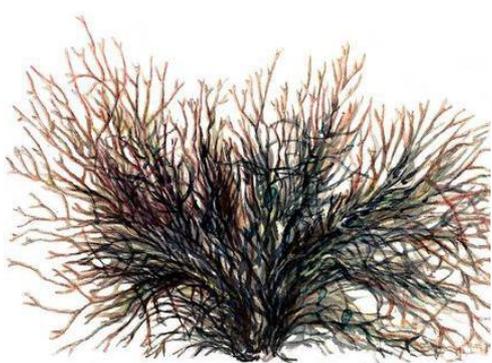


У водорослей в качестве таксономических признаков для классификации на отделы используются:

1. Тип организации таллома.
2. Набор пигментов.
3. Продукты запаса.
4. Особенности строения хлоропластов (число оболочек, расположение тилакоидов, фибриллы ДНК, формы пиреноидов, место образования и отложения зерен запасных полисахаридов).
5. Строение жгутикового аппарата.
6. Особенности размножения.
7. Особенности цикла развития
8. Особенности митоза.
9. Молекулярно-генетические данные.

ОТДЕЛ КРАСНЫЕ ВОДОРОСЛИ (Багрянки) – Rhodophyta

(от греческих слов «родос» – красный, «фитон» – растение)



Красные водоросли. Анфельция (Annfeltia).



1. Численность отдела Rhodophyta:

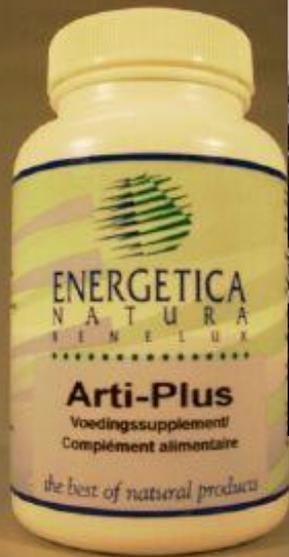
более 670 родов, 2500 – 6000 видов.

2. Багрянки – морские бентосные водоросли, в основном макрофиты.



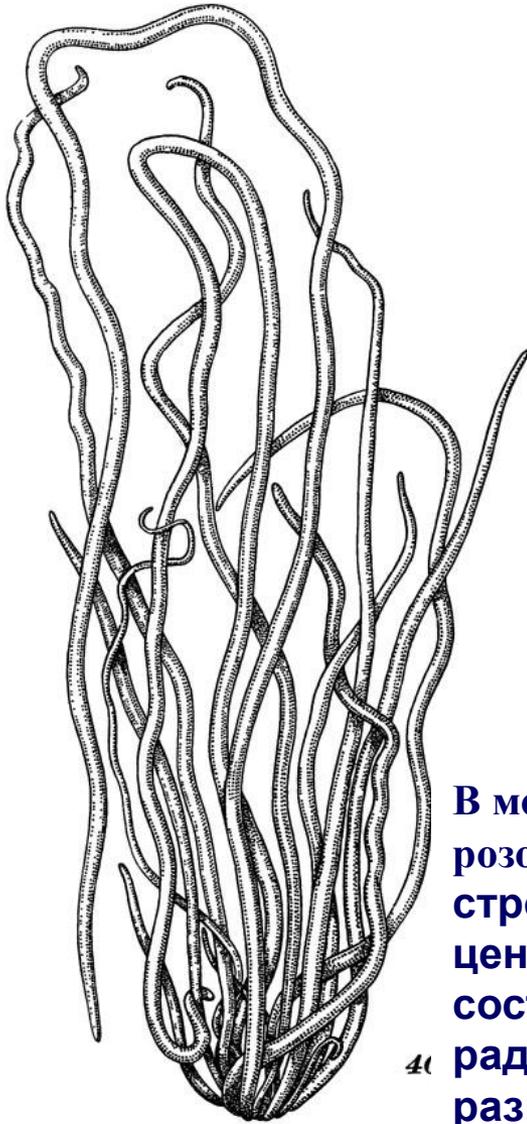
Порфира (Porphyra) – морская водоросль, имеет большое промысловое значение. Таллом гаметофита представлен однослойной или двухслойной **пластинкой**, сужающейся в нижней части в небольшой стебелек. Пластинки округлые, яйцевидные, удлиненные, с цельными или зубчатыми краями. **Стебелек переходит в подошву**, образованную ризоидами и служащую органом прикрепления водоросли к субстрату. Растения средних размеров, максимум длины 1 м и более. Окраска пластинок розово-красная, буроватая или голубоватая. Окраска сильно зависит от глубины произрастания талломов и варьирует от ярко-красной на большой глубине до слабо розовой с зеленоватым отливом на мелководье





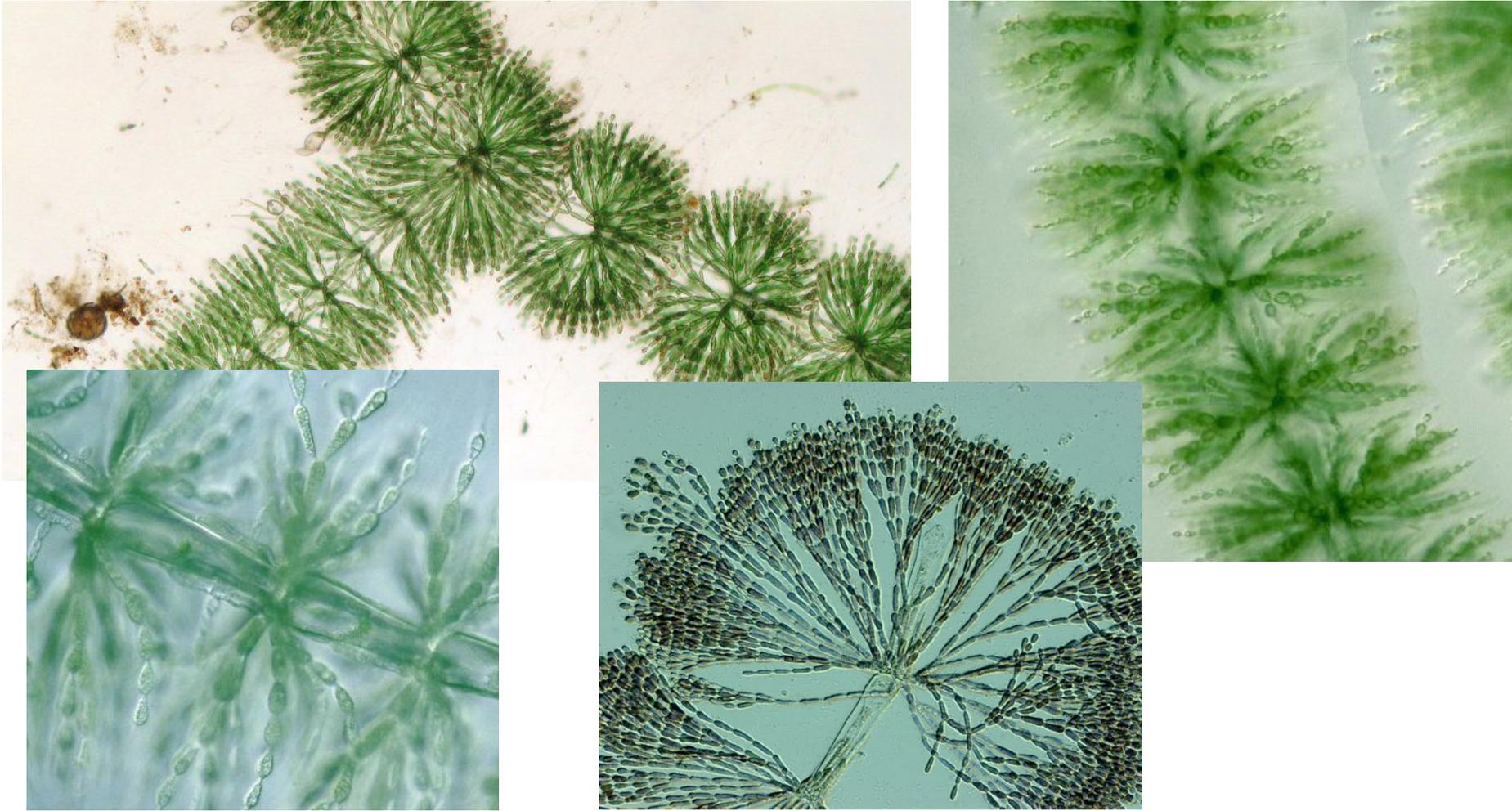
Род Порфира (*Porphyra*)

