бурые водоросли, для которых характерна смена поколений (изогенератная или гетерогенератная). Наиболее характерные порядки этого таксона: эктокарповые – *Ectocarpales*, кутлериевые – *Cutleriales*, сфацеляриевые – *Sphacelariales*, диктиотовые – *Dictyotales*, ламинариевые – *Laminariales*.

У представителей **класса** циклоспоровые (*Cyclosporophyceae*) чередование поколений отсутствует (есть только чередование ядерных фаз), например, порядок фукусовые (*Fucales*).

Разнообразие жизненных циклов можно рассмотреть на примере

одноименных представителей наиболее характерных порядков обоих классов.

*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 (рисунок 41). Рост нитей у большинства видов диффузный, лишь у некоторых обособливается интеркалярная меристема 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 других водорослях и встречаются во всех морях мира, предпочитая холодные воды Севера. Размножаются вегетативным, бесполом и половым путем.

В жизненном цикле наблюдается изогенератная смена поколений (рисунок 41). Гаметофит и спорофит одинаковы по размерам и строению. Спорангии и гаметангии располагаются на ветвях в виде боковых выростов. На спорофите развиваются одногнездные спорангии, в которых происходит редукционное деление и следующий за ним митоз, что приводит к формированию большого количества гаплоидных зооспор. Зооспоры вырастают в гаплоидные раздельнополые растения с многогнездными гаметангиями (микроспорангиями). Гамететы изоморфные (половой процесс – изогамия), но отличаются поведением: женская теряет подвижность и выделяет вещество, привлекающее мужские гамететы. После оплодотворения из зиготы вырастает диплоидный спорофит.

В зависимости от экологических условий описанный жизненный цикл может усложняться. На спорофите кроме обычных одноклеточных (одногнездных) зооспорангиев могут образовываться и многогнездные, в которых образуются без редукционного деления нейтральные диплоидные споры. Из таких зооспор вырастает еще одно диплоидное поколение (спорофит). Иногда гамететы могут функционировать как зооспоры и партеногенетически (без оплодотворения) прорасти в еще одно гаплоидное поколение (гаметофит). Именно поэтому многогнездные гаметангии также называются микроспорангиями, а гаплоидное растение зачастую называют гаметоспорофитом. Наконец, у одного из видов эктокарпуса (*E. confervoides*) с гетероморфной сменой поколений гаплоидные зооспоры функционируют как гамететы и способны к копуляции.

