

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины»

# **ЗЕЛЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ**

Практическое руководство

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

Гомель  
ГГУ им. Ф. Скорины  
2016

УДК 582.263(076)  
ББК 28.591 я73  
3-488

Авторы:

Ю. М. Бачура, А. Д. Темралеева,  
В. А. Собченко, О. М. Храмченкова

Рецензенты:

кандидат биологических наук А. В. Гулаков;  
кандидат биологических наук А. А. Дворник

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

**Зеленые водоросли** : практическое руководство /  
3-488 Ю. М. Бачура [и др.] ; М-во образования Республики  
Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель:  
ГГУ им. Ф. Скорины, 2016. – 47 с.  
ISBN 978-985-577-200-3

Практическое руководство ставит своей целью оптимизировать учебно-познавательную деятельность студентов по усвоению материала темы «Зеленые водоросли» – одной из наиболее сложных тем в курсе «Альгология». В нем дана краткая характеристика морфологии, биохимии и цитологии различных таксономических групп зеленых водорослей, описаны способы размножения и жизненные циклы, приведены данные по распространению и значению в природе и хозяйственной деятельности человека.

Рекомендуется студентам и аспирантам биологических специальностей для использования на лабораторных занятиях по соответствующим темам курса «Альгология и микология» и для самостоятельной подготовки.

УДК 582.263(076)  
ББК 28.591 я73

ISBN 978-985-577-200-3

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный университет  
имени Франциска Скорины», 2016

## Оглавление

|  |    |
|--|----|
| Предисловие .....  | 4  |
| Общая характеристика зеленых водорослей.....                 | 5  |
| Занятие 1. Хлорофициевые и требуксиофициевые водоросли ..... | 11 |
| Занятие 2. Ульвофициевые (Ulvophyceae) водоросли .....       | 26 |
| Занятие 3. Харофитовые (Charophyta) водоросли .....          | 36 |
| Литература .....   | 47 |

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

## Предисловие

В практическом руководстве приводятся основные теоретические сведения, которые необходимы для самостоятельной подготовки студентов и выполнению заданий на лабораторных занятиях по темам, отведенным на изучение зеленых водорослей: «Хлорофициевые и требуциофициевые водоросли», «Ульвофициевые водоросли» и «Харофитовые водоросли» в курсе «Альгология и микология». Применение его позволит аудиторным занятиям быть более эффективными и повысит качество усвоения студентами достаточно сложного учебного материала.

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

Издание включает три занятия. Материал по каждому из них начинается с плана, затем следует изложение теоретической части, перечисляются необходимые 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 даны вопросы, которые могут быть использованы преподавателем для текущего контроля усвоения знаний, а также студентами для самоконтроля.

В практическом руководстве мы придерживались систематики водорослей, изложенной в статье L. Krienitz, Ch. Vock (2012) [1]. При подготовке также использована информация, изложенная в следующих пособиях и учебниках: I.Ю. Костиков [та інш.] Ботаніка. Водорості та гриби. (Київ: Арістей, 2006) [2]; Г. А. Белякова [и др.] Ботаника: в 4 т. Т. 2. Водоросли и грибы: учебник для студ. высших учеб. заведений (М: Академия, 2006) [3]; С. П. Вассер [и др.] Водоросли. Справочник (Киев: Наук. думка, 1989) [4]; В. Ю. Мандрик [и др.] Основи альгології (Київ: Фітосоціоцентр, 2006) [5]; Н. А. Лемеза Альгология и микология. Практикум: учеб. пособие (Минск: Выш. школа, 2008) [6].

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

Руководство адресовано студентам специальности 1 – 31 01 01-02 – «Биология (научно-педагогическая деятельность)», может быть полезно для учителей биологии и студентов специализации «Ботаника».

## Общая характеристика зеленых водорослей

Зеленые водоросли (в широком смысле) – внетаксономическая категория, объединяющая ряд полифилетичных таксонов водорослей, количество видов в пределах которой постоянно меняется вследствие совершенствования методов исследования, открытия новых видов или ревизии уже описанных таксонов.

До сих пор отсутствует единая устоявшаяся классификация зеленых водорослей, особенно в отношении группировки порядков в различные предлагаемые классы. Очень долго типу дифференциации таллома придавали основное значение при выделении порядков у зеленых водорослей. Однако в последнее время в связи с накоплением данных об ультраструктурных особенностях жгутиковых клеток, типе митоза и цитокинеза, а также с развитием молекулярно-генетических методов стала очевидной ошибочность данных предположений.

Согласно классификации И. Ю. Костикова с соавт. (2001), зеленые водоросли включают 6 классов Prasinophyceae, Chlorophyceae, Trebouxiophyceae, Ulvophyceae, Siphonophyceae и Charophyceae. В основе деления на классы находится комплекс признаков, связанных с особенностями строения клеточных покровов, типами корешковых систем у монадных стадий, митоза и цитокинеза, рядом биохимических особенностей. С данными признаками коррелируют также экологические особенности представителей разных классов.

По данным L. A. Lewis и R. M. McCourt (2004), L. Krienitz, Ch. Bock (2012) зеленые водоросли следует относить к двум отделам: Chlorophyta (*sensu stricto*) и Charophyta (*sensu lato*). Первый включает классы Prasinophyceae, Ulvophyceae, Trebouxiophyceae и Chlorophyceae, а второй – Mesostigmatophyceae, Chlorokybophyceae, Klebsormidiophyceae, Coleochactophyceae, Zygnematomphyceae и Charophyceae. Эти два отдела отличаются по строению жгутиковых стадий, типам митоза и цитокинеза, некоторым биохимическим особенностям. В рамках лабораторного курса дисциплины «Альгология и микология» ведется изучение хлорофициевых, требуксиофициевых, ульвофициевых и харофитовых зеленых водорослей.

Зеленые водоросли объединяют разнообразные по форме, размерам, строению и способам размножения водоросли. Известно 20 000–25 000 видов зеленых водорослей, в Беларуси встречаются представители около 800 видов.

**Биохимические особенности.** Для зеленых водорослей характерно наличие таких *пигментов*, как *хлорофиллы a и b* (у некоторых

празинофициевых присутствует хлорофилл с), ***α-, β-, γ- и ε-каротины, ксантофиллы лютеинового ряда*** (лютеин, зеаксантин, неоксантин, виодоксантин, антероксантин). У сифонофициевых, ульвофициевых и прازیнофициевых водорослей выявлены специфические пигменты: сифонеин, сифонксантин, лороксантин и прازیноксантин. Большинство водорослей данного отдела вследствие преобладания хлорофиллов имеют зеленую окраску.

Основным ***продуктом ассимиляции*** является ***крахмал***, который откладывается в виде зерен в строме хлоропласта, часто – вокруг пиреноида. Дополнительными продуктами ассимиляции являются ***масло*** и ***лейкозин***. У некоторых ульвофициевых водорослей основным запасным веществом может быть полисахарид инулин.

**Цитологические особенности.** Оболочка клеток у большинства представителей ***целлюлозно-пектиновая***. В классах хлорофициевые и прازیнофициевые встречаются водоросли, у которых клетки ***«голые»***, ***то есть лишены клеточной стенки***. У многих прازیнофициевых, а также у подвижных клеток ряда ульвофициевых и харофитовых водорослей на поверхности плазмалеммы откладываются ***органические чешуйки***. У некоторых коккоидных зеленых водорослей имеется дополнительный слой в оболочке, состоящий из ***спорополенинподобного вещества***. У некоторых представителей в состав клеточной оболочки могут входить и другие вещества – ксиланы, маннаны).

**Ядерный аппарат** зеленых водорослей имеет типичное эукариотическое строение. Внешняя мембрана ядерной оболочки не имеет структурной связи с хлоропластами. Митоз может быть открытым, полузакрытым и закрытым. У подвижных клеток центриоли обычно отсутствуют, их функцию выполняют базальные тела жгутиков. В клетках представителей, лишенных способности к активному движению, центриоли присутствуют.

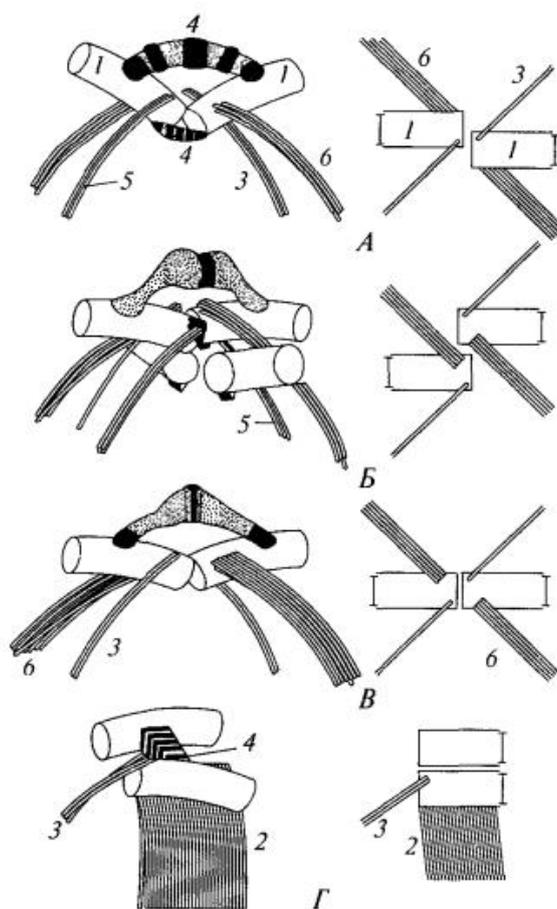
**Хлоропласты** покрыты двумя мембранами, как у высших растений. Ламеллы содержат от (2) 3 до 6 или более тилакоидов; формируются также псевдограны и граны. Опоясывающая ламелла отсутствует. Кольцевые молекулы хлоропластной ДНК имеют вид маленьких шариков (нуклеоидов) и распределены по всему хлоропласту. ДНК никогда не организуется в виде единственного кольцевого нуклеоида. Обычно в клетке присутствуют один или несколько ***пиреноидов***, которые могут быть окружены крахмальной обкладкой.

У подвижных зеленых водорослей в хлоропласте расположен ***глазок (стигма)***, состоящий из нескольких рядов пигментных глобул и выполняющий функцию ширмы, которая регулирует количество света, поступающего на фоторецептор. Функцию фоторецептора выполняет

участок плазмолеммы, тесно прилегающий к оболочке хлоропласта в месте расположения стигмы.

**Митохондрии** с пластинчатыми кристами.

У подвижных зеленых водорослей и зооспор имеется 2 и более одинаковой длины (изоконтные), подвижности (изодинамические) и внешнего строения (изоморфные) **жгутиков**. Они могут быть гладкие или покрытые тонкими волосками, у некоторых – чешуйками. В переходной зоне может присутствовать **звездчатая структура**, выявленная только в монадных клетках зеленых водорослей и высших растений. Система жгутиковых корешков состоит из микротубулярных и микрофибриллярных корешков. Планы организации корешковой системы различны у представителей разных классов (рисунок 1).



левая колонка – вид сбоку, правая колонка – с переднего конца клетки;

А – хлорофициевые, Б – ульвофициевые и требуксиофициевые,

В – хлорофициевые, Г – харофитовые: 1 – базальное тело,

2 – многослойная структура, 3 – узкий корешок,

4 – фибриллярные связи между базальными телами,

5 – фибриллярный материал, связанный с узкими микротрубочковыми корешками, 6 – широкий корешок

Рисунок 1 – Основные типы организации жгутикового аппарата у зеленых водорослей [3]

Для водорослей классов Chlorophyceae, Trebouxiophyceae и Ulvophyceae характерно крестообразное расположение микротрубочковых корешков, причем двухмикротрубочковые корешки расположены перпендикулярно к корешкам, у которых число микротрубочек может варьировать. У водорослей из этой группы существует три варианта расположения базальных тел жгутиков: 1) базальные тела расположены друг напротив друга (1–6 ч) (класс Chlorophyceae) (рисунок 1В); 2) базальные тела сдвинуты по часовой стрелке (1–7 ч) и не перекрываются (класс Chlorophyceae) (рисунок 1А); 3) базальные тела сдвинуты против часовой стрелки (11–5 ч) и перекрываются (классы Trebouxiophyceae и Ulvophyceae) (рисунок 1Б). Для Charophyta, характерны асимметричное расположение жгутиковых корешков и наличие многослойной структуры (рисунок 1Г), представляющей собой сложно организованную группу микротрубочек, расположенных около базальных тел.

**Вакуолярный аппарат** представлен настоящими вакуолями с клеточным соком. В клетках многих монадных и гемимонадных представителей имеются две, реже несколько **сократительных вакуолей**. Некоторым прازیнофициевым водорослям свойственны **трихонцисты** или **слизевые тельца**.

**Типы структуры тела водорослей.** У зеленых водорослей представлены практически все типы морфологической структуры таллома (монадный, гемимонадный, коккоидный, нитчатый, разноритчатый, сифональный и сифонокладальный, сарциноидный, псевдопаренхиматозный, паренхиматозный), за исключением амебоидного.

Среди зеленых водорослей встречаются одноклеточные, колониальные и многоклеточные формы, ведущие свободный или прикрепленный образ жизни.

**Размножение и жизненные циклы.** Размножение зеленых водорослей бывает вегетативным, бесполом и половым.

**Вегетативное размножение** у одноклеточных, лишенных оболочки, происходит **делением клетки пополам** (например, *Dunaliella*), у колониальных и многоклеточных – **фрагментами таллома**, у харофициевых – **специальными ризоидальными и стеблевыми клубеньками**.

**Бесполое размножение** у зеленых водорослей представлено широко. При бесполом размножении формирующиеся **зооспоры** могут быть «голыми» или покрытыми жесткой клеточной стенкой. Зооспоры после периода движения останавливаются, теряют свои жгутики, округляются (в случае голых зооспор) и развиваются в вегетативные особи. **Апланоспоры** (неподвижные споры) – споры бесполого

размножения, у которых отсутствуют жгутики, но имеются сократительные вакуоли. Апланоспоры рассматривают как клетки, у которых приостановлено дальнейшее развитие в зооспоры. У *автоспор*, которые представляют собой уменьшенные копии неподвижных вегетативных клеток, отсутствуют сократительные вакуоли. Образование автоспор коррелирует с завоеванием наземных условий, в которых вода не может всегда присутствовать в достаточном количестве.