Порядок Nemaliales

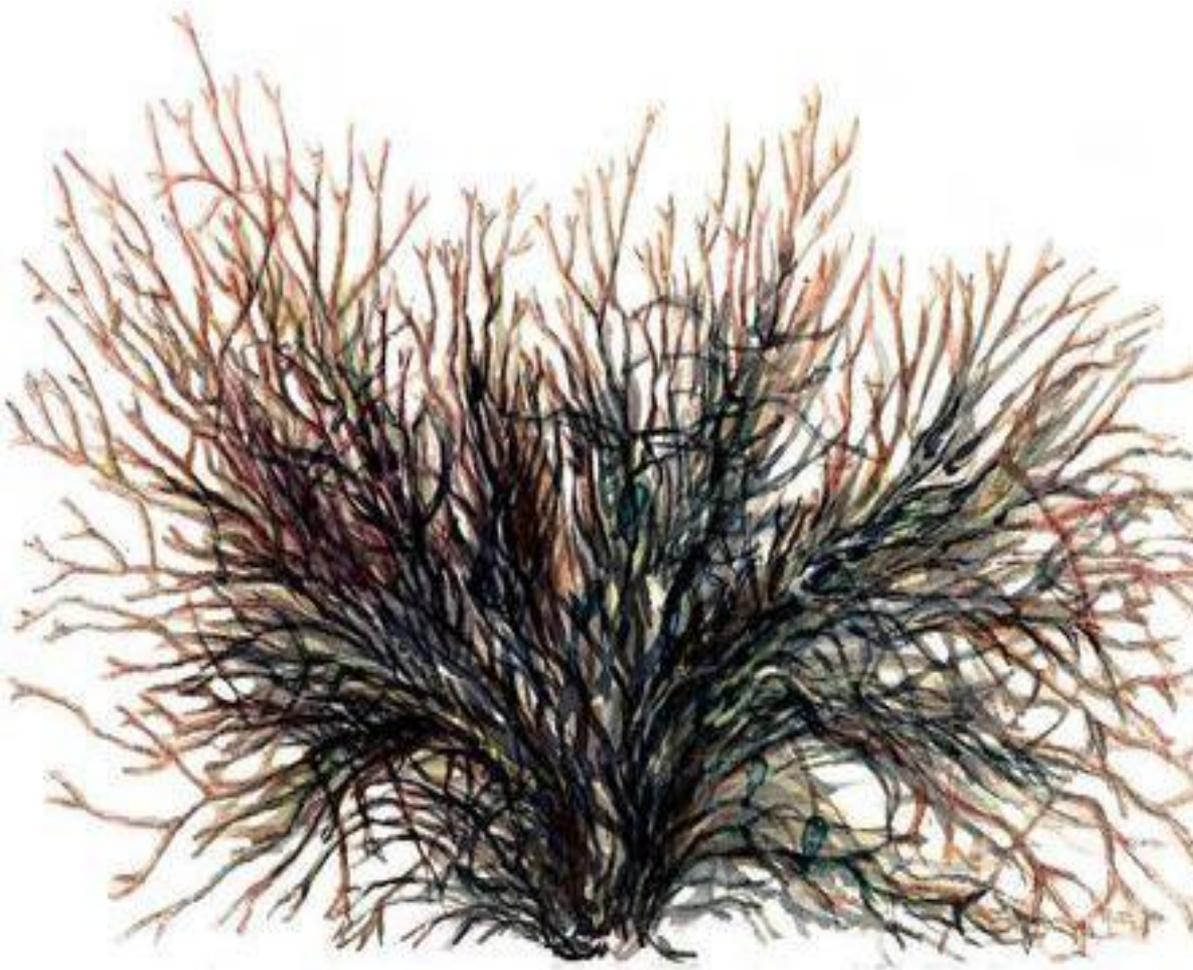


В морях на скалах растет **немалион (*Nemalion*)** - слизистые бледно-розовые **шнуры** длиной до 25 см и 5 мм толщины, с многоосевым строением. Слоевище слизистое, червеобразное, розовое, центральная часть занята пучком продольных нитей, состоящих из вытянутых бесцветных клеток. От пучка радиально расходятся многочисленные вильчато разветвленные ветви ограниченного роста

Порядок Nematiales – Немалиевые – объединяет организмы одноосевого и многоосевого строения, у которых отсутствуют ауксиллярные клетки.



Род Батрахоспермум (*Batrachospermum*) — одна из самых известных пресноводных багрянок, обитает в медленно текущих реках и ручьях, в прибрежной зоне озер, даже в торфяных болотах, студенистая на ощупь сильно ветвистая водоросль, состоящая из похожих на бусины клеток.



Анфельция

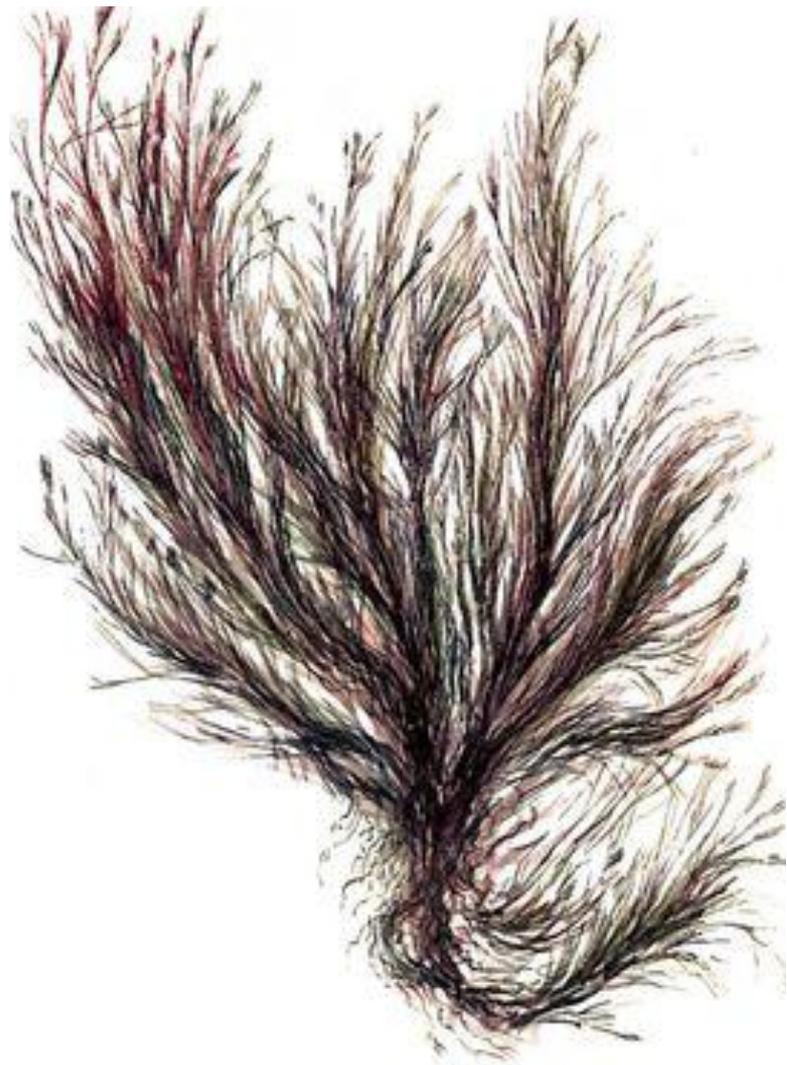


Дазия



Делессерия (*Delesseria*) - талломы похожи на ярко-красные листья.