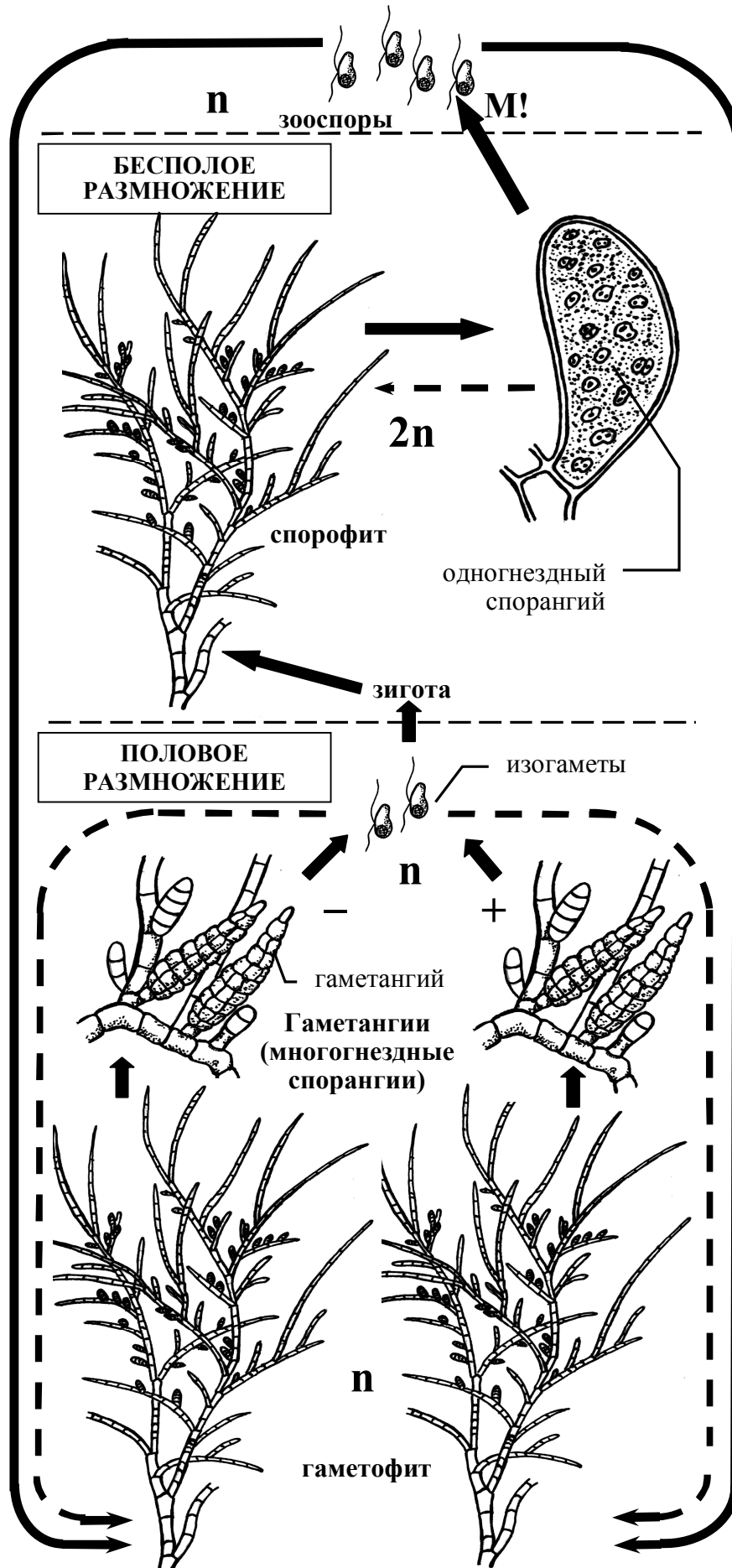


Рисунок 41 – Схема жизненного цикла представителей рода эктокарпус (*Ectocarpus*)

Строгое изогенератное чередование поколений наблюдается в жизненном цикле представителей *рода* диктиота (*Dictyota*).

Их таллом представляет собой трехслойное лентовидное образование с моноподиальным ветвлением. Однако, ввиду 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 одногнездные спорангии, где путем редукционного деления образуются по четыре неподвижные крупные тетраспоры (рисунок 42). Тетраспоры прорастают в гаметофит (гаплоидный). 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 спорангиев, в каждой камере которых формируется по одному одножгутиковому сперматозоиду (антерозоиду). Сорусы антеридиев отличаются наличием обкладки. Собранные в сорусы одногнездные оогонии образуют по одной яйцеклетке, которая выпадает из гаметангия и в воде оплодотворяется антерозоидом. Образовавшаяся зигота покрывается оболочкой, но без периода покоя прорастает в спорофит.

*Род* ламинария (*Laminaria*) – морская капуста характеризуется гетерогенератной сменой поколений. Этот род характеризуется паренхиматозным типом таллома: у ламинарии формируются настоящие ткани.

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 43).