У водорослей отдела Chlorophyta имеются все известные для водорослей типы *полового процесса* (изо-, гетеро-, оо-, гологамия и конъюгация).

**Типы жизненных циклов.** Около четверти известных видов свойственны жизненные циклы типа цикломорфоза. У остальных представителей жизненные циклы гаплофазные, гаплодиплофазные и диплофазные с зиготической, гаметической, спорической и соматической редукциями, без смены поколений или с изо- и гетероморфной сменой поколений. Жизненные циклы могут быть однотипными у всех представителей класса, порядка, а могут отличаться даже у представителей одного рода.

**Распространение и значение.** Зеленые водоросли широко распространены по всему миру. Большинство из них можно встретить в пресных водоемах, но известно и немало солоноватоводных и морских форм (значительная часть класса ульвофициевых). Зеленые водоросли обнаружены в водоемах различной трофности (от дистрофных до эвтрофных) и с различным содержанием органических веществ, водородных ионов (от щелочных до кислых), при различных температурах (термо-, мезо- и криофильные виды). Среди них есть планктонные, перифитонные и бентосные формы.

Зеленые водоросли являются неотъемлемым компонентом наземных экосистем. Их можно встретить в почве, на коре деревьев, скалах, различных постройках, в толще воздуха. Среди них в этих местообитаниях особенно распространены представители родов *Trentepohlia* и *Trebouxia*. Массовое развитие микроскопических зеленых водорослей вызывает «цветение» воды, почвы, снега, коры деревьев и т. д. Так, *Chlamydomonas nivalis* можно обнаружить высоко в горах на снегу, окрашенном в красный цвет. У этого вида хлорофилл маскируется каротиноидными пигментами.

Своеобразную экологическую группу представляют эндолитофильные водоросли, связанные с известковым субстратом. Во-первых, это – «сверлящие» водоросли. Например, водоросли из рода *Gomontia* сверлят раковины перловиц и беззубок, внедряются в известковый

субстрат в пресных водоемах. Они делают известковый субстрат рыхлым. Во-вторых, ряд водорослей в пресных и морских водоемах способны переводить растворенные в воде соли кальция в нерастворимые, концентрируя последние на своих талломах. Они принимают активное участие в постройке рифов. Гигантские залежи останков *Halimeda*, иногда достигающие 50 м в высоту, встречаются в континентальных шельфовых валах, связанных с Большим Барьерным Рифом в Австралии и других регионах, на глубине от 12 до 100 м.

Зеленые водоросли класса требуксиофициевые, вступая в симбиотические отношения с грибами, входят в состав лишайников. Около 85 % лишайников содержат одноклеточные и нитчатые зеленые водоросли в качестве фотобионта. В качестве эндосимбионтов они существуют в клетках простейших, гидр, губок и некоторых плоских червях. Некоторые зеленые водоросли развиваются на шерсти млекопитающих.

Существуют паразитические представители зеленых водорослей, большинство из которых в качестве хозяина имеют высшие растения. Так, *Phyllosiphon* вызывает пожелтение листьев растения-хозяина. *Cephaleuros* – облигатный эндофит листьев сотен видов растений, включая кофе, чай и другие. Он вызывает заболевания, известные как «ржавчина». У людей они являются причиной кожных заболеваний и изредка – бурситов и перитонитов, у крупного рогатого скота могут быть причиной маститов.

Ряд зеленых водорослей имеют хозяйственное значение. Их используют как индикаторные организмы в системе мониторинга водных экосистем. Например, Агентство по защите окружающей среды США рекомендует использовать в тестах для пресных вод такие индикаторные организмы, как *Selenastrum capricornutum* и *Scenedesmus subspikatus*. Зеленые водоросли применяются для очистки и доочистки загрязненных вод, а также как корм в рыбохозяйственных водоемах. Некоторые виды используются населением ряда стран в пищу. Для этих целей, например в Японии, специально культивируют *Ulva* и *Enteromorpha*. Отдельные виды зеленых водорослей используют в качестве продуцентов физиологически активных веществ. Так, виды рода *Haematococcus* культивируют в промышленных масштабах для получения каротиноида астаксантина, *Botryococcus* – для получения липидов. Кроме того, зеленые водоросли – хороший модельный объект для изучения разных биологических процессов (фотосинтеза, клеточной подвижности и адгезии, регуляции метаболизма и др.). В то же время с «цветением» воды одного из озер на Тайване, вызванного *Botryococcus*, связывают гибель рыб.

Виды родов *Chlorella* и *Chlamydomonas* – модельные объекты для изучения фотосинтеза в растительных клетках. Гигантские много-ядерные талломы *Acetabularia*, многоклеточные талломы *Chara* и одноклеточных представителей *Dunaliella* и *Chlamydomonas* в генной инженерии используют как объекты для трансформации.

## **Занятие 1. Хлорофициевые и требуксиофициевые водоросли**

1.1 Класс хлорофициевые зеленые водоросли: признаки и деление таксоны.

1.2 Порядок хламидомонадальные: характеристика и типичные представители.

1.3 Порядки хетофоральные, сфероплеальные и эдогониальные: характеристика и типичные представители.

1.4 Общая характеристика и представители класса требуксиофициевые.

### **1.1 Класс хлорофициевые зеленые водоросли: признаки и деление таксоны**

*Класс хлорофициевые*, или собственно зеленые, водоросли (*Chlorophyceae*) занимает центральное положение среди всех зеленых водорослей, характеризуется наличием практически всех типов талломов (кроме амебоидного, сифонального и сифонокладального).

Объединяет водоросли с одно- или многоклеточным, реже неклеточным строением, обитающие преимущественно в пресных водоемах. Клетки покрыты оболочками. У монадных представителей в состав корешковой системы жгутиков входит 4 микротрубочковых корешка, прикрепленных к базальным телам жгутиков крестообразно, или жгутиковый аппарат организован по многожгутиковому типу. Базальные тела жгутиков смещены одно относительно второго по часовой стрелке или не смещены. Митоз закрытый. Большинство представителей способны к гиперсинтезу вторичных каротиноидов, в результате чего на протяжении жизненного цикла могут изменять окраску с зеленой на красную или ярко-желтую.

Бесполое размножение обычно осуществляется равножгутиковыми зооспорами, иногда апланоспорами. Обращенных вперед жгутиков

может быть 2–4, у некоторых – до 120 (Oedogoniales). Половой процесс голо-, изо-, гетеро- или оогамный. Класс подразделяется на 6 порядков в соответствии с типом структуры тела водорослей, типом зооспор, ориентацией базальных тел жгутиков, наличием в клеточных оболочках слоя кристаллической упорядоченной целлюлозы, способности к гиперсинтезу вторичных каротиноидов, особенностей деления клеток. Рассмотрим наиболее типичные порядки и их представителей. Основные порядки: хламидомонадальные (Chlamydomonadales); хлорококкальные (Chlorococcales); хетофоральные (Chaetophorales), сфероплеальные (Sphaeropleales), протосифональные (Protosiphonales), эдогонияльные (Oedogoniales).

## **1.2 Порядок хламидомонадальные: характеристика и типичные представители**

*Порядок хламидомонадальные* (Chlamydomonadales) включает хлорофициевые водоросли со сдвигом базальных тел по часовой стрелке, с различными типами дифференциации таллома. Этот порядок на основе данных молекулярно-генетического анализа включает три важнейшие линии. Первая линия представлена хлорофициевыми водорослями с монадным типом дифференциации таллома, ранее относимыми к вольвоксовым. Сюда входит часть пальмеллоидных представителей из бывшего порядка Tetrasporales, имеющих двужгутиковые подвижные клетки. Вторая линия включает некоторые коккоидные формы, ранее относящиеся к порядку Chlorococcales, такие, как *Tetracystis*, некоторые *Chlorococcum*, ряд видов, перенесенных из рода *Chlamydomonas*. Третья линия включает часть представителей с монадным типом дифференциации таллома, ранее относимых к вольвоксовым (например, *Dunaliella*, некоторые *Chlamydomonas*), коккоидные формы, ветвящиеся нитчатые и многоядерные сифональные.

Одним их типичных представителей порядка является *род хламидомонас* (*Chlamydomonas*). Виды его обитают в мелких хорошо прогреваемых водоемах (временных лужах, канавах), загрязненных органическими веществами. В таких водоемах способны быстро размножаться и при массовом развитии вызывать «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.

Форма клеток хламидомонад шаровидная или овальная. На переднем конце заметен бесцветный «носик» (папилла) с отходящими

от него двумя жгутиками (рисунок 2). Протопласт обычного для мотильных форм строения. Чашевидный хлоропласт с одним или несколькими пиреноидами находится в постенном слое цитоплазмы, в хлоропласте выражены ламеллы, имеется крупная стигма в верхней его части. Продукт ассимиляции (запасное вещество) – крахмал располагается вокруг пиреноида в виде крахмальной сферы. Две пульсирующие вакуоли заметны на переднем конце клетки у основания жгутиков. Ядро с хорошо различимым ядрышком – в центре клетки. Представители: хламидомонада плотная (*Chlamydomonas conferta*), хл. неподвижная (*Ch. immobilis*).

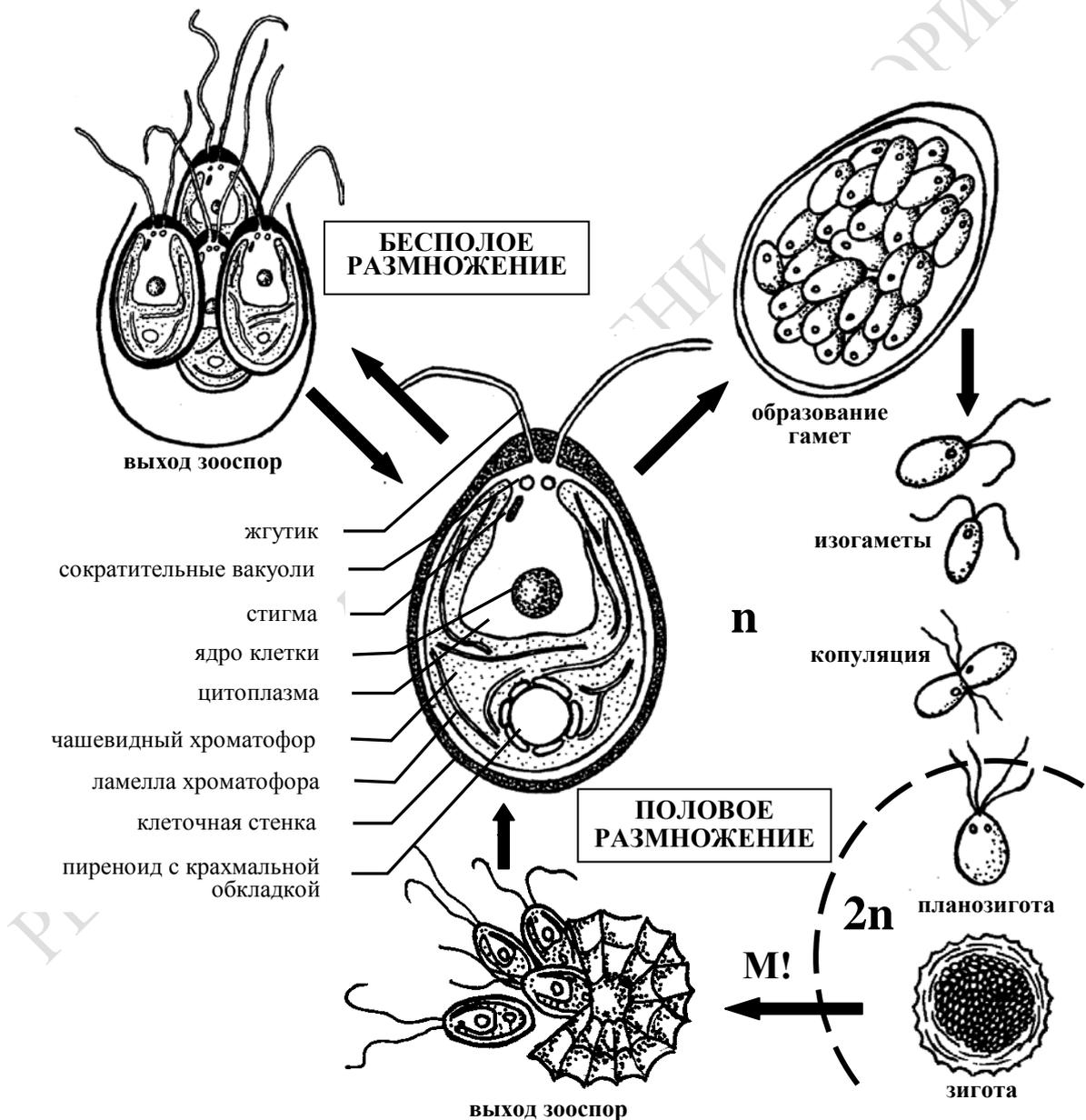
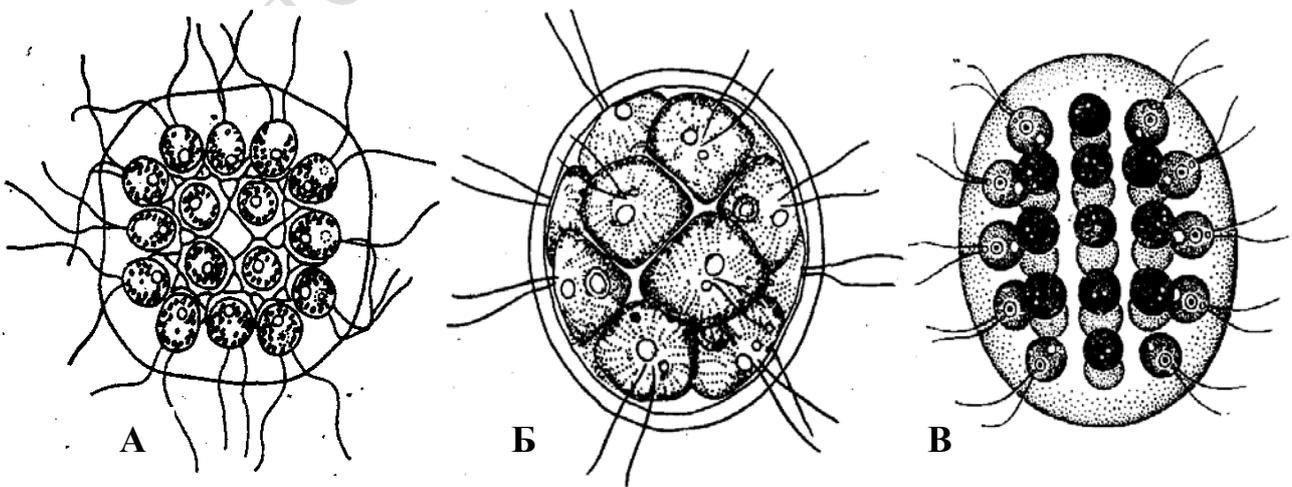


Рисунок 2 – Схема жизненного цикла представителей рода хламидомонада (*Chlamydomonas*)

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, погружаясь в слизь, 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).