Делессерия



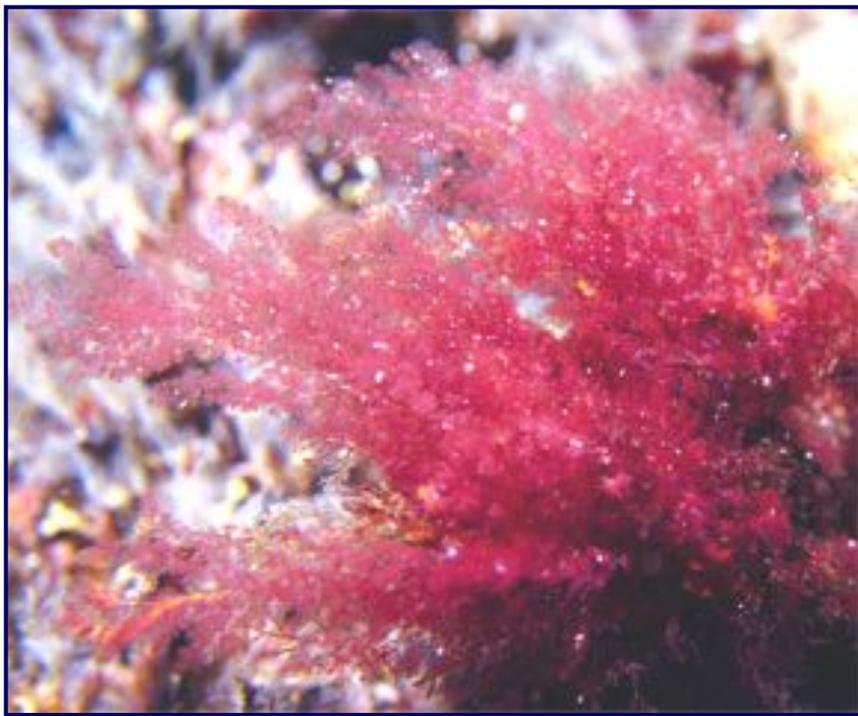
Полицифония



Красная водоросль *Asparagopsis*

Филлофора
(*Phyllophora*)





Порядок Ceramiales – Церамиевые – объединяет наиболее эволюционно продвинутые формы флоридеевых водорослей. Таллом пластинчатый, плоский, цилиндрический или нитевидный, обычно разветвленный, одноосевого типа.



Каллитамнион - один из типичных представителей багрянок – каллитамнион щитковидный (*Callithamnion corymbosum*) – образует изящные кустики ярко-розового цвета до 10 см высотой, состоящие из сильно разветвленных нитей.

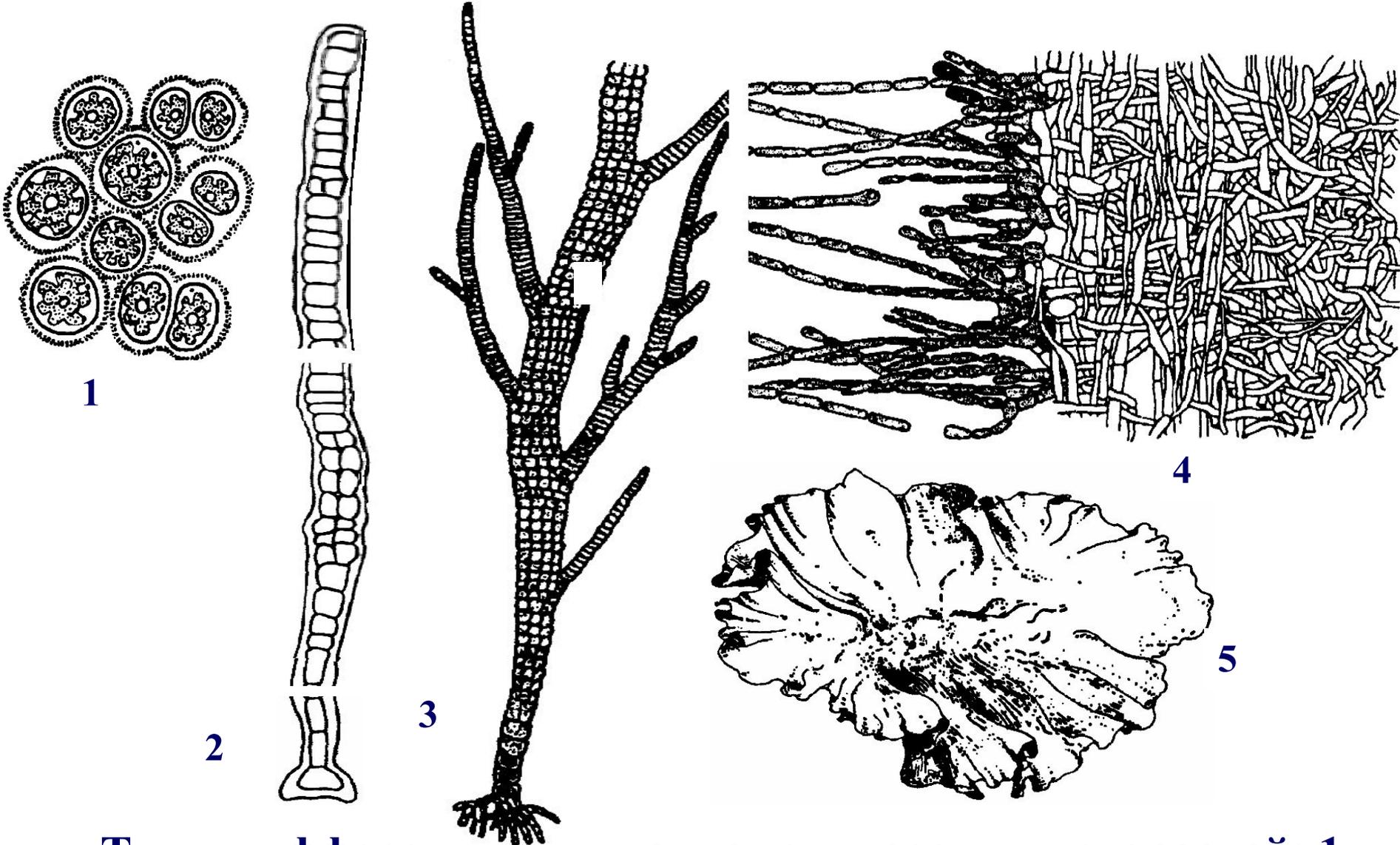


Порядок Ceramiales – Церамиевые – объединяет наиболее эволюционно продвинутые формы флоридеевых водорослей. Таллом пластинчатый, плоский, цилиндрический или нитевидный, обычно разветвленный, одноосевого типа.

3. Тип организации таллома:

многоклеточные водоросли с нитчатым, гетеротрихальным, **псевдопаренхиматозным (большинство)** и паренхиматозным талломом. Редко с коккоидным талломом.

4. Клеточная стенка из пектина и гемицеллюлозы.



Типы дифференциации таллома у красных водорослей: 1 — коккоидный; 2 — нитчатый; 3 — разнонитчатый; 4 — псевдопаренхиматозный; 5 — паренхиматозный

5. Набор пигментов:

- хлорофилл а и *d*;
- каротиноиды,
- фикобилины – водорастворимые
пигменты:

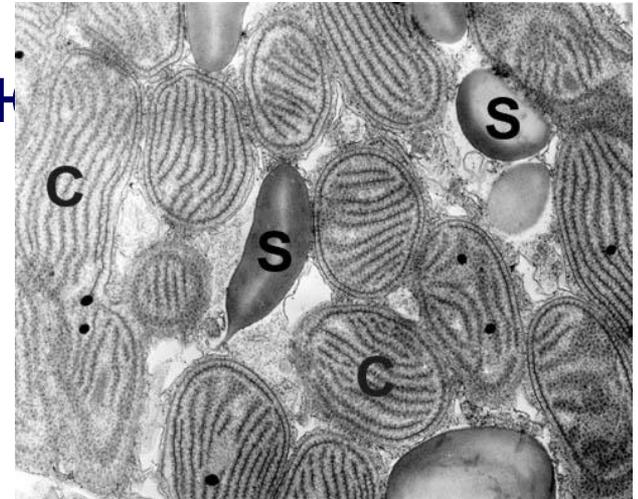
а) **красный — фикоэритрин** и

б) **синий — фикоцианин** и **аллофикоцианин**.