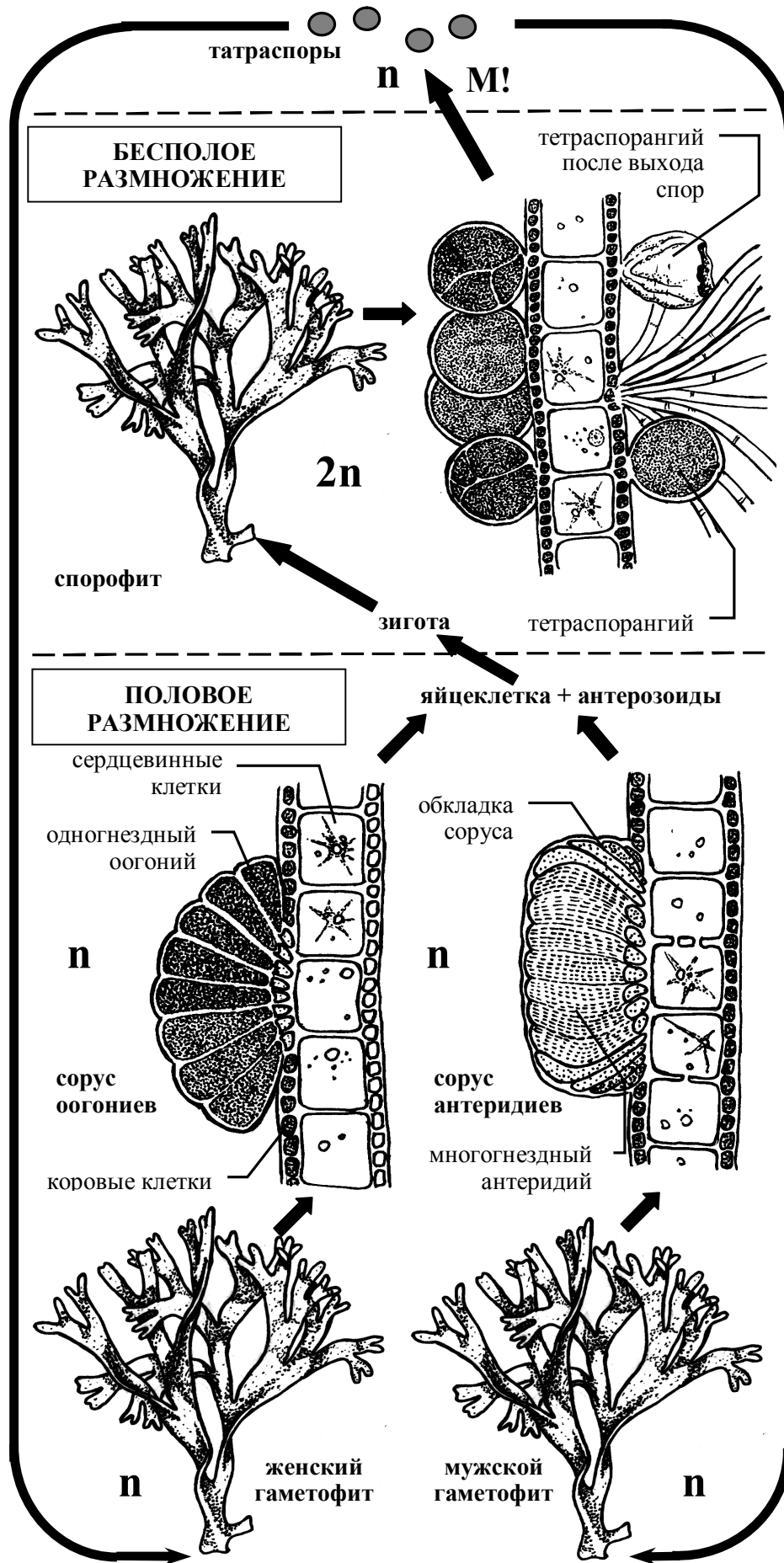


Рисунок 42 – Схема жизненного цикла представителей рода диктиота (*Dictyota*)