Среди хламидомонадальных известны и подвижные ценобиальные организмы различной формы. Клетки в ценобии по форме и строению подобны хламидомонадным, но одеты сильно ослизненными оболочками, сам ценобий одет общей оболочкой (инволюкумом). Наиболее типичные представители семейства: гониум пекторальный (*Gonium pectorale*), г. общественный (*G. sociale*), эвдорина изящная (*Eudorina elegans*), пандорина ежевиковая (*Pandorina morum*) (рисунок 3), вольвокс шаровидный (*Volvox globator*), в. золотистый (*V. aureus*). Половой процесс у гониума – изогамный, у пандорины – гетерогамный, у эвдорины и вольвокса – оогамный.



А – *Gonium pectorale*; Б – *Pandorina morum*; В – *Eudorina elegans*

Рисунок 3 – Ценобии хламидомонадальных

Представители *рода вольвокс* (*Volvox*) имеют вид относительно крупных (до 2 мм) в диаметре шаров. Шар состоит из 500–5 000 вегетативных клеток, расположенных в один слой. Полость шара заполнена слизью. Кроме вегетативных в ценобии наблюдаются половые клетки и партеногонидии (партеногонии, гонидии). В ценобии хорошо выражена полярность: передние вегетативные клетки имеют более крупную стигму, только в задней части ценобии располагаются до 8–10 гонидий. Из этих крупных безжгутиковых клеток образуются дочерние ценобии (рисунок 4).

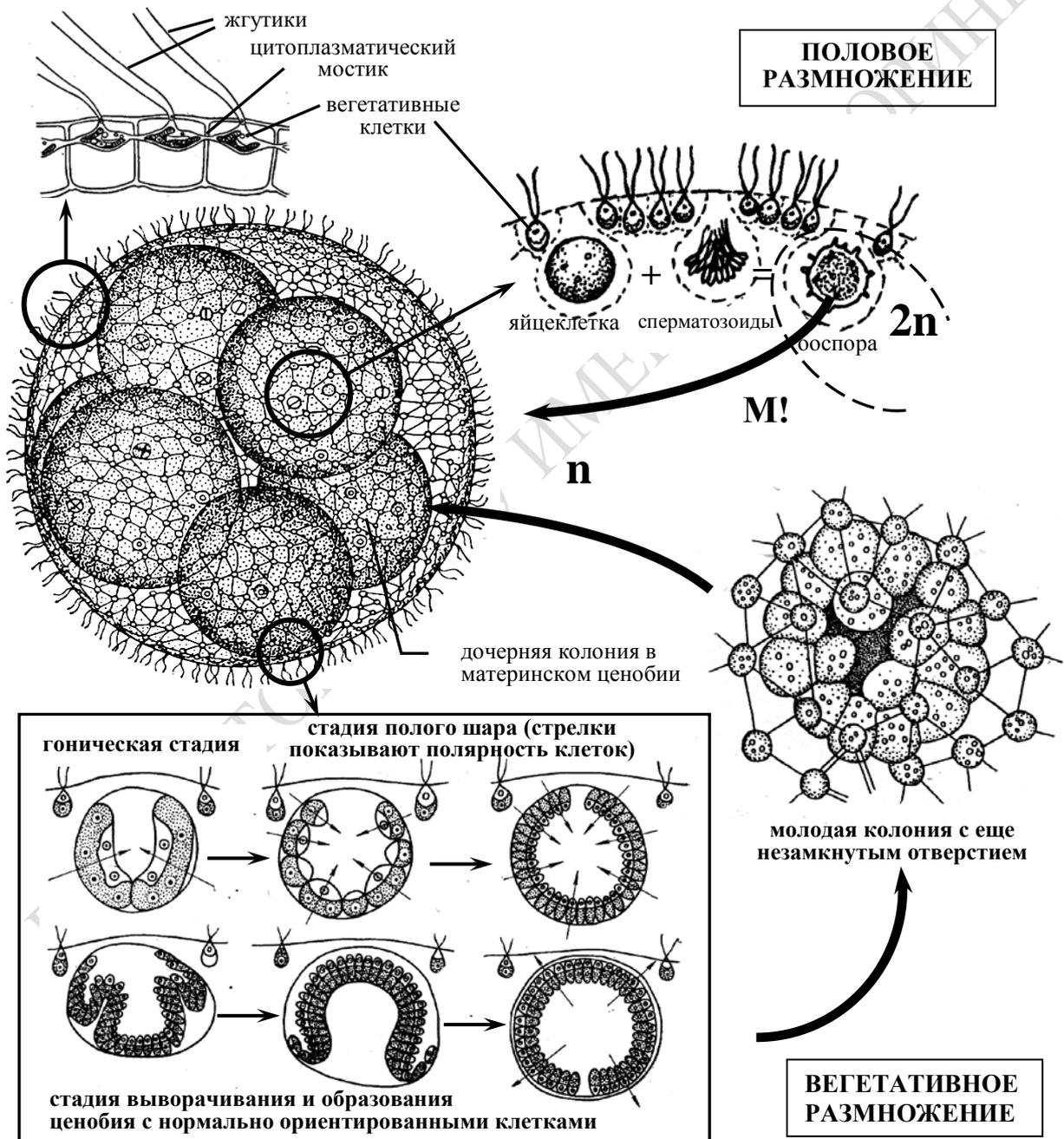


Рисунок 4 – Схема жизненного цикла представителей рода вольвокс (*Volvox*)

Процесс вегетативного размножения 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 ценобиев в полость материнского ценобия.
5. Стадия освобождения дочерних ценобиев (при разрыве стенок и гибели материнского).

При половом размножении в задней части колонии из отдельных клеток ценобия, напоминающих партеногонидии, формируются антеридии и оогонии. 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).

Типичными представителями порядка с коккоидной структурой таллома являются водоросли *рода хлорококкум* (*Chlorococcum*), которые встречаются в пресных водоемах, на влажной почве, на коре деревьев. Клетки имеют шаровидную форму. У старых клеток может встречаться несколько ядер.

Жизненный цикл. При бесполом размножении в материнской клетке образуется от 8 до 32 двужгутиковых зооспор (рисунок 5), которые освобождаются путем разрыва оболочки материнского спорангия. Через некоторое время они теряют жгутики, одеваются плотной оболочкой и превращаются в неподвижные вегетирующие клетки хлорококкума, постепенно достигающие до размеров материнской клетки. Половой процесс происходит путем слияния двужгуτικών изогамет, похожих на зооспоры. Зигота прорастает после периода покоя. Редукция зиготическая.

В почве распространены водоросли *родов хлоросарцинопсис* (*Chlorosarcinopsis*), способные к образованию многоклеточных пакетов, и крупные виды родов *дезония* (*Deasonia*) и *неоспонгиококкум* (*Neospongiococcum*).

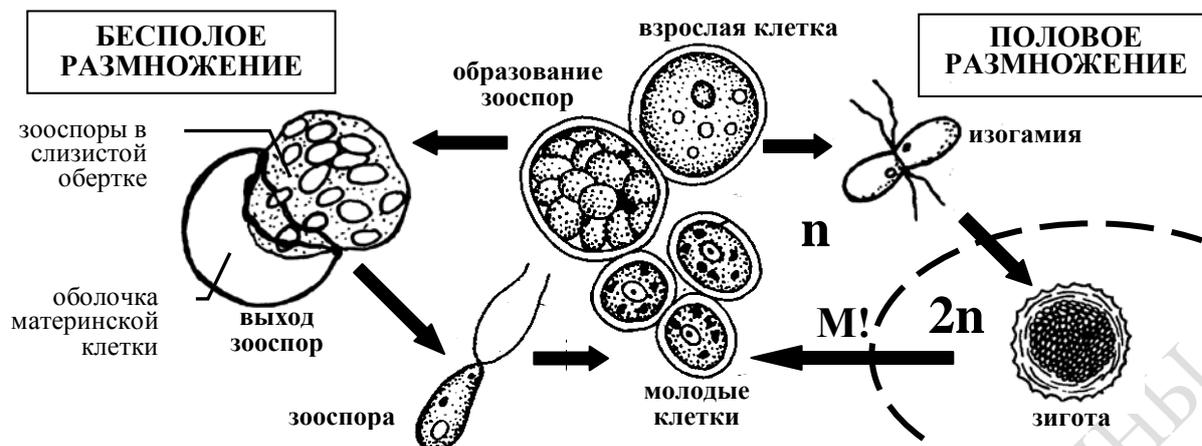


Рисунок 5 – Схема жизненного цикла представителей рода хлорококкум (*Chlorococcum*)

Представители родов *Deasonia* и *Neospongiococcum* характеризуются клетками шаровидной, грушевидной или яйцевидной формы (рисунок 6).

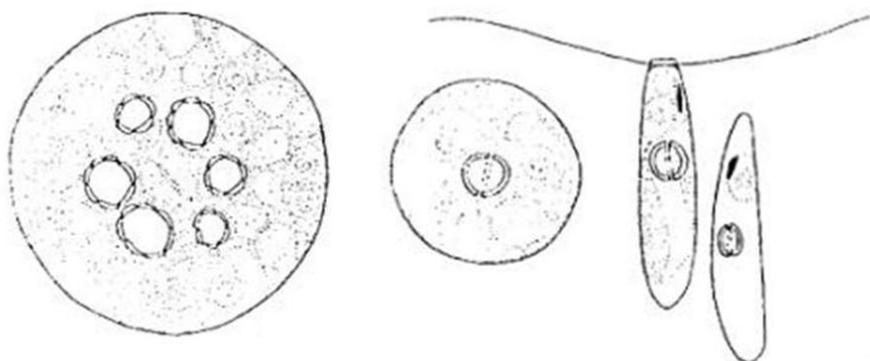


Рисунок 6 – Клетки и зооспоры водорослей рода дезония (*Deasonia*) [11]

Хлоропласт в молодых клетках пристенный, быстро превращающийся в губчатый. Пиреноид 1 или несколько, зрелые клетки дезонии многоядерные, неоспонгиококкума – одноядерные. Размножаются зоо- и апланоспорами.

### 1.3 Порядки хетофоральные, сфероплеальные и эдогониальные: характеристика и типичные представители

**Порядок хетофоральные** (*Chaetophorales*) объединяет многоклеточные водоросли с нитчатыми и разнонитчатым типами структуры таллома. Каркас клеточной оболочки состоит из кристаллически

упорядоченной целлюлозы. Талломы хетофоральных представляют собой физиологически целостные структуры, поскольку клетки в нитях соединяются с помощью плазмодесм, проходящих через первичные поры. Монадные клетки голые, зооспоры – четырехжгутиковые, гаметы – двухжгутиковые. Базальные тела жгутиков смещены по часовой стрелке. Обитают в пресных континентальных водоемах.

Представители: уронема (*Uronema*), стигеоклониум (*Stigeoclonium*), драпарнальдия (*Draparnaldia*).

Виды **рода стигеоклониум** (*Stigeoclonium*) (рисунок 7А) встречаются в бентосе и обрастаниях в стоячих и медленно текущих водах. Слоевище стигеоклониума имеет вид небольших кустиков, прикрепленных горизонтальной системой нитей к субстрату. От горизонтальных нитей вверх отходят вертикальные ветвящиеся нити. Ветви, как правило, заканчиваются бесцветными многоклеточными волосками из отмирающих и отмерших клеток. Бесполое размножение осуществляется посредством четырехжгутиковых зооспор, половое – двухжгутиковых или четырехжгутиковых изогамет.



Рисунок 7 – Chaetophorales: А – *Stigeoclonium*, Б – *Draparnaldia* [3]

У водорослей **рода драпарнальдия** (*Draparnaldia*) (рисунок 7Б) крупные ветвящиеся талломы прикрепляются к субстрату небольшой базальной клеткой, реже ветвящимися ризоидами или горизонтальной подошвой. Восходящая система состоит из центральной оси, образованной одним рядом крупных цилиндрических клеток с одним хлоропластом в виде узкой пластинки с отверстиями и сильно изрезанными краями. От клеток центральных осей часто мутовками отходят сильно ветвящиеся боковые оси. Концы боковых веточек часто заканчиваются длинными бесцветными волосками или щетинками. Размножение

бесполое посредством четырехжгутиковых зооспор, апланоспор, половое – изогамия – двухжгутиковыми гаметами.

**Порядок сфероплеальные** (*Sphaeropleales*) включает некоторые таксоны, имеющие подвижные клетки с противоположным расположением базальных тел, и тех неподвижных представителей, для которых показано сходство в ультраструктурных и молекулярных особенностях. В рамках порядка наблюдается тенденция перехода от одноклеточных форм к ценобиальным, утраты полового процесса и зооспор, связанная с приспособлением к планктонному способу существования. У ценобиальных форм споры обычно еще внутри оболочки материнской клетки слагаются в дочерние ценобии, которые, как и у хламидомонадальных, растут только за счет увеличения размеров клеток, а их число остается постоянным. Представители: гидродиктион сеточный, или «водяная сеточка» (*Hydrodictyon reticulatum*), педиаструм угловатый (*Pediastrum angulosum*), сценедесмус четырехрогий (*Scenedesmus quadricauda*) (рисунок 8).