Соотношение пигментов в талломах разная и поэтому окраска от темно-красного до голубовато-стального.

6. Запасные продукты красных водорослей:

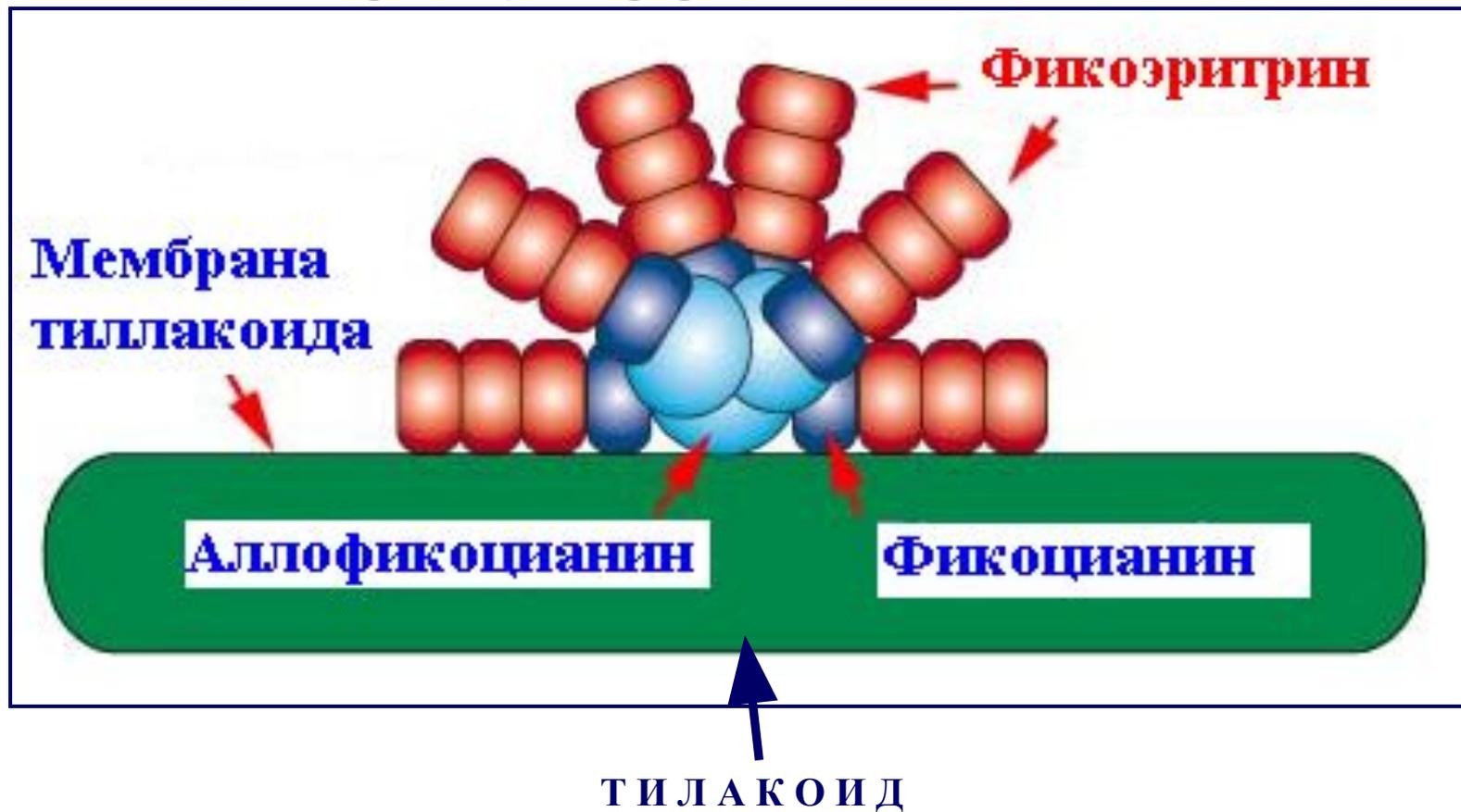
- багрянковый крахмал – альфа -1,4-связанный глюкан, откладывается в цитоплазме вне хлоропластов и приобретает от йода буро-красный цвет.
- флоридозид (выполняет осморегуляторную функцию)
- многоатомные спирты



7. Особенности строения хлоропластов:

- хлоропласты окружены оболочкой из 2 мембран;
- тилакоиды лежат одиночно (не собраны в стопки, т.е. ламелл и гранов нет); на поверхности тилакоидов расположены **фикобилисомы** – это тельца с пигментами;
- хлоропластная ДНК имеет вид гранул.

СТРУКТУРА ФИКОБИЛИСОМЫ

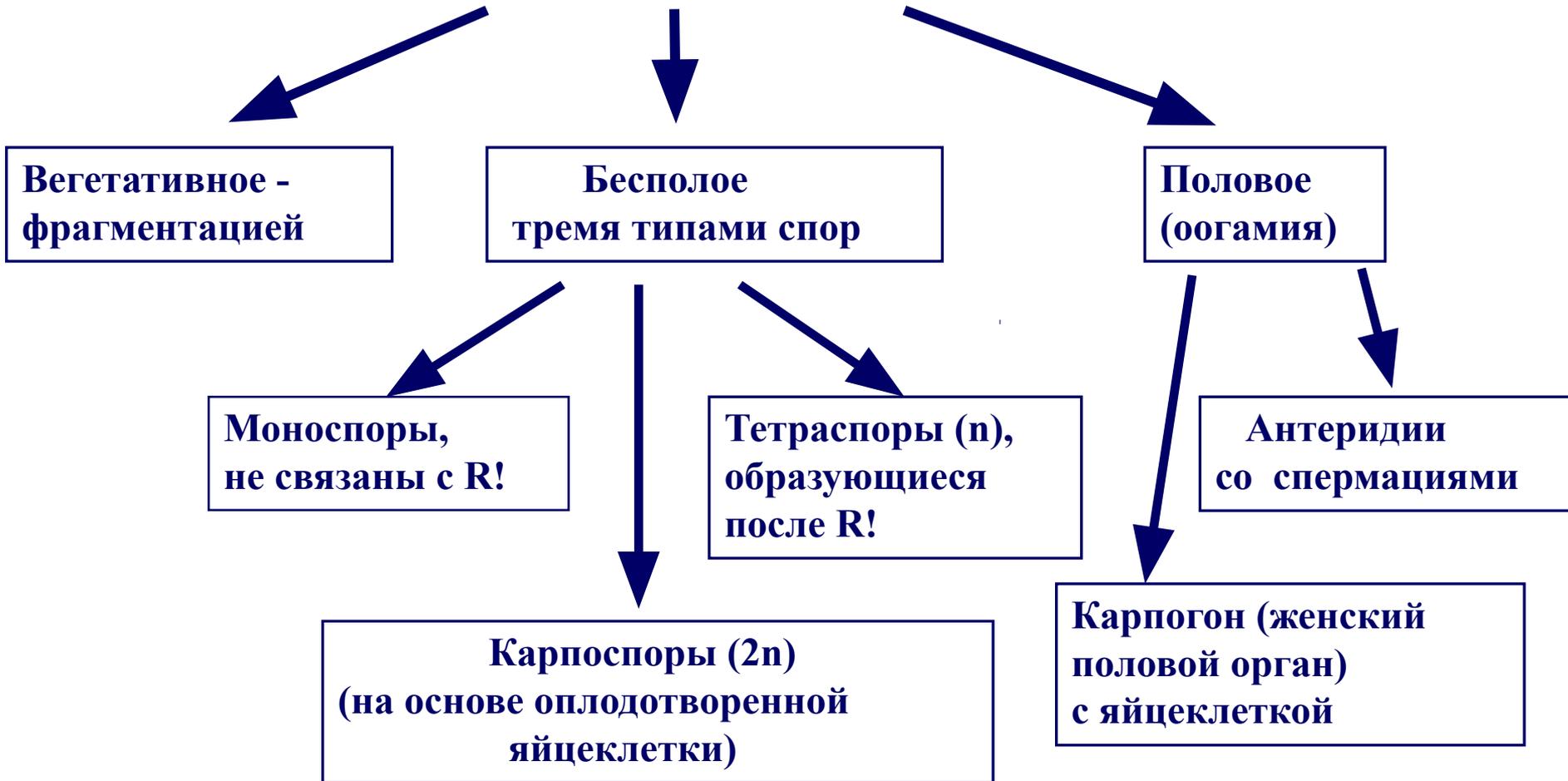


Фикобилины – водорастворимые пигменты:

- **фикоэритрин – красный,**
- **фикоцианин и аллофикоцианин – синие пигменты.**

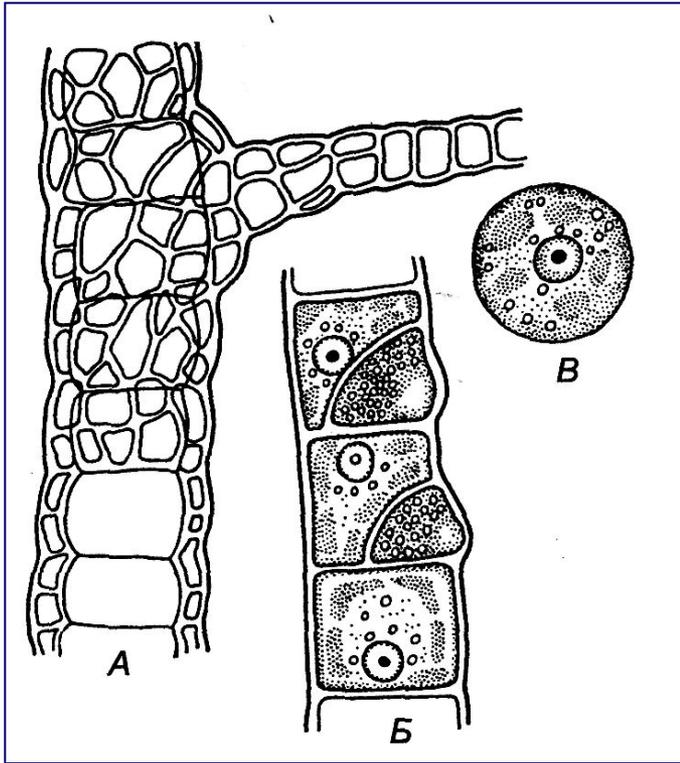
8. Жгутиковые стадии в жизненном цикле полностью отсутствуют

9. РАЗМНОЖЕНИЕ



ОСОБЕННОСТЬ РАЗМНОЖЕНИЯ *RHODOPHYTA* – ПОЛНОЕ ОТСУТСТВИЕ ЖГУТИКОВЫХ СТАДИЙ

I. Бесполое размножение происходит 2 типами спор:
1. Моноспорами – все содержимое спорангия (моноспорангия) формирует одну спору – моноспору. Моноспора неподвижна и ее образование **не связано с R!**

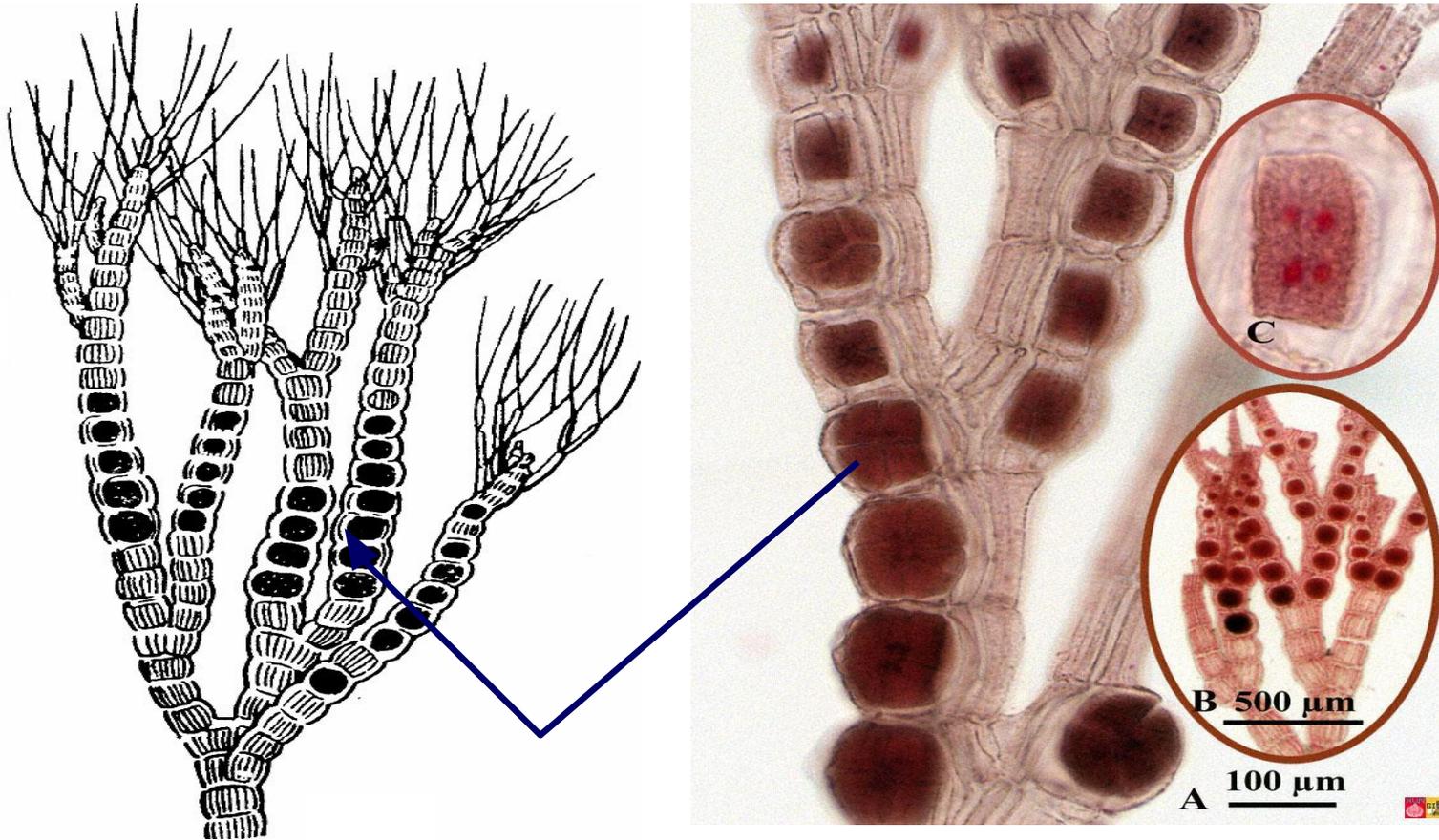


A — часть таллома;
B — нить с моноспорангиями,
B — моноспора.