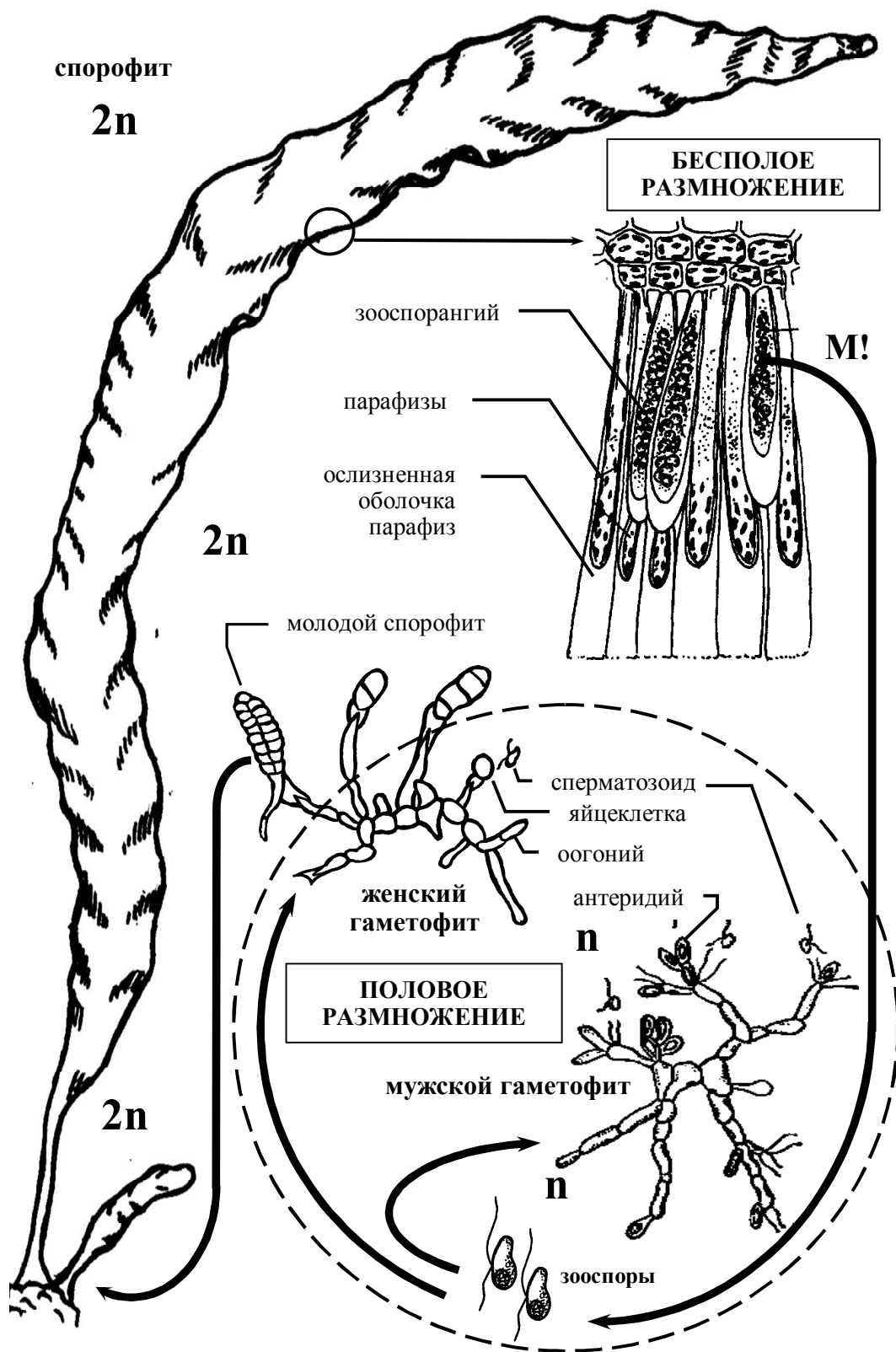


Рисунок 43 – Схема жизненного цикла представителей рода ламинария (*Laminaria*)

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 сперматозоиду.

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.

К бурым водорослям, не имеющим смены форм развития, а лишь смену ядерных фаз, относятся представители *рода* фукус (*Fucus*). Их талломы ремневидные, дихотомически разветвленные, до 1 м длиной и до 5 см шириной (рисунок 44).