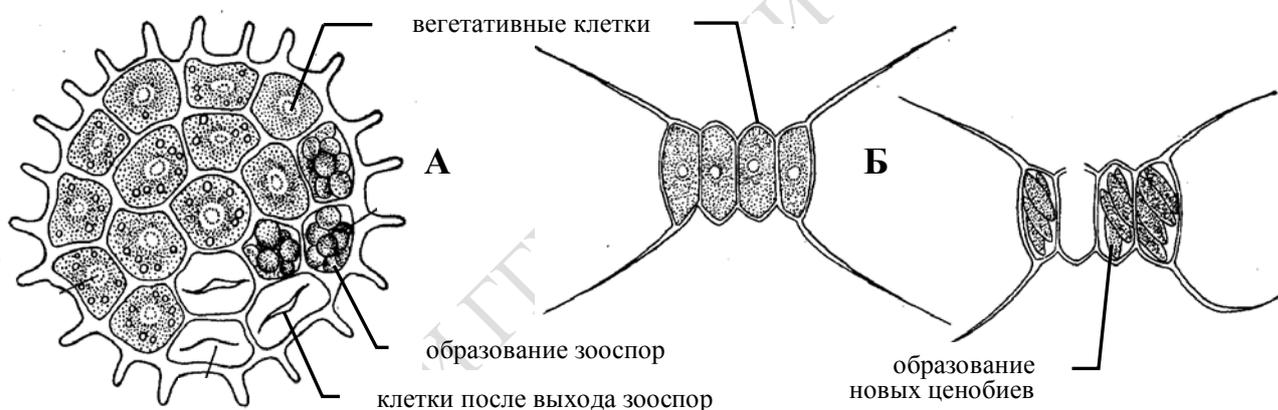


Рисунок 8 – А – *Pediastrum angulosum*; Б – *Scenedesmus quadricauda*;

**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 пятишестиугольных ячеек, формирующих стенки ценобия (рисунок 9). 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 хлоропласт со множеством пиреноидов

**Жизненный цикл.** При бесполом размножении в клетке путем последовательного распада протопласта на более мелкие участки возникает 7–20 тыс. одноядерных двухжгутиковых зооспор, которые, не выходя из материнской клетки, некоторое время движутся, затем втягивают жгутики и образуют дочернюю «сеточку».

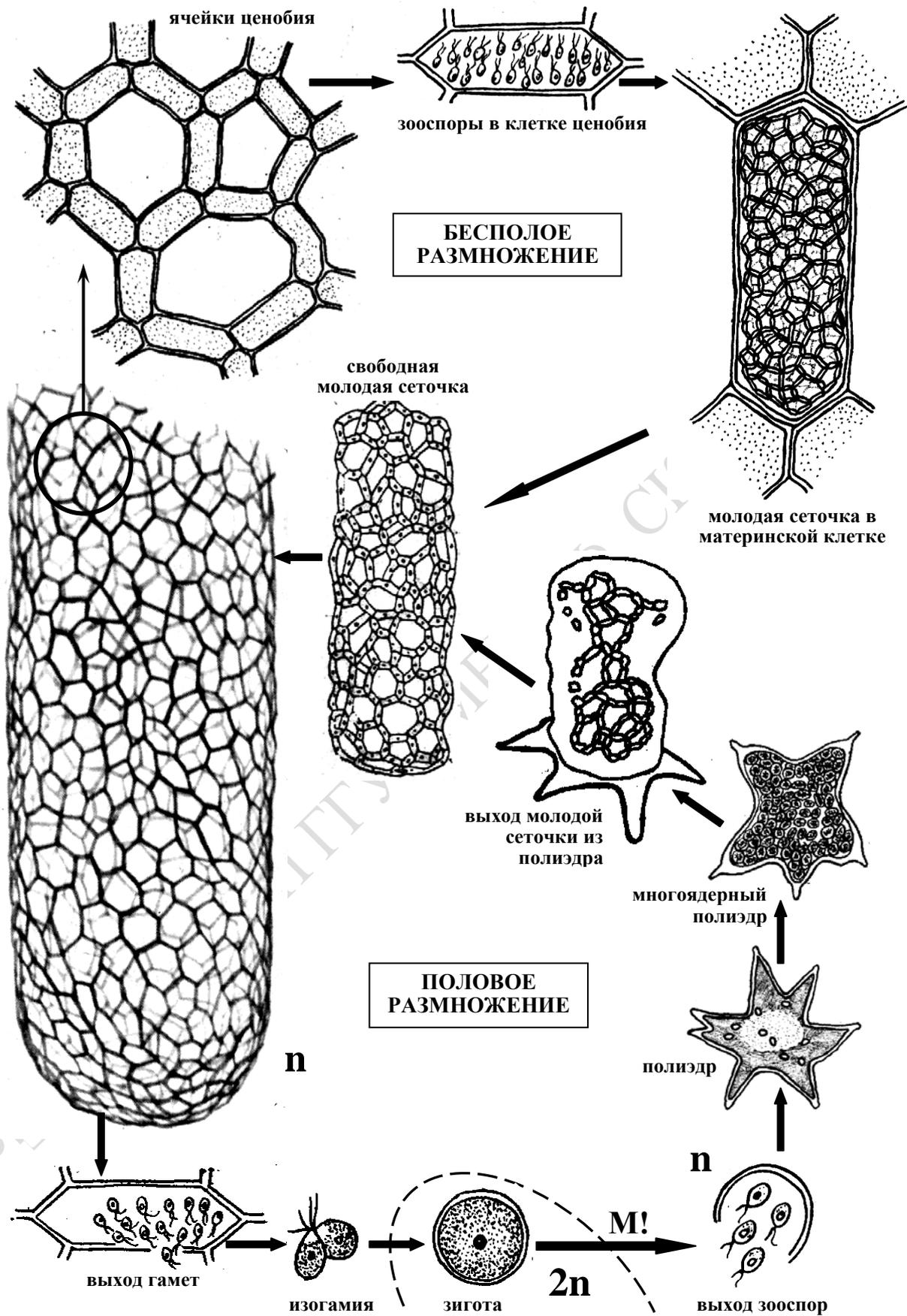


Рисунок 9 – Схема жизненного цикла представителей рода гидродиктион (*Hydrodictyon*) – «водяная сеточка»

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* – гомоталличный вид: у него способны копулировать даже гаметы, образованные в одной клетке. Гаметы образуются также как и зооспоры, но в большем количестве (до 30 тыс.). Они выходят из материнской клетки, попарно сливаются, образуя шаровидную зиготу. Зигота после периода покоя и редуccionного 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.

**Порядок эдогониальные** (Oedogoniales) включает водоросли с нитчатым и гетеротрихальным типами структуры таллома, которые напоминают хетофоральные водоросли, однако отличаются от них наличием особого типа митоза (эдогониевый), клеточным делением с образованием колпачков, многожутиковыми монадными клетками и высоко развитым оогамным половым процессом.

Среди эдогониальных водорослей встречаются однодомные и двудомные. Жизненные циклы 2-х типов: гаплофазные без смены поколений и гаплофазные со стадией микроскопического мужского гаметофита – нанадрия. Наиболее известны водоросли одноименного **рода эдогониум** (*Oedogonium*).

У эдогониума – широко распространенной водоросли в водоемах различных частей света – талломы неветвящиеся, во взрослом состоянии свободно плавающие, а в молодом – прикрепленные к субстрату специальными базальными клетками с дланевидными выростами в основании. Клетки в нитях цилиндрические, иногда вздутые в верхней части, одетые трехслойной оболочкой. Внутренний слой оболочки целлюлозный, средний – пектиновый, наружный – кутикулярный.

У эдогониума интересен процесс вегетативного деления клетки (рисунок 10). В верхней части клетки, расположенной ближе к месту соединения со следующей клеткой, на внутренней стороне оболочки образуется складка, которая затем превращается в кольцевидное утолщение – валик. Ядро клетки переходит в область валика и делится. После завершения клеточного деления между дочерними ядрами

формируется перегородка, дающая начало клеточной пластинке. В области валика между двумя его выступами, обращенными к наружной стенке клетки, наружная часть оболочки материнской клетки резко разрывается вокруг валика. Затем материал валика быстро растягивается, принимает цилиндрическую форму и становится клеточной стенкой соответствующей дочерней клетки.

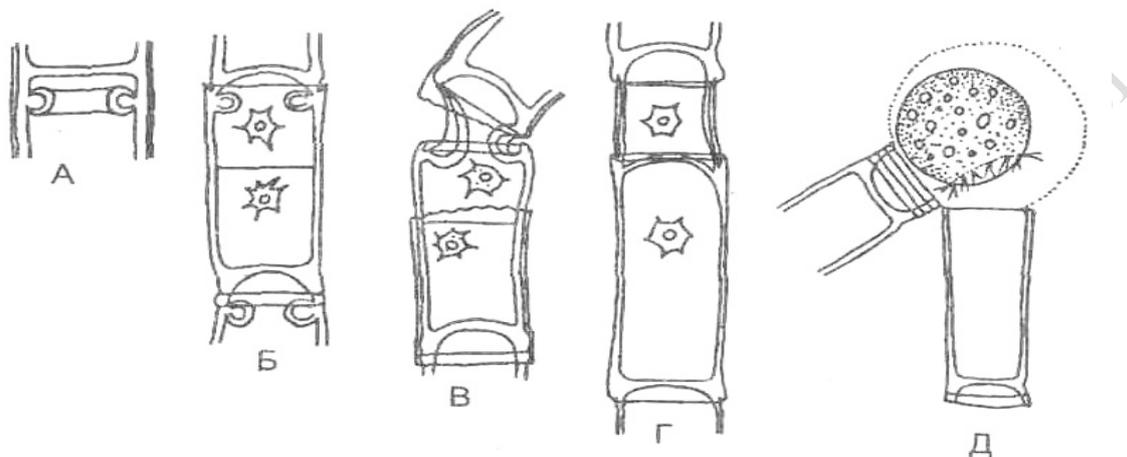


Рисунок 10 – Эдогониум (*Oedogonium*):  
А–Г – деление клетки; Д – выход зооспоры [1]

Собственно бесполое размножение эдогониума осуществляется зооспорами, половой процесс оогамный.

## 1.4 Общая характеристика и представители класса требуксиофицевые

*Класс требуксиофицевые* (Trebouxiophyceae) объединяет около 250 видов коккоидных, нитчатых и разноразветвленных водорослей, обитающих преимущественно во вневодных экотопах – в почве, в аэрофитоне, входящих в состав лишайников, реже являющихся симбионтами пресноводных беспозвоночных.

Клетки требуксиофицевых покрыты целлюлозно-пектиновой оболочкой, которая у многих представителей содержит дополнительный слой спорополленина. Монадные клетки «голые», двужгутиковые (реже – четырехжгутиковые), представлены зооспорами, реже – гаметами. Корешковая система жгутиков крестообразная; базальные тела жгутиков смещены по часовой стрелке. Митоз – полуоткрытый, в виде исключения – закрытый. Представители данного класса не способны к гиперсинтезу вторичных каротиноидов и на протяжении

всей жизни остаются зелеными. Рассмотрим основные порядки класса Trebouxiophyceae.

**Порядок требуксиальные** (Trebouxiales) объединяет одноклеточные и собранные в сарциноидные пакеты или тетрады водоросли с коккоидным или нитчатым типом структуры таллома. Большинство видов способны размножаться с помощью зооспор, у некоторых зооспоры недоразвиты (образуются гемизооспоры или апланоспоры). Клетки содержат лопастной, пристенный или центральный хлоропласт без пиреноида или с плохо заметным пиреноидом, вокруг которого не откладывается крахмал. Водоросли данного порядка являются представителями аэрофитона, могут входить в качестве фотобионта в состав лишайников.

Типичным **родом** данного порядка является **требуксия** (*Trebouxia*).

**Порядок хлорелляльные** (Chlorellales). Коккоидные или нитчатые водоросли. Не способные к образованию зооспор и половому размножению. В клетках содержится хорошо заметный пристенный хлоропласт с пиреноидом или без него.

**Род хлорелла** (*Chlorella*) имеет одиночные шаровидные или эллипсоидные клетки, одетые гладкой оболочкой, одноядерные (рисунок 11). Хлоропласт пристенный, 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.

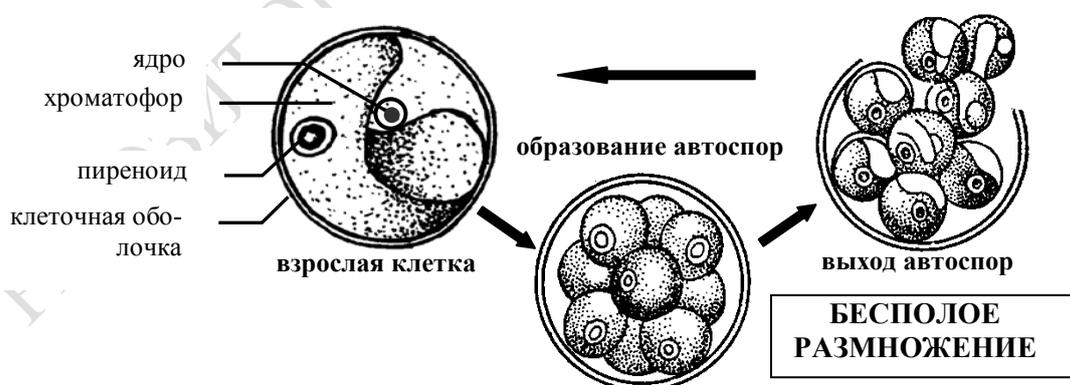


Рисунок 11 – Схема жизненного цикла представителей рода хлорелла (*Chlorella*)

В жизненном цикле в настоящий момент половой процесс не установлен, и, как следствие, нет смены 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.

Представители: хлорелла обыкновенная (*Chlorella vulgaris*), хл. почвенная (*Ch. terricola*), хл. эллипсоидная (*Ch. ellipsoidea*).

## Ход лабораторной работы

**Материалы и оборудование.** Слянки с водорослями, постоянные препараты изучаемых объектов, микроскопы, препаровальные иглы, чашки Петри, пинцет, предметные и покровные стекла, слянки с водой, пипетки, фильтровальная бумага, 2 %-ный раствор метиленовой сини, таблицы.

**Цель:** Ознакомиться с общей характеристикой и представителями классов хлорофициевые и требуксиофициевые водоросли; изучить особенности протекания жизненных циклов наиболее типичных видов.