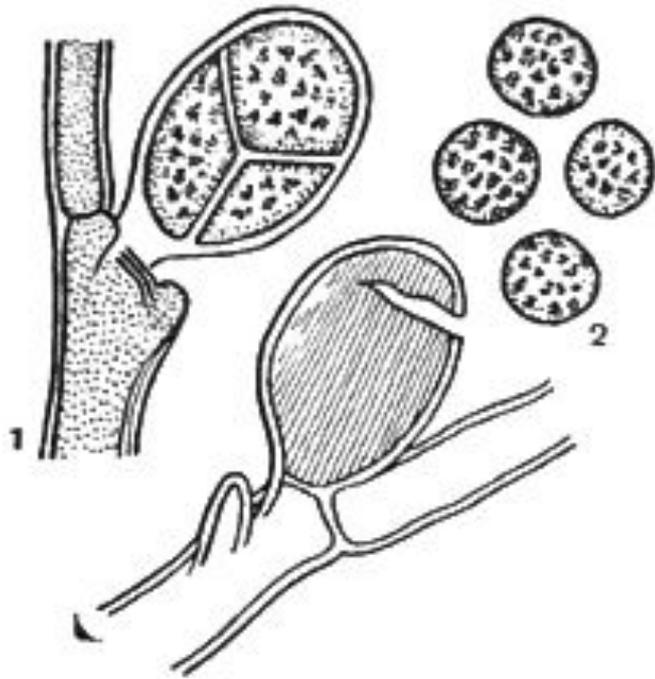


Моноспорангии: a
— моноспоры;

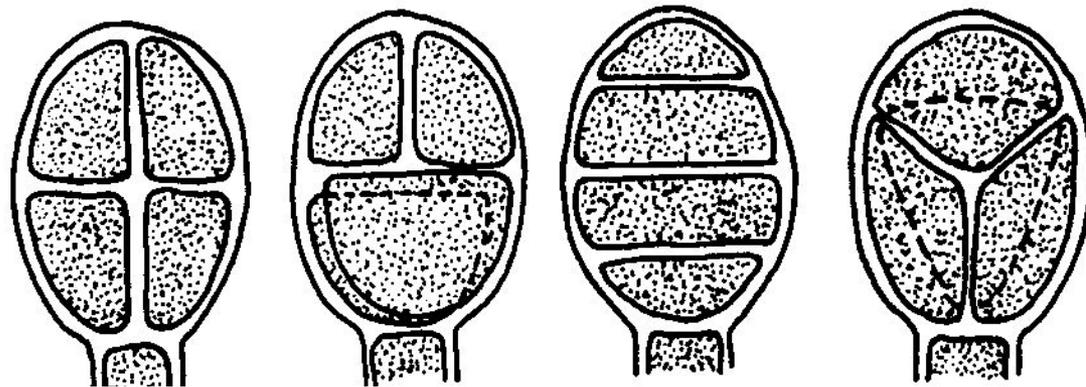
2. Тетраспорами – в тетраспорангиях спорофита ($2n$) происходит мейоз и образуется 4 тетраспоры (n). Они неподвижны и их образование связано с R! Гаплоидные тетраспоры прорастают в гаплоидные растения – гаметофиты.



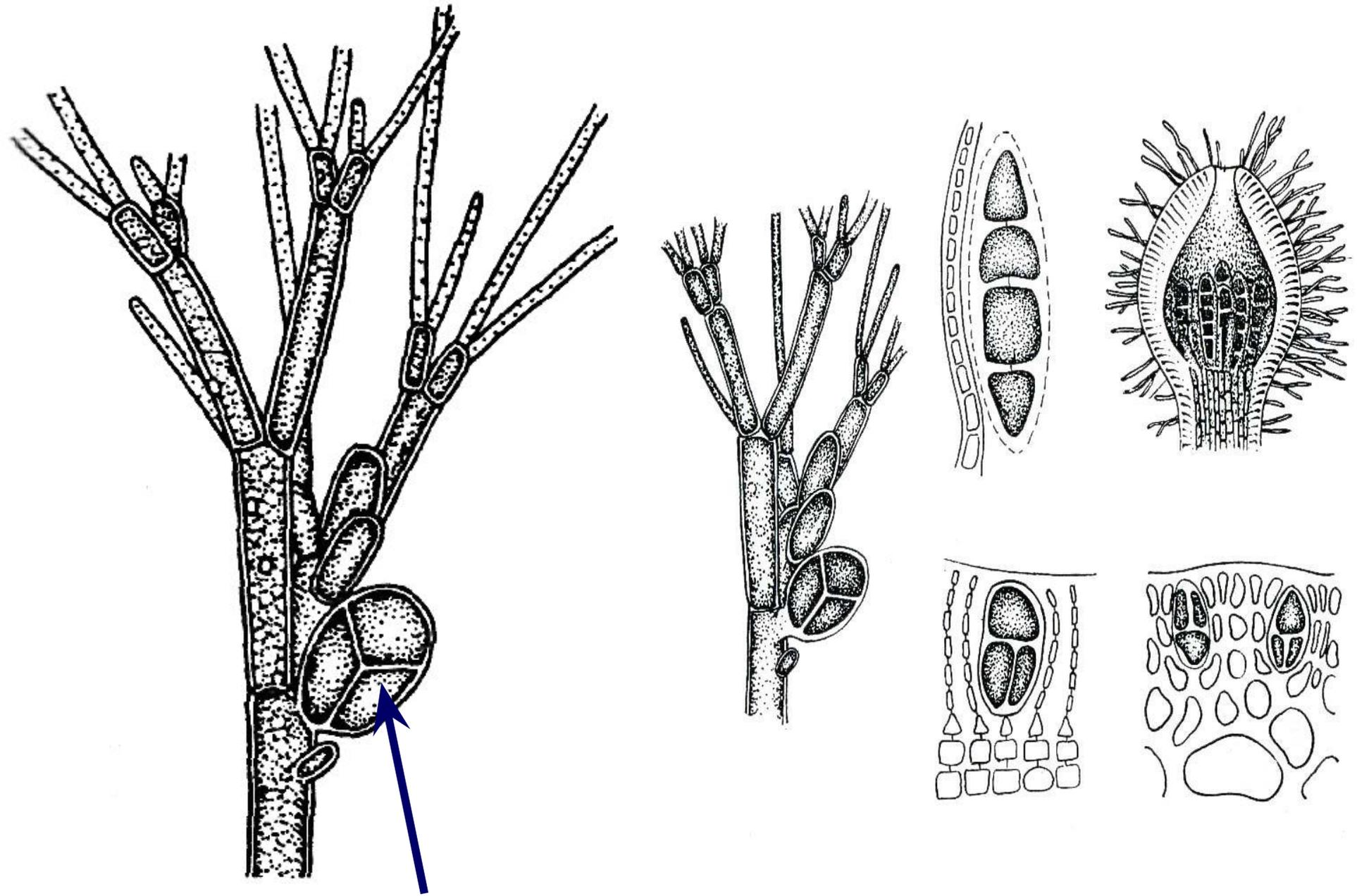
Участок тетраспорофита с тетраспорангиями



1. Тетраспорангии с тетраспорами.
2. Выпадение тетраспор.



Разные варианты расположения тетраспор в тетраспорангиях.