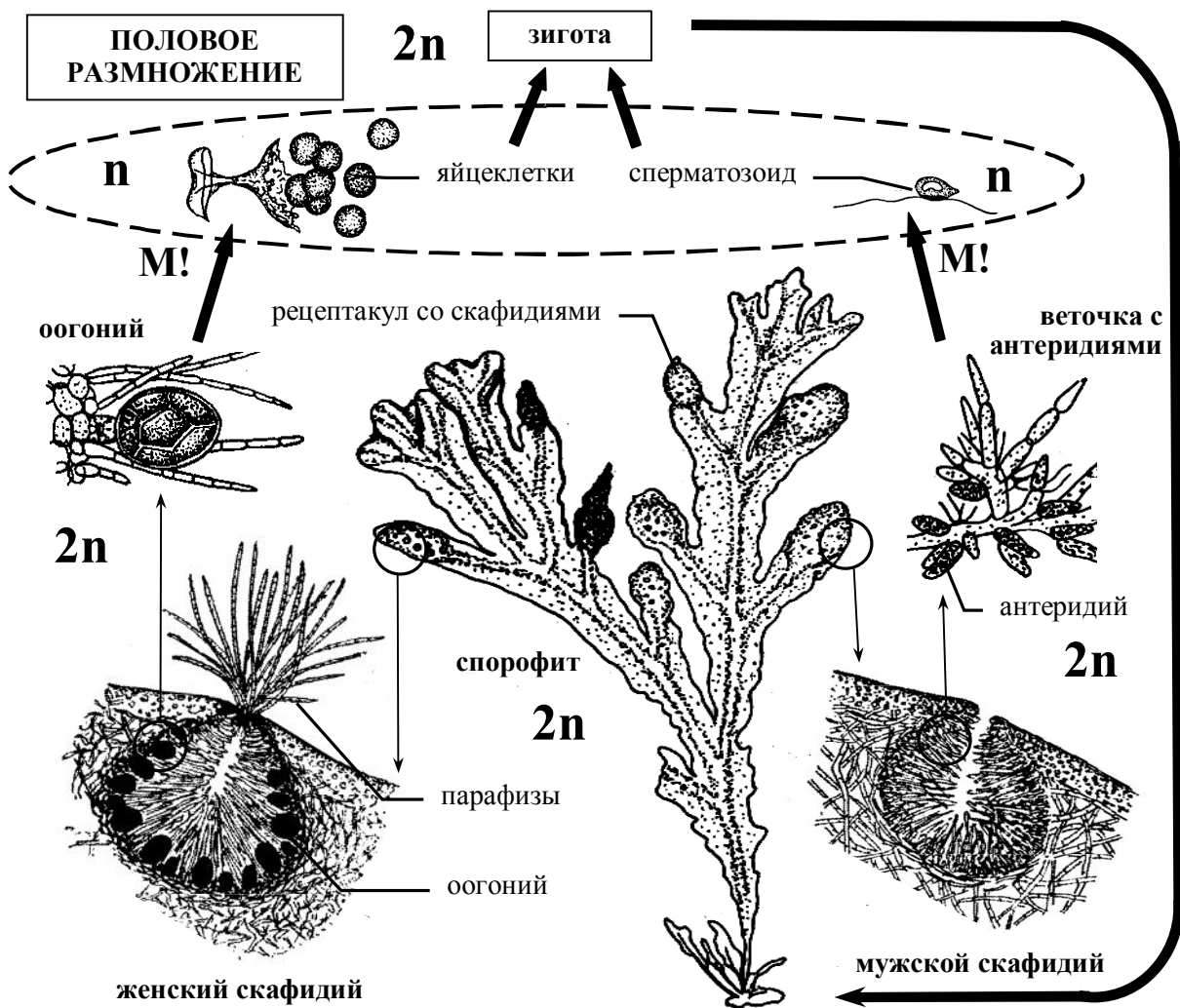


Рисунок 44 – Схема жизненного цикла представителей рода фукус (*Fucus*)

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 их возможно только половым путем. На концах ветвей образуются вздутия (рецептакулы), на которых образуются скафидии – вместилища половых органов.

Вместилища (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.

Рассмотренное разнообразие жизненных циклов далеко не исчерпывающее. Так, например, существуют и виды с гетерогенератной сменой поколений и преобладанием макроскопического гаметафита, спорофит несколько меньших размеров (*Cutleria*). Значительного разнообразия смен форм развития добавляют различные вариации жизненных циклов в зависимости от экологических условий и нерегулярность смены поколений у большого числа видов бурых водорослей.

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 разнообразием жизненных циклов бурых водорослей на примере конкретных представителей

### **Задания**

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

Отдел бурые водоросли – *Phaeophyta*

Класс фэозоспоровые – *Phaeozoosporophyceae*

Порядок эктокарповые – *Ectocarpales*

Род эктокарпус – *Ectocarpus sp.*

Порядок диктиотовые – *Dictyotales*



Род диктиота – *Dictyota sp*  
Порядок ламинариевые – *Laminariales*  
Род ламинария – *Laminaria sp.*  
Класс циклоспоровые – *Cyclosporophyceae*  
Порядок 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 гаметангиями; 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 форм бурых водорослей характерно наибольшее анатомическое и морфологическое расчленение таллома?

5 Как осуществляется смена ядерных фаз и форм развития в различных классах бурых водорослей (на примере эктокарпуса, диктиоты и ламинарии)?

6 Каковы цикл развития и место редукционного деления у фукуса?

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

## Литература

- 1 Вассер, С. П. Водоросли: справочник / С. П. Вассер [и др.] – Киев: Наукова думка, 1989. – 608 с.
- 2 Великанов, Л. Л. Курс низших растений: учебник для вузов / Л. Л. Великанов [и др.]; под ред. М. В. Горленко. – М. : Высшая школа, 1981. – 504 с.
- 3 Жизнь растений: в 6 т. / под ред. М. М. Голлербаха. – М. : Просвещение, 1977. – Т.3. Водоросли. – 487 с.
- 4 Комарницкий, Н. А. Ботаника. Систематика растений / Н. А. Комарницкий, Л. В. Кудряшов, А. А. Уранов. – М. : Просвещение, 1975. – 608 с.
- 5 Лемеза, Н. А. Малый практикум по низшим растениям: учебное пособие / Н. А. Лемеза, А. С. Шуканов. – Мн.: Універсітэцкае, 1994. – 288 с.

Учебное издание

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

## **АЛЬГОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ**

**Практическое руководство  
по изучению раздела «Водоросли»  
для студентов специальности 1 – 31 01 01-02  
«Биология (научно-педагогическая деятельность)»**

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

Лицензия №02330/0133208 от 30.04.04.  
Подписано в печать 10.05.07. Формат 60×84 1/16.  
Бумага писчая №1. Гарнитура «Таймс». Усл.п.л. 4,30.  
Уч.-изд.л. 4,62. Тираж 150 экз. Заказ № 28

Отпечатано с оригинала-макета на ризографе  
учреждения образования  
«Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины»  
Лицензия № 02330/0056611 от 16.02.04  
246019, г. Гомель, ул. Советская, 104