### Задания

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

Отдел зеленые водоросли – Chlorophyta

Класс хлорофициевые – Chlorophyceae

Порядок хламидомонадальные – Chlamydomonadales

Род хламидомонада – *Chlamydomonas*

Род вольвокс – *Volvox*

Род хлорококкум – *Chlorococcum*

Род дезония – *Deasonia*

Порядок сфероплеальные – Sphaeropleales

Род гидродикцион – *Hydrodictyon*

Класс требуксиофициевые – Trebouxiophyceae

Порядок хлорелляльные – Chlorellales

Род хлорелла – *Chlorella*

2. Приготовить уже известным вам способом препарат хламидомонады, рассмотреть при большом и малом увеличении микроскопа. **Зарисовать строение клетки хламидомонады**, отметить пектиновую оболочку, ядро, 2 пульсирующие вакуоли, светочувствительный глазок (стигму), чашевидный хлоропласт, пиреноид, жгутики на переднем конце тела, папиллу. Чтобы рассмотреть жгутики, необходимо окрасить препарат 2 %-ным 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.*

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 нее дочерними колониями; 2) часть колонии с половыми клеткам*, отметив при этом вегетативные клетки, плазмодесмы, репродуктивные партеногонидии, оогонии с яйцеклетками и антеридии со сперматозоидами.

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, хлоропласт с одним пиреноидом, цитоплазму и вакуоль; *2) образование зооспор* у данного представителя; *3) отдельную зооспору* водоросли.

5. Приготовить препарат дезонии и рассмотреть при малом и большом увеличении микроскопа. *Зарисовать отдельную клетку дезонии*, отметить оболочку клетки, ядра, пристенный губчатый хлоропласт, пиреноиды, цитоплазму и вакуоль.

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

7. 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, хлоропласт с пиреноидом, цитоплазму и вакуоль; *2) выход автоспор.*

## Вопросы для самоконтроля

- 1 Перечислите основные признаки зеленых водорослей.
- 2 Приведите основные признаки класса хлорофициевых зеленых водорослей.

3 Охарактеризуйте строение клетки типичное для водорослей порядка хламидомонадальные. Перечислите известных вам представителей порядка.

4 Каково строение, распространение и образ жизни хетофоральных водорослей?

5 Назовите отличительные признаки порядков сфероплеальные и эдогониальные.

6 Опишите жизненные циклы хламидомонады, вольвокса и гидродиктиона.

7 Приведите характеристику класса требуксиофициевые и особенности его типичных представителей.

## **Занятие 2. Ульвофициевые (Ulvophyceae) водоросли**

2.1 Класс ульвофициевые водоросли: общая характеристика, деление на порядки.

2.2 Основные признаки и представители порядка улотрихальные.

2.3 Строение, распространение и особенности циклов развития водорослей порядка ульвальные.

2.4 Порядок кладофоральные: строение, особенности размножения и распространения типичных представителей.

2.5 Порядок каулерповые: особенности строения, размножения и распространения.

### **2.1 Класс ульвофициевые водоросли: общая характеристика, деление на порядки**

*Класс ульвофициевые (Ulvophyceae)* включает преимущественно морские бентосные и перифитонные водоросли, реже представителей пресных водоемов и наземных представителей. Водоросли данного класса имеют одно- или многоклеточные талломы; характеризуются коккоидным, сарциноидным, нитчатым, гетеротрихальным, паренхиматозным, псевдопаренхиматозным, сифональным, сифонокладальным типами таллома.

Клетки покрыты целлюлозно-пектиновой или целлюлозной оболочкой. У некоторых представителей в клеточных стенках откладывается

карбонат кальция. Монадные клетки голые, четырех- или двужгутиковые (зооспоры, гаметы). Корешковая система жгутиков крестообразная, базальные тела жгутиков смещены против часовой стрелки (на 11–5 часов). Митоз закрытый.

Класс насчитывает около 100 родов и более 1 000 видов. Деление на порядки осуществляется по следующим признакам: тип структуры тела водорослей, особенности жизненных циклов, ультраструктура зооспор и гамет, экологические предпочтения. В некоторых системах предлагают выделять до 11 порядков в этом классе. Рассмотрим наиболее распространенные порядки: улотрихальные (*Ulothrichales*), ульвальные (*Ulvales*), кладофоральные (*Cladophorales*) и каулерповые (*Caulerpales*).

## **2.2 Основные признаки и представители порядка улотрихальные**

*Порядок улотрихальные* (*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, суженой частью обращенного к субстрату. Пластинчатые (в данном случае – псевдопаренхиматозные; необходимо отметить, что у других таксонов пластинчатая структура тела м.б. образована также разнонитчатым и паренхиматозным типом таллома) талломы улотриховых 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. Монадные клетки голые, на плазмолемме есть слой субмикроскопических органических чешуек. Зооспоры преимущественно четырехжгутиковые, гаметы – двужгутиковые.

Вегетативное размножение улотрихальных водорослей осуществляется путем фрагментации тела 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. Половой процесс чаще изогамный, реже гетеро- и оогамный. Споры и гаметы способны образовываться в любой вегетативной клетке, за исключением базальной.

**Род улотрикс (*Ulothrix*)** представлен нитчатыми, неразветвленными, прикрепленными формами. Клетки цилиндрические или бочковидные с толстыми целлюлозными оболочками. Отличительной чертой рода является строение хлоропласта: он пристенный, в виде широкой пластинки-пояска, с загибающимися, но не смыкающимися краями. В хлоропласте – 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 растворяется. После периода движения зооспора останавливается, теряет один за другим жгутики, прикрепляется боковой поверхностью к субстрату и прорастает в нить. При половом размножении в вегетативных клетках возникают двужгутиковые гаметы (до 64 – в каждой клетке). Половой процесс изогамный. У улотрикса опоясанного (*Ulothrix zonata*) наблюдается гетероталлизм, то есть копулируют гаметы из разных нитей, отличающихся в половом отношении («+» или «-»). В результате слияния образуется сначала подвижная четырехжгутиковая планозигота, которая после некоторого периода движения прикрепляется к субстрату и округляется. Зигота делится на 4–16 зооспор или апланоспор. В данном случае – редукция зиготическая, проходящая, однако, с образованием спор (рисунок 12).

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.

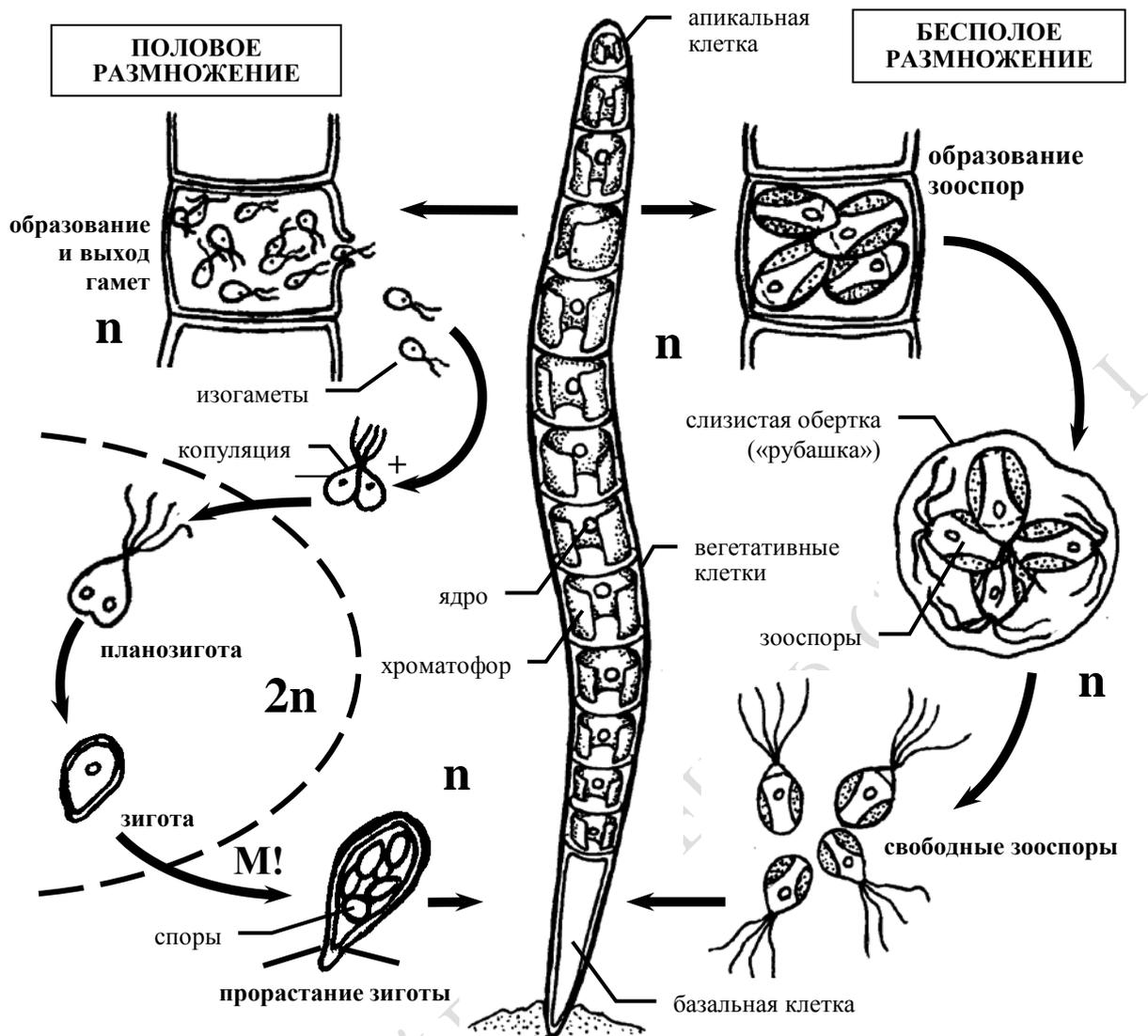


Рисунок 12 – Схема строения таллома и жизненного цикла улотрикса опоясанного (*Ulothrix zonata*)

### 2.3 Строение, распространение и особенности циклов развития водорослей порядка ульвальные

**Порядок ульвальные** (Ulvales) объединяет преимущественно морские водоросли с разноритчатым или примитивно тканевым типом структуры таллома. Оболочки клеток целлюлозно-пектиновые, способны к ослизнению. Жгутиковые стадии лишены субмикроскопических чешуек. Зооспоры у большинства представителей четырехжгутиковые, гаметы – двухжгутиковые. Характерным представителем порядка является ульва.

**Род ульва** (*Ulva*), или зеленый морской салат, характеризуется двуслойным пластинчатым талломом (рисунок 13). 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.

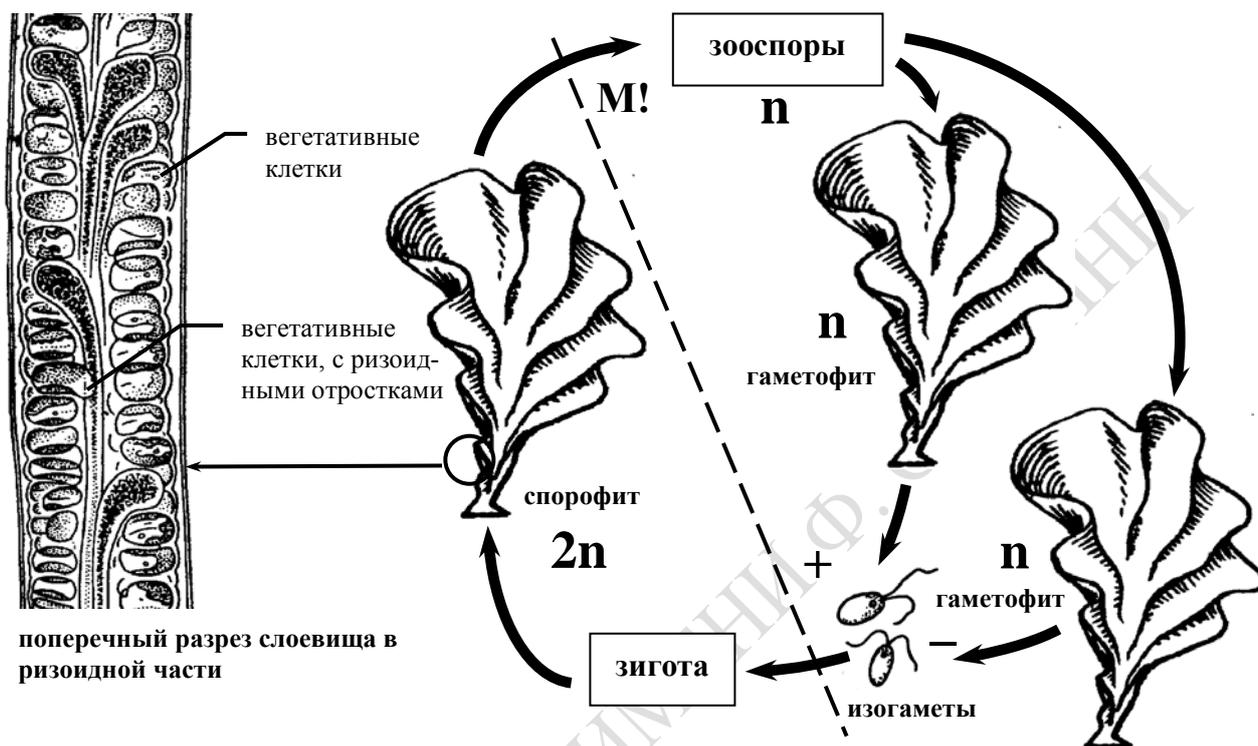


Рисунок 13 – Схема строения таллома и жизненного цикла ульвы (*Ulva*)

Клетки таллома одноядерные с пристенным хлоропластом, недифференцированные. Среди вегетативных клеток основания таллома наблюдаются более крупные клетки с ризоидными отростками.

Жизненный цикл. Для ульвы характерна 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 чаще изогамный; у некоторых представителей гетерогамный. Для ульвы характерна гетероталличность – гаметофиты отличаются в половом отношении: одни продуцируют гаметы со знаком «+», другие – со знаком «-». 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.

## 2.4 Порядок кладофоральные: строение, особенности размножения и распространения типичных представителей

**Порядок кладофоральные** (Cladophorales) объединяет водоросли, у которых слоевище представляет собой разветвленные нити кустистой или шаровидной формы. Таллом имеет сифонокладальную структуру; у некоторых представителей талломы приобретают псевдопаренхиматический вид. Vegetативные клетки слоевища вытянутые, цилиндрические с толстой, слоистой, не ослизняющей оболочкой. Цитоплазма постенная, с многочисленными ядрами и сетчатым хлоропластом со многими пиреноидами, имеющими крахмальные обкладки. Зооспоры преимущественно четырех-, гаметы – двужгутиковые. В клетках выявлен специфический ксантофилл – сифоноксантин.

Типичным родом, встречающимся в водоемах Беларуси, является кладофора (*Cladophora*) (рисунок 14).

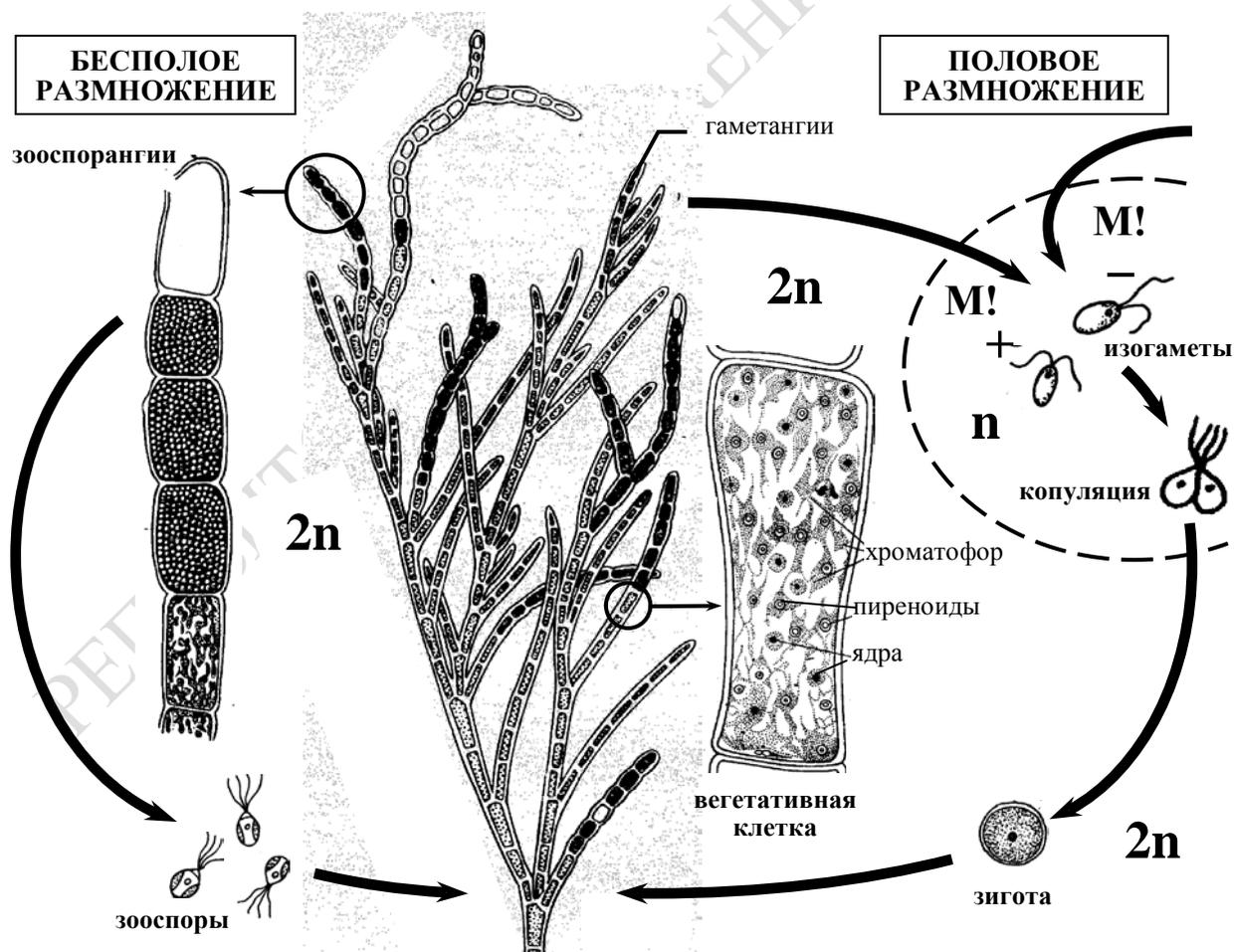


Рисунок 14 – Строение таллома и схема жизненного цикла кладофоры скученной (*Cladophora glomerata*)

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. 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 редукционное деление. Зигота прорастает в диплоидный таллом. Таким образом, изучаемый вид – диплобионт с гаметической редукцией.

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

## **2.5 Порядок каулерповые: особенности строения, размножения и распространения**

*Порядок каулерповые* (Caulercales) объединяет многоядерные сифональные формы с многочисленными пластидами. Несмотря на крупные размеры, сложное строение и особую форму вегетативное тело представляет собой одну гигантскую клетку со множеством ядер, но рассматривать их как одноклеточные организмы было бы неправильно. Слоевиде представляет собой комплекс не вполне разделившихся клеток. Иногда водоросли данного порядка содержат карбонат кальция в клеточных стенках. У некоторых зрелых организмов или на определенных стадиях жизненного цикла клеточная стенка может состоять преимущественно из маннанов, ксиланов или ксилоглюканов. Могут присутствовать дополнительные ксантофиллы – сифонеин и сифоноксантин. Корешковая система жгутиков крестообразная, базальные тела жгутиков смещены против часовой стрелки. Зооспоры часто многожгутиковые, жгутики располагаются по спирали; гаметы двужгутиковые. Митоз закрытый. Продуктом ассимиляции вместо крахмала может быть инулин. У некоторых представителей наряду с хлоропластами в клетках могут присутствовать амилопласты. Для большинства представителей жизненные циклы не ясны, мало информации имеется и о месте мейоза.

Современные каулерповые – обычно макроскопические, некоторые до 0,5 м и более (рисунок 15), отличаются не только большим разнообразием внешнего облика, но и очень сложным расчленением тела на стебле-, листо- и корневищеподобные части.

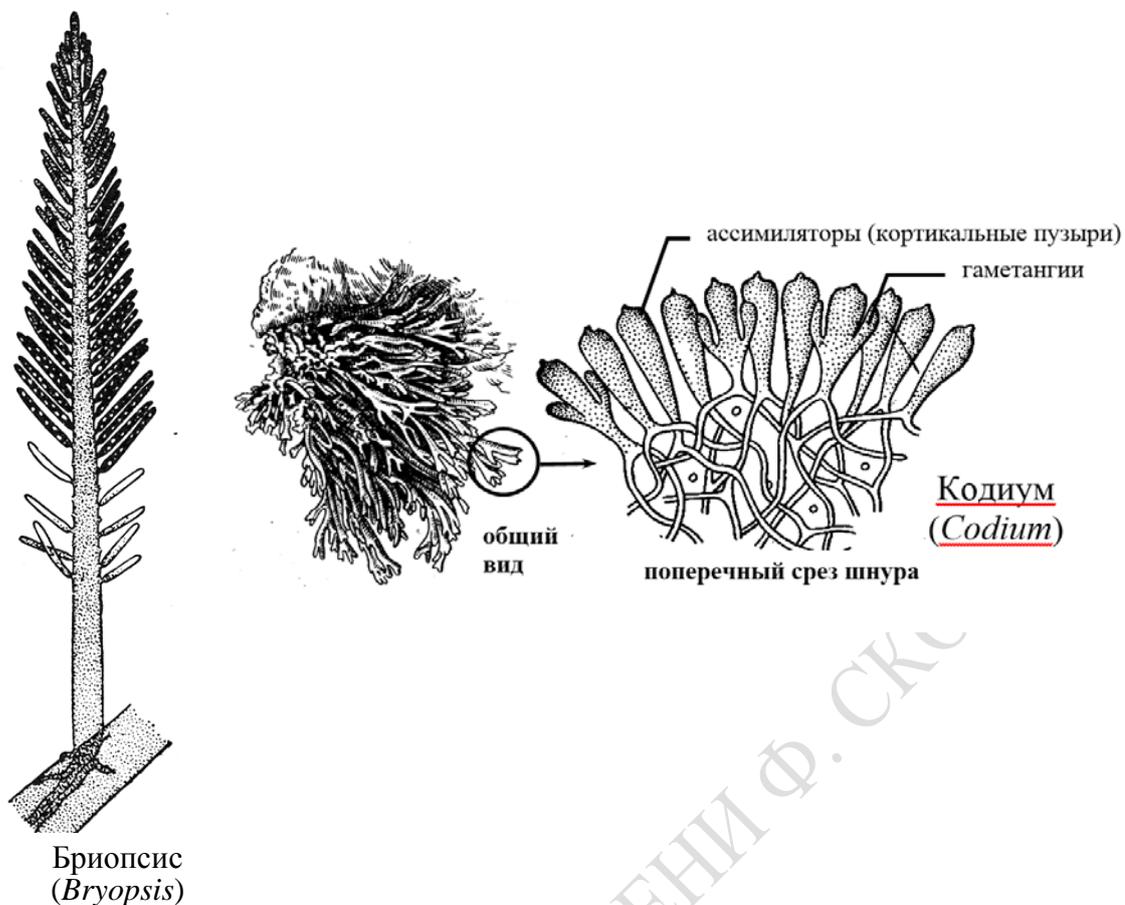


Рисунок 15 – Представите каулерповых водорослей

Вегетативное размножение каулерповых 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, хлоропластами и венцом жгутиков.

Наиболее часто наблюдаемое половое размножение – анизогамия. Двужгутиковые гаметы образуются в необособленных частях таллома, такой способ размножения называют голокарпией (каулерпа), или в специализированных гаметангиях (бриопсис, кодиум).

**Род каулерпа (Caulerpa)** объединяет виды, у которых слоевище расчленяется на стелющиеся трубковидные ризомы с ризоидами (имеют вид цилиндрических сифонов) и вертикально расположенных ассимиляторов («листья»). В талломе развивается своеобразный внутренний скелет в виде радиальных, перпендикулярных тяжей (целлюлозные балки), которые связаны со стенкой или свободны, одеты цитоплазмой (рисунок 16). 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 мутовкам; двухрядно размещенные на вертикальной оси).

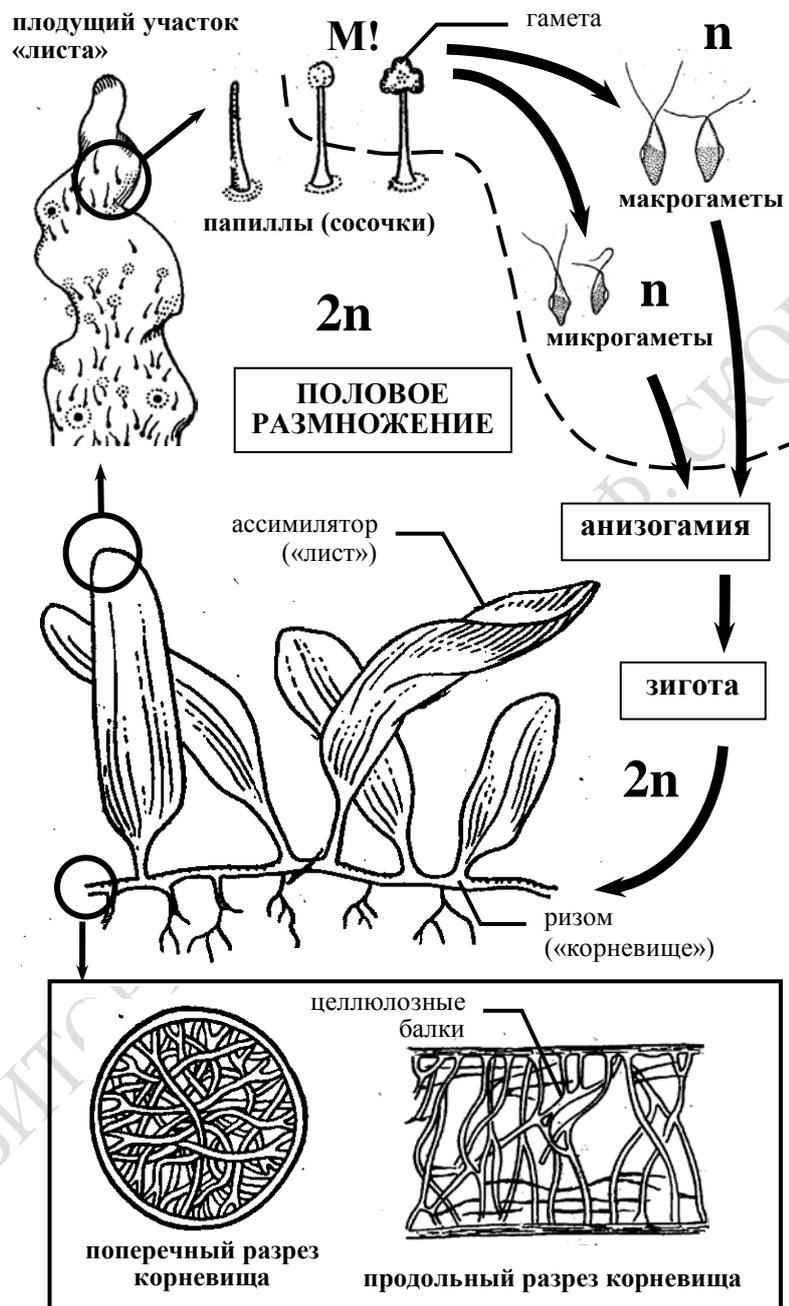


Рисунок 16 – Строение таллома и схема жизненного цикла каулерпы прорастающей (*Caulerpa prolifera*)

У каулерпы прорастающей ассимиляторы листовидные, уплощенные, иногда со 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 делится 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).

## Ход лабораторной работы

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

**Цель:** Ознакомиться с представителями ульвофициевых водорослей; изучить особенности протекания жизненных циклов типичных видов класса.

## Задания

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

Отдел зеленые водоросли – Chlorophyta

Класс ульвофициевые – Ulvophyceae

Порядок улотрихальные – Ulothrichales

Род улотрикс – *Ulothrix*

Порядок ульвалевые – Ulvales

Род ульва – *Ulva*

Порядок кладофоровые – Cladophorales

Род кладофора – *Cladophora*

Порядок каулерповые – Caulerpales

Род каулерпа – *Caulerpa*

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 хлоропласт 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, хлоропласт, пиреноиды, многоядерность. **Зарисовать зооспорангий.**

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

## **Вопросы для самоконтроля**

1 Перечислите основные признаки ульвофициевых водорослей.

2 Приведите характеристику порядков улотрихальные и ульвальные.

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

4 Опишите строение клетки, размножение и особенности смены ядерных фаз у представителей порядка кладофоральные.

5 Дайте характеристику порядку каулерповые, назовите основных представителей класса.

6 Каковы особенности строения, размножения и цикла развития каулерпы.

## **Занятие 3. Харофитовые (Charophyta) водоросли**

3.1 Общая характеристика харофитовых водорослей.

3.2 Водоросли класса зигнемофициевые: строение, размножение и распространение.

3.3 Основные признаки и представители класса харофициевые водоросли.

### 3.1 Общая характеристика харофитовых водорослей

*Харофитовые водоросли* – линия пресноводных зеленых водорослей, являющихся предками высших растений. Это одно- и многоклеточные пресноводные, солоноватоводные и наземные водоросли. Среди харофитовых встречаются представители с коккоидным, нитчатым и гетеротрихальным типами структуры таллома.

Монадные клетки (при наличии) покрыты субмикроскопическими органическими чешуйками и имеют асимметричный цитоскелет. Митоз открытый или полуоткрытый. Для вегетативных клеток характерно наличие комплекса пероксисома-ядро-хлоропласт-митохондрия.

По разным системам отдел подразделяют на 6 классов: мезостигмофициевые (*Mesostigmatophyceae*), хлорокибофициевые (*Chlorokybophyceae*), клебсормидиофициевые (*Klebsormidiophyceae*), зигнемофициевые (*Zygnematorphyceae*), колеохетофициевые (*Coleochaetophyceae*), харофициевые (*Charophyceae*). Основные признаки, лежащие в основе этого деления, следующие: строение таллома, наличие жгутиковых стадий, тип полового процесса (гаметогамия или конъюгация), особенностями строения клеточных оболочек, наличие порового аппарата, особенности митоза и цитокинеза. Наиболее известны водоросли классов зигнемофициевые (*Zygnematorphyceae*) и харофициевые (*Charophyceae*).

### 3.2 Водоросли класса зигнемофициевые: строение, размножение и распространение

*Класс зигнемофициевые* (*Zygnematorphyceae*) включает коккоидные и неветвящиеся нитчатые водоросли, обитающие в пресных водоемах. Митоз идет без центриолей. В жизненном цикле *Zygnematorphyceae* отсутствуют жгутиковые стадии, половой процесс – конъюгация.

Конъюгация представляет собой слияние протопластов вегетативных клеток. Если скорость их перетекания одинакова и 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. Чаще наблюдается лестничная конъюгация, при которой нити располагаются параллельно друг другу, склеиваются слизью, после чего лежащие друг напротив друга клетки образуют выросты, постепенно

раздвигающие нити (возникает фигура в виде лестницы). Стенки соприкасающихся участков выростов растворяются, и образуется конъюгационный канал, служащий местом слияния или перетекания протопластов. 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 встречается боковая конъюгация (рисунок 17), при которой конъюгационные отростки образуются между соседними клетками одной нити.

Вегетативное размножение у нитчатых форм зигнемофициевых осуществляется путем распада нитей на отдельные фрагменты, у одноклеточных представителей – делением клетки, у колониальных – фрагментами колоний.

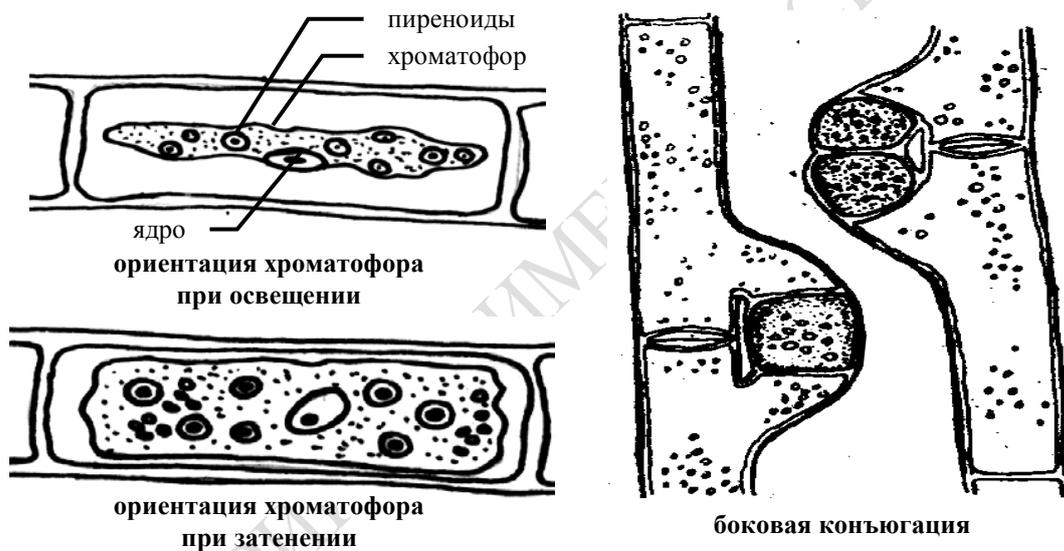


Рисунок 17 – Мужоция (*Mougeotia*)

Клеточная стенка конъюгат трехслойная: наружный слизистый слой состоит из полисахаридов, два внутренних слоя содержат целлюлозу. Класс включает около 3 000–4 000 видов.

**Порядок зигнематальные** (*Zygnematales*) объединяет водоросли преимущественно с нитчатыми типом морфологической структуры таллома, для которых характерно отсутствие жгутиковых стадий. Клеточные оболочки гладкие, без порового аппарата. Клетки не дифференцированы на полуклетки. Размножение осуществляется вегетативно (чаще фрагментацией нитей) или половым путем – конъюгацией. Жизненный цикл гаплофазный, без чередования поколений, с зиготической редукцией. Деление на роды осуществляется в первую очередь по типу структуры таллома и форме хлоропласта.

Наиболее характерными представителями порядка являются различные виды *родов мужоция* (*Mougeotia*), *зигнема* (*Zygnema*) и *спирогира* (*Spirogyra*). Представители рода мужоция (*Mougeotia*) встречаются чаще в стоячих водоемах, иногда затягивая их поверхность желто-зеленой тиной, и характеризуются наличием пластинчатого осевого хлоропласта с несколькими пиреноидами (рисунок 17). Хлоропласт 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 хлоропласта. Два осевых звездчатых хлоропласта, каждый с крупным центральным пиреноидом, наблюдается у представителей рода *зигнема* (*Zygnema*) (рисунок 18). Ядро расположено в цитоплазматическом мостике, соединяющем хлоропласты.

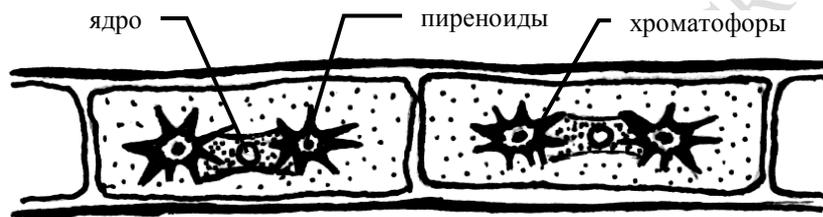


Рисунок 18 – Зигнема (*Zygnema*)

Хлоропласты наиболее распространенного рода спирогира (*Spirogyra*) в виде одной или нескольких лент расположены в постенной цитоплазме и опоясывают клетку по спирали (рисунок 19). Спирогира обитает в стоячих и медленно текущих водоемах, нередко образует большие массы тины ярко-зеленого цвета.

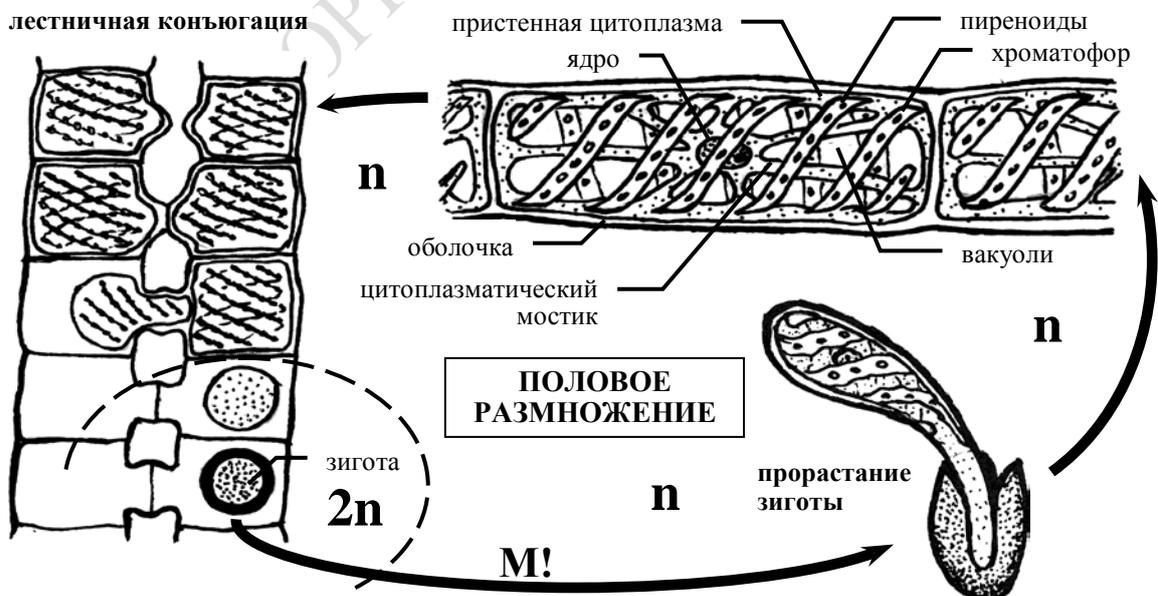


Рисунок 19 – Схема жизненного цикла и строения таллома представителей рода спирогира (*Spirogyra*)

Края хлоропластов городчатые или рассеченные, у многих видов посередине проходит гребень, вдающийся в направлении центра клетки. По средней линии хлоропласта 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.

В жизненном цикле Zygnematales 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 хлоропласты, при этом в случае физиологической гетерогамии мужские хлоропласты 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. Вегетативное размножение, как уже отмечено, осуществляется фрагментацией таллома.

**Порядок десмидиальные (Desmidiales)** объединяет водоросли с коккоидным типом структуры таллома. Жгутиковые стадии отсутствуют. Клеточные оболочки преимущественно скульптурированные, обязательно имеют простой или сложный поровый аппарат. У примитивных представителей клетки не дифференцированы на полуклетки, у более высокоорганизованных – состоят из двух полуклеток, соединенных перешейком, в котором расположено ядро (рисунок 20).

Жизненный цикл гаплофазный, без чередования поколений, с зиготической редукцией. Размножение десмидиальных осуществляется вегетативным и половым путем.

Вегетативное размножение осуществляется делением клетки пополам. 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 21). 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

Половой процесс – конъюгация.

Наиболее известными представителями порядка являются кластериум (*Closterium*) и космариум (*Cosmarium*).

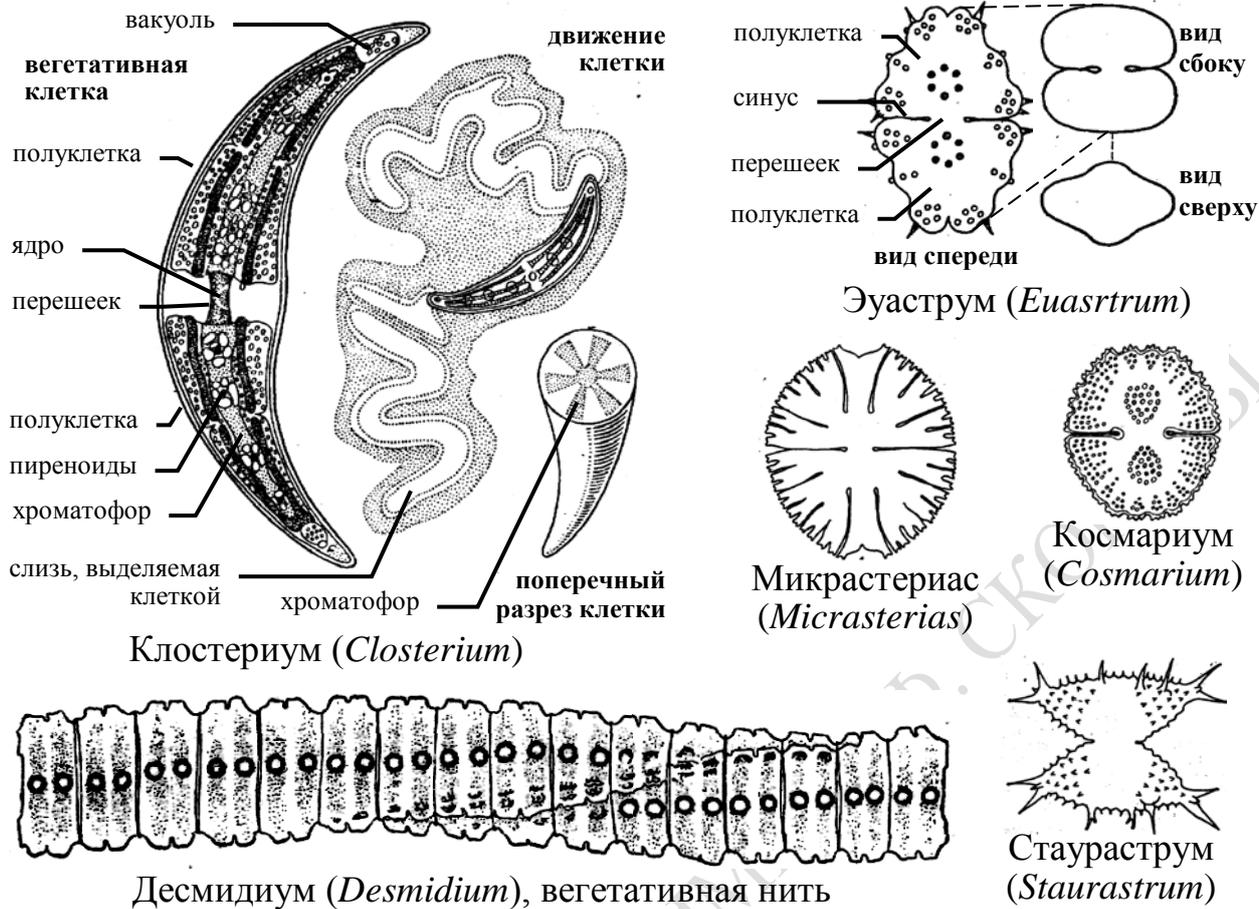


Рисунок 20 – Представители порядка десмидиальные (Desmidiales)

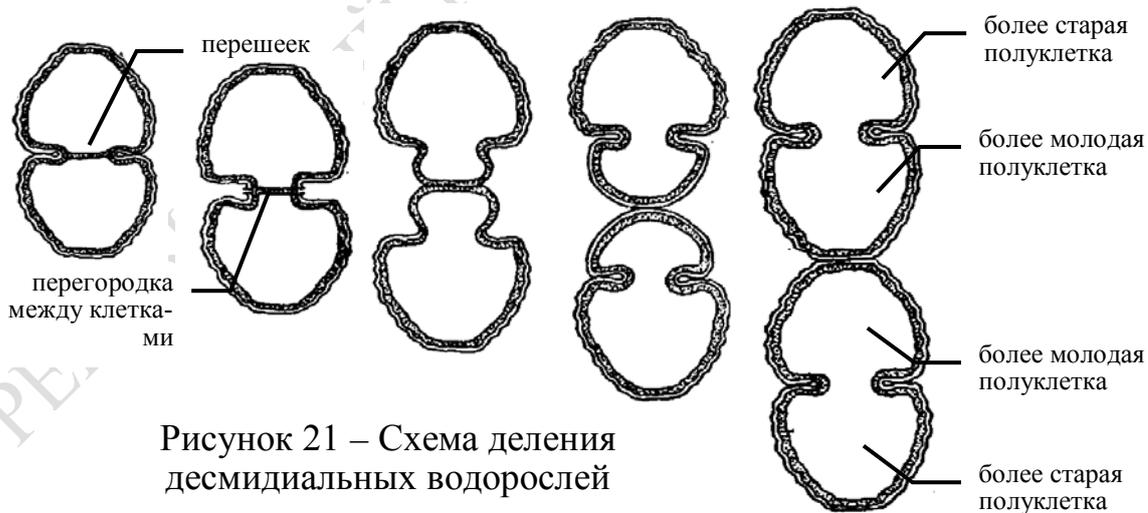


Рисунок 21 – Схема деления десмидиальных водорослей

Клетки водорослей рода *Closterium* одиночные, изогнутые в форме полумесяца, реже прямые. Перетяжки посередине клетки нет, оболочка состоит из двух половин, спаянных в плоскости симметрии. В каждой полу клетке находится по одному осевому хлоропласту с пиреноидами. В середине клетки в цитоплазматическом мостике

расположено ядро, на концах клетки – вакуоли и поры, через которые выделяется слизь (скользящее передвижение клетки). Виды рода *Cosmarium* состоят из двух полукруглых половинок, соединенных перетяжкой. В каждой полуклетке находится по 1, реже 2 осевых хлоропласта, в перетяжке – ядро. Обитают десмидиальные преимущественно в пресноводных водоемах, предпочитая воду с кислой реакцией. Многие из них живут в неглубоких лужах и торфяниках, в почве.

### 3.3 Основные признаки и представители класса харофициевые водоросли

**Класс харофициевые** (Charophyceae) содержит один **порядок харальные** (Charales). Харовые водоросли – это макрофиты с гетеротрихальным типом структуры таллома, имеющего членисто-кольцевое строение. Жгутиковые стадии представлены сперматозоидами, половой процесс оогамный, женские половые органы многоклеточные. Харальные водоросли обитают в бентосе озер, в солонатоводных лиманах. Типичными представителями порядка являются хара (*Chara*) и нителла (*Nitella*).

Таллом хары имеет мутовчатое строение и состоит из неограниченно нарастающих осей («стебли») и боковых ветвей ограниченного роста («листья»). И «стебли», и «листья» состоят из узлов и междоузлий. Узел состоит из центральных и нескольких периферических клеток, из которых образуются боковые побеги. Междоузлие образовано одной гигантской многоядерной клеткой, часто покрытой «корой» из нескольких клеток, которые в виде полосок растут из верхнего и нижнего узлов и соединяются посередине междоузлия. Нарастание таллома в длину обусловлено деятельностью верхушечной клетки. Она попеременно откладывает при делении двояковыпуклые и двояковогнутые клетки. Двояковыпуклая клетка преобразуются в центральную многоядерную клетку междоузлия, 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.

Клетки представителей рода *Chara* покрыты плотной, толстой оболочкой. Внутренний слой целлюлозный наружный состоит из каллозы и пропитан известью. В постенной цитоплазме находятся многочисленные дисковидные хлоропласты, лишенные пиреноидов. В удлиненных клетках «коры» хлоропласты располагаются рядами.

Жизненный цикл. Бесполого размножения у харовых не отмечено. Вегетативное осуществляется с помощью ризоидных клубеньков и нарастания горизонтальных побегов (рисунок 22).

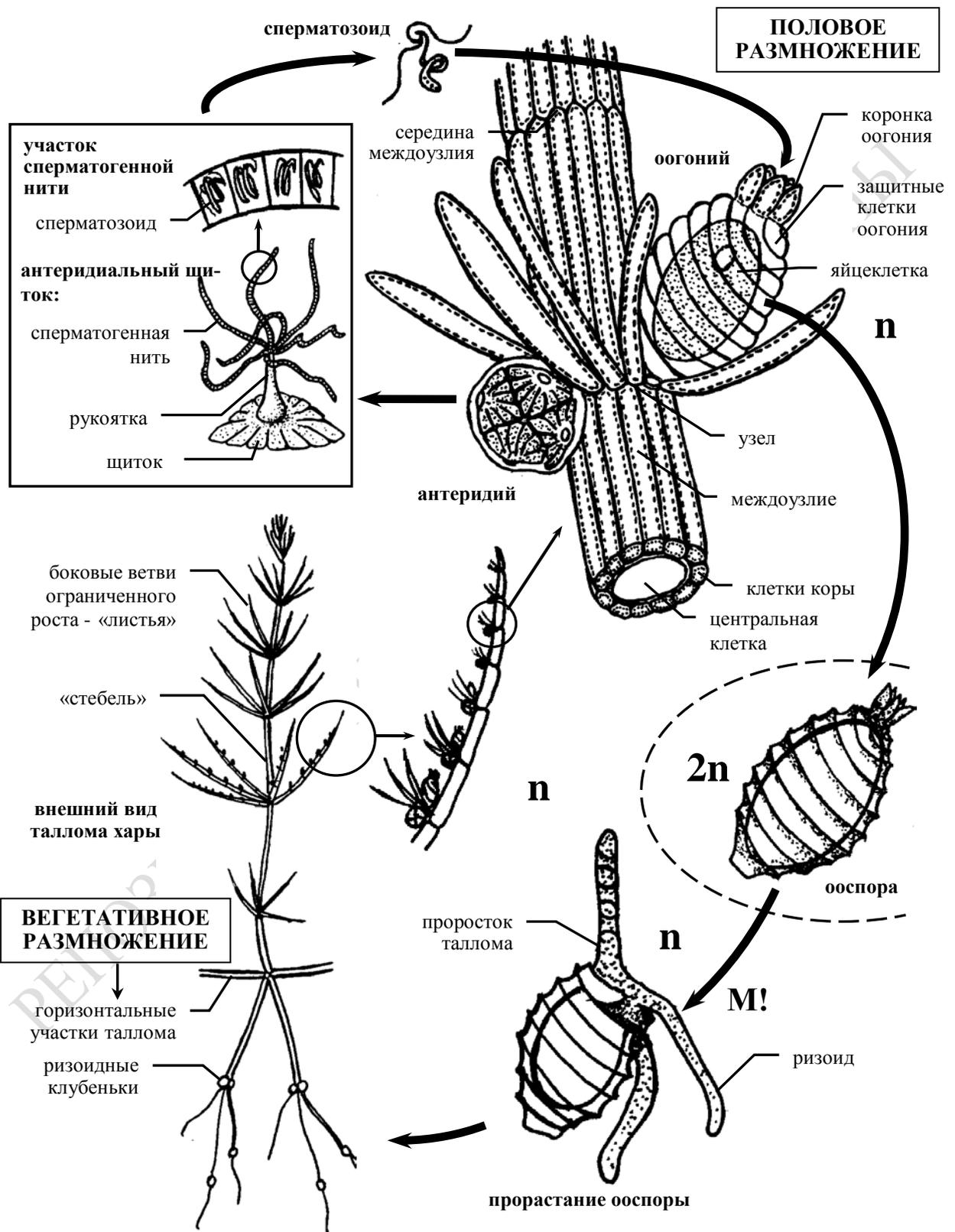


Рисунок 16 – Схема жизненного цикла представителей рода хара (*Chara*)

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 8 щитков, плотно соединенных зазубренными краями и выпуклой стороной обращенных кнаружи. С внутренней стороны на щитке в центре крепится рукоятка с первичной головкой, на которой расположены шесть вторичных головок. На каждой из них развивается 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.

Представители *рода нителла (Nitella)* внешне напоминают хару, отличаясь отсутствием стеблевой коры и наличием коронки из десяти клеток, расположенных в два яруса.

Распространены харальные водоросли в прудах, озерах и тихих заводях рек, в местах с илистым или песчаным дном на глубине до 5 м, предпочитая водоемы с чистой жесткой водой, насыщенной растворимыми солями кальция.

## Ход лабораторной работы

**Материалы и оборудование.** Слянки с водорослями, микроскопы, постоянные препараты, препаровальные иглы, чашки Петри,

пинцет, предметные и покровные стекла, склянки с водой, пипетки, фильтровальная бумага, таблицы.

**Цель:** Ознакомиться с общей характеристикой харофитовых водорослей. Изучить особенности организации зигнемофициевых и харофициевых водорослей, общие черты их жизненных циклов.

## Задания

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

Отдел харофитовые водоросли – Charophyta

Класс зигнемофициевые – Zygnematomphyceae

Порядок зигнематальные – Zygnematales

Род спирогира – *Spirogyra*

Род зигнема – *Zygnema*

Род мужоция – *Mougeotia*

Класс харофициевые – Charophyceae

Порядок харальные – Charales

Род хара – *Chara*

2. Приготовить препарат спирогиры, рассмотреть вначале нить, затем отдельную клетку водоросли, **зарисовать строение клетки**. Отметить оболочку, цитоплазму, ядро в цитоплазматическом мешочке, вакуоль, спирально закруженный хлоропласт 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 хлоропласта звездчатой формы, в центре которых находятся 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 хлоропластом в плане и с хлоропластом в профиль. Отметить оболочку, цитоплазму, ядро, пластинчатый хлоропласт, 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 схему жизненного цикла хары*.

## **Вопросы для самоконтроля**

1 Приведите общую характеристику харофитовых водорослей.

2 Каковы особенности строения и размножения зигнемофициевых водорослей.

3 Приведите характеристику порядка зигнематальные и его типичных представителей.

4 Каковы особенности строения, размножения и распространения десмидиальных водорослей.

5 Какие признаки в организации харальных позволяют говорить о них как о высокоорганизованных водорослях?

6 Охарактеризуйте строение таллома и органов полового размножения харальных водорослей.

7 Каковы особенности жизненного цикла водорослей рода хара?

## Литература

- 1 McManus, H. A. Molecular phylogenetic relationships in the freshwater family Hydrodictyaceae (Sphaeropleales, Chlorophyceae), with an emphasis on *Pediastrum duplex* / H. A. McManus, L. A. Lewis // *J. Phycology*. – 2011. – Vol. 47, Iss.1. – P. 152–163.
- 2 Ботаника. Водорості та гриби / І. Ю. Костиков [та інш.]. – Київ : Арістей, 2006. – 476 с.
- 3 Ботаника : в 4 т. / Г. А. Белякова, К. Л. Тарасов, Ю. Т. Дьяков. – Москва : Академия, 2006. – Т. 2 : Водоросли и грибы. – 320 с.
- 4 Водоросли. Справочник / С. П. Вассер [и др.]. – Киев : Наук. думка, 1989. – 608 с.
- 5 Мандрик, В. Ю. Основы альгологии / В. Ю. Мандрик, О. Б. Колесник. – Київ : Фітосоціоцентр, 2006. – 350 с.
- 6 Лемеза, Н. А. Альгология и микология. Практикум : учеб. пособие / Н. А. Лемеза. – Минск : Выш. школа, 2008. – 319 с.
- 7 Жизнь растений: в 6 т. / гл. ред. чл.-кор. АН СССР, проф. А. А. Федоров. – М. : «Просвещение», 1973 – 1981. – Т. 3: Водоросли. Лишайники / М. М. Голлербах. – 1977. – 487 с.
- 8 Михеева, Т. М. Альгофлора Беларуси. Таксономический каталог / Т. М. Михеева. – Минск : БГУ, 1999. – 396 с.
- 9 Саут, Р. Основы альгологии / Р. Саут, А. Уиттик ; пер. с англ. – М. : Мир, 1990. – 597 с.
- 10 Дьяков, Ю. Т. Введение в альгологию и микологию / Ю. Т. Дьяков. – М. : МГУ, 2000. – 192 с.
- 11 Альгология и микология: практическое руководство по изучению раздела «Водоросли» для студ. биологич. спец. вузов / В. А. Собченко, О. М. Храмченкова, Ю. М. Бачура. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2007. – 74 с.
- 12 Андреева, В. М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли (Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales) / В. М. Андреева. – СПб : Наука, 1998. – 352 с.
- 13 Database of information on algae that includes terrestrial, marine and freshwater organisms [Electronic resource] / ed. M. D. Guiry. – 1996–2013. – Mode of access : <http://www.algaebase.org>. – Date of access : 15.09.2015.

Производственно-практическое издание

**Бачура** Юлия Михайловна,  
**Темралеева** Анна Дисенгалиевна,  
**Собченко** Владимир Анатольевич,  
**Храмченкова** Ольга Михайловна

## **ЗЕЛЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ**

Практическое руководство

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

Подписано в печать 21.09.2016. Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная. Ризография. Усл. печ. л. 2,8.  
Уч.-изд. л. 3,1. Тираж 25 экз. Заказ 553.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования  
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/87 от 18.11.2013.  
Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.  
Ул. Советская, 104, 246019, Гомель.

# **ЗЕЛЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ**

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНА Ф. СКОРИНЫ

Гомель  
2016