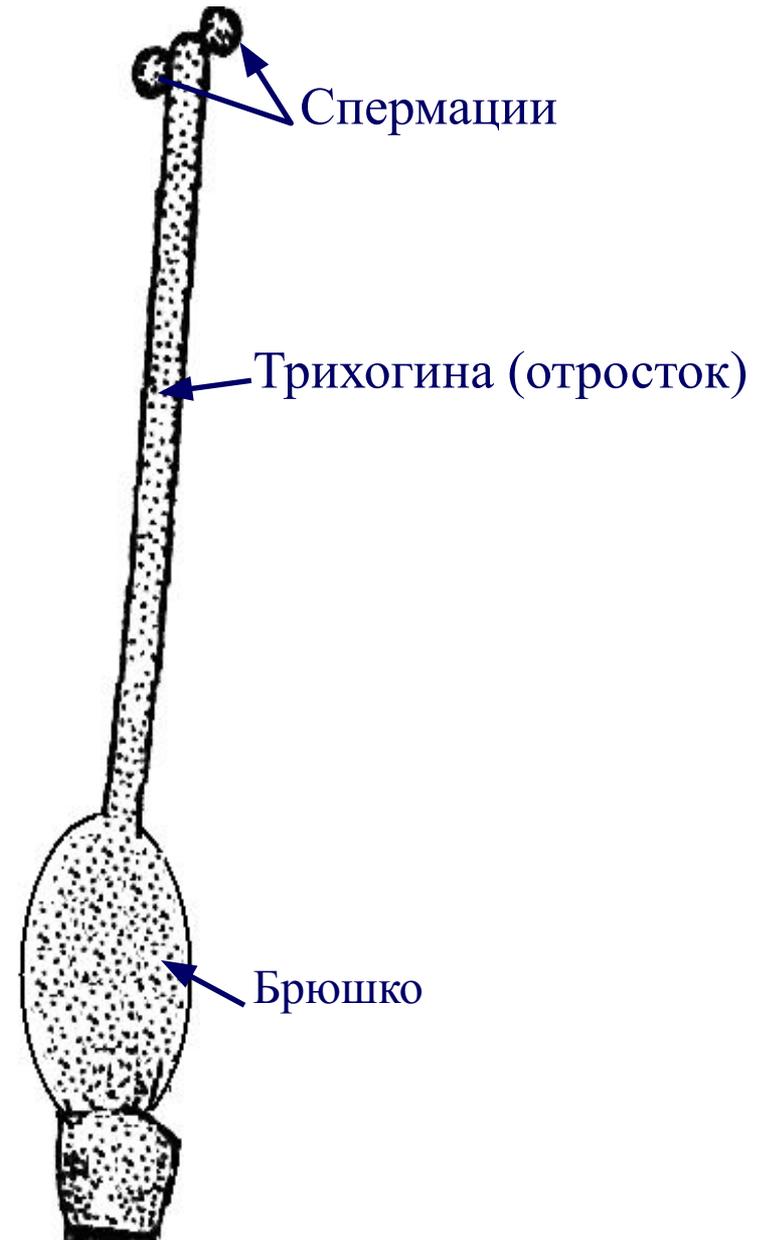
Тетраспорангий с тетраспорами
(из 4-х видны только 3).

II. Половое размножение.

Половой процесс – оогамия.

Половые органы:

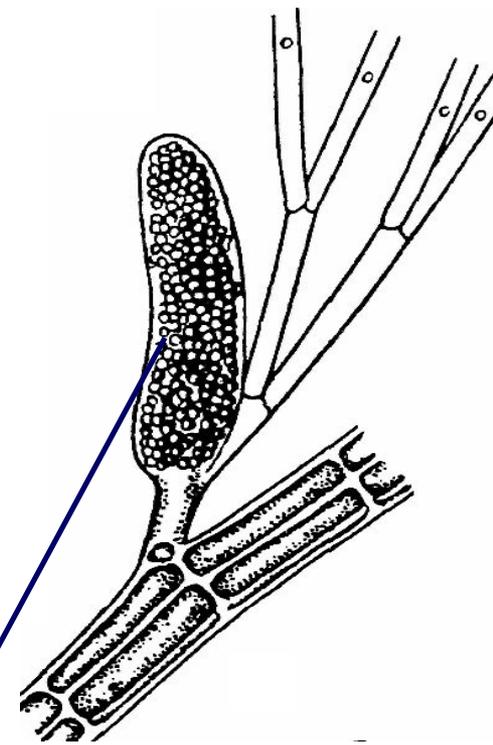
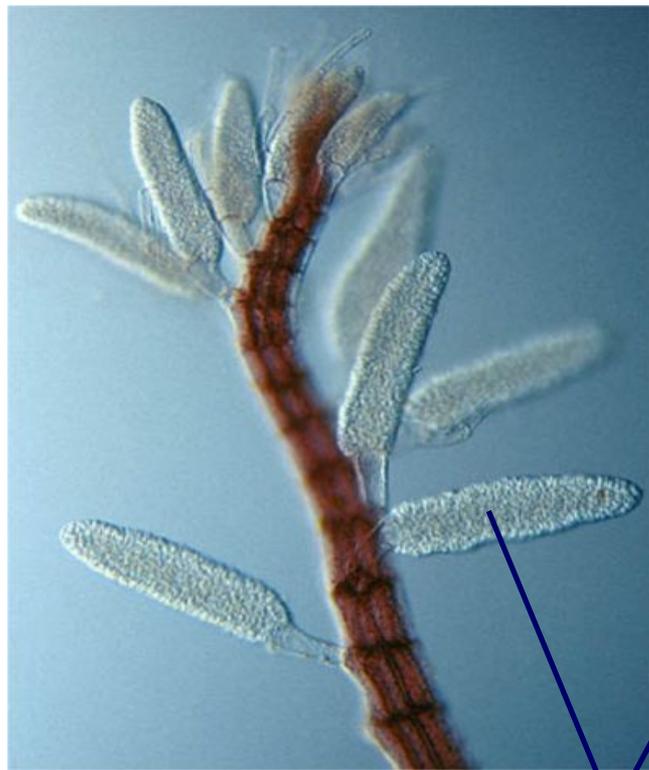
1. Женский половой орган оогоний у красных водорослей называется **карпогоном**.



КАРПОГО

2. Мужской орган – антеридий, или **сперматангий**.

Мужская гамета – **спермаций** – мелкий, голый, без жгутиков. Перенос к трихогине токами воды.



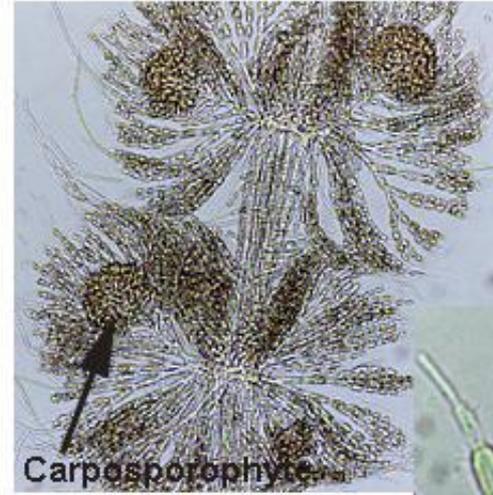
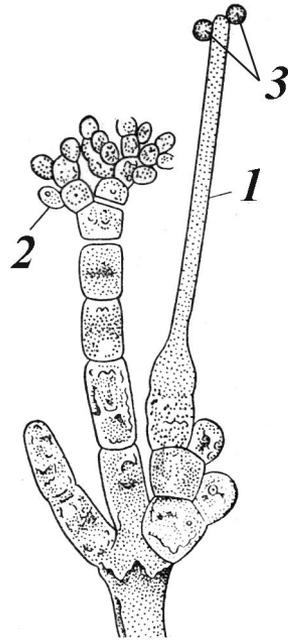
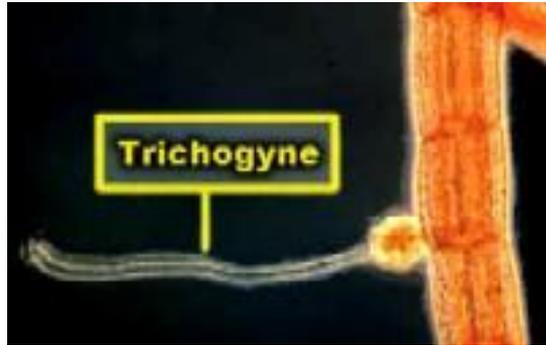
Ветвь с карпогоном (1) и антеридиями (2)

После оплодотворения на женском гаметофите развивается уникальное диплоидное поколение – **карпоспорофит.**

После оплодотворения развитие зиготы у разных водорослей происходит по-разному:

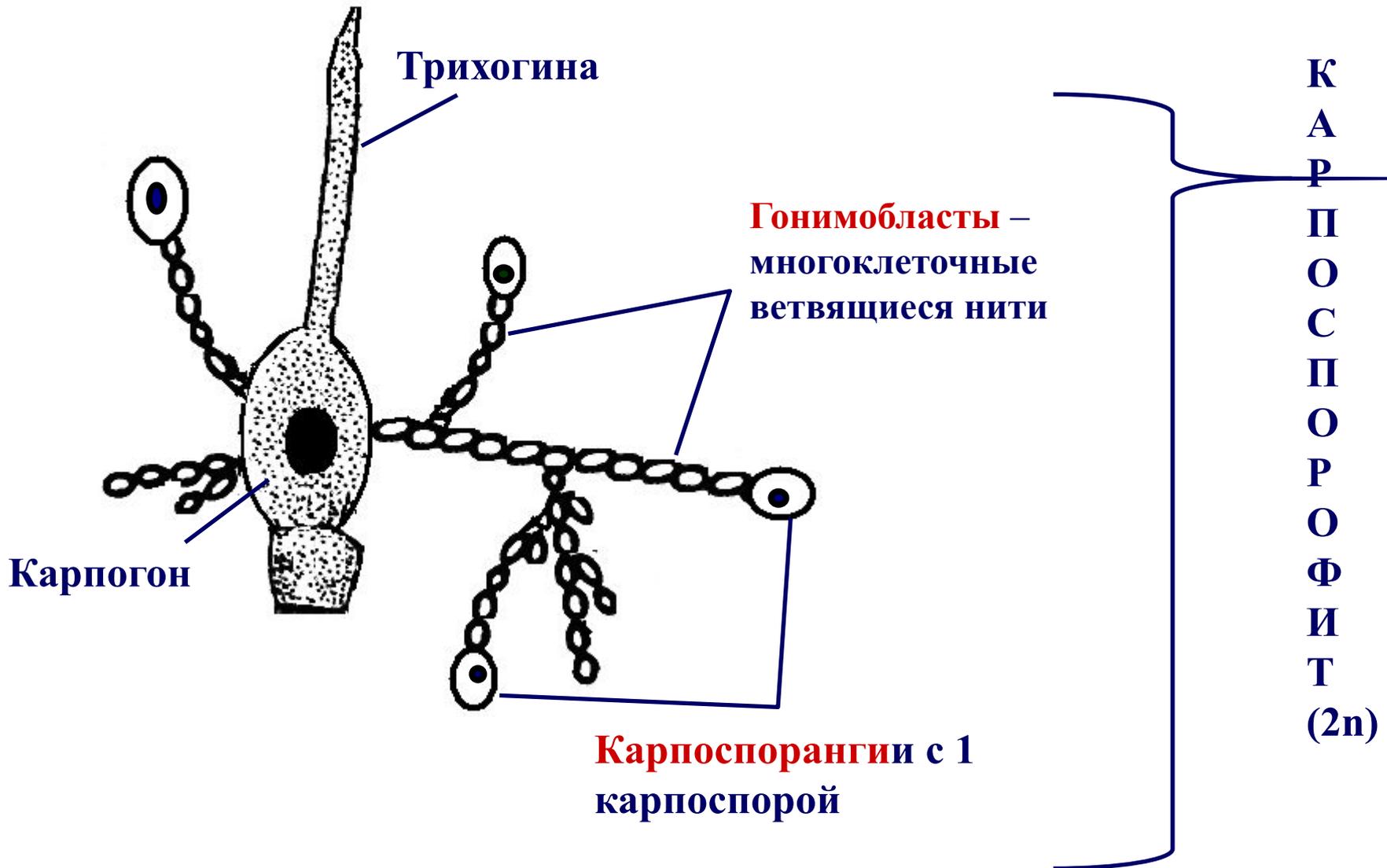
1. У более примитивных красных водорослей содержимое зиготы (оплодотворенного карпогона) сразу же делится митозом с образованием неподвижных голых спор – *карпоспор* ($2n$). Из карпоспор вырастают новые растения.

2. У других из зиготы вырастают многоклеточные ветвящиеся нити (выросты) — **гонимобласты**, клетки которых превращаются в карпоспорангии, внутри каждого карпоспорангия образуется по одной карпоспоре. Гонимобласты с карпоспорангиями выделяют в особую форму развития — **карпоспорофит**.

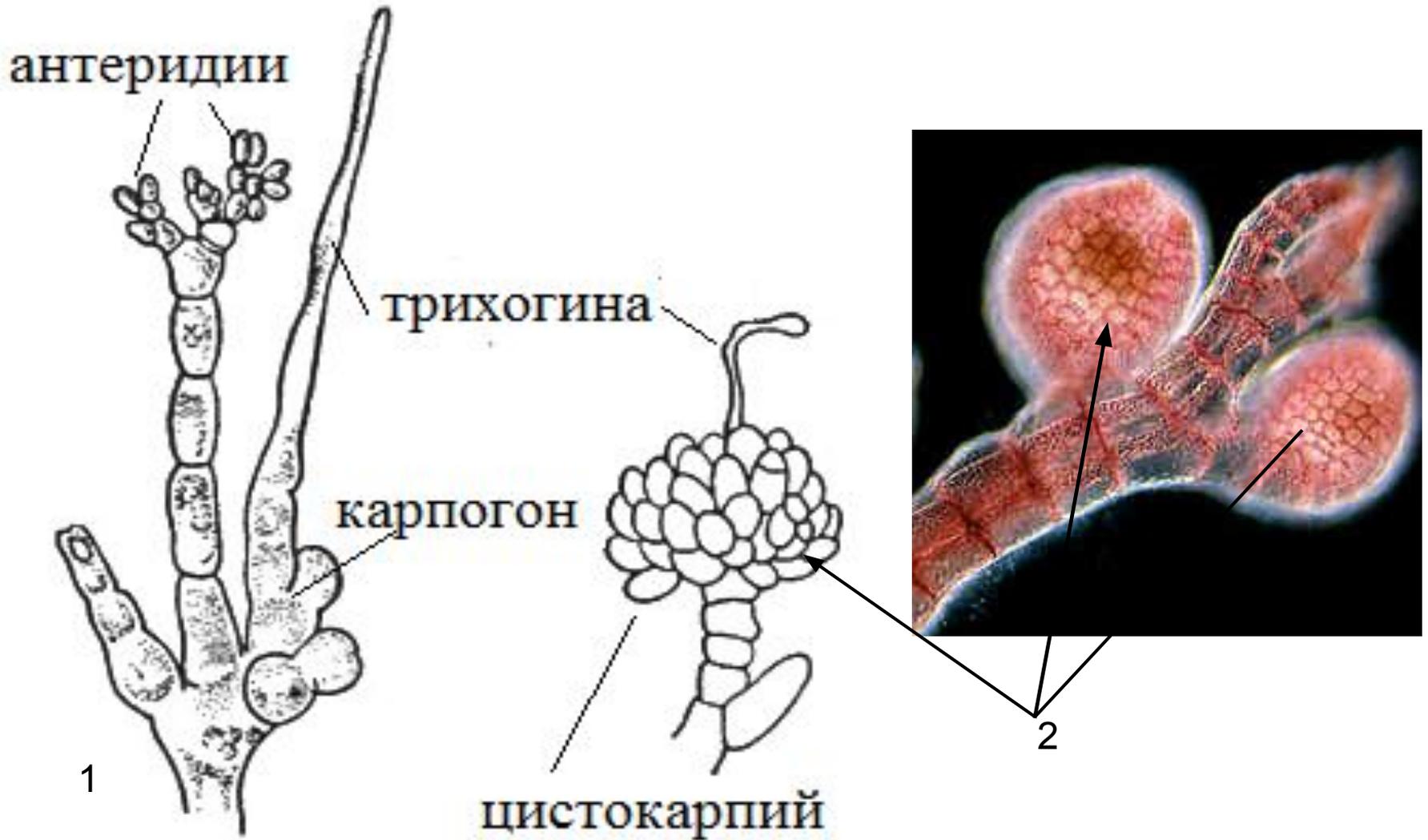


atrachospermum

2. Развитие гонимобластов и карпоспорангиев на оплодотворенном карпогоне (зиготе)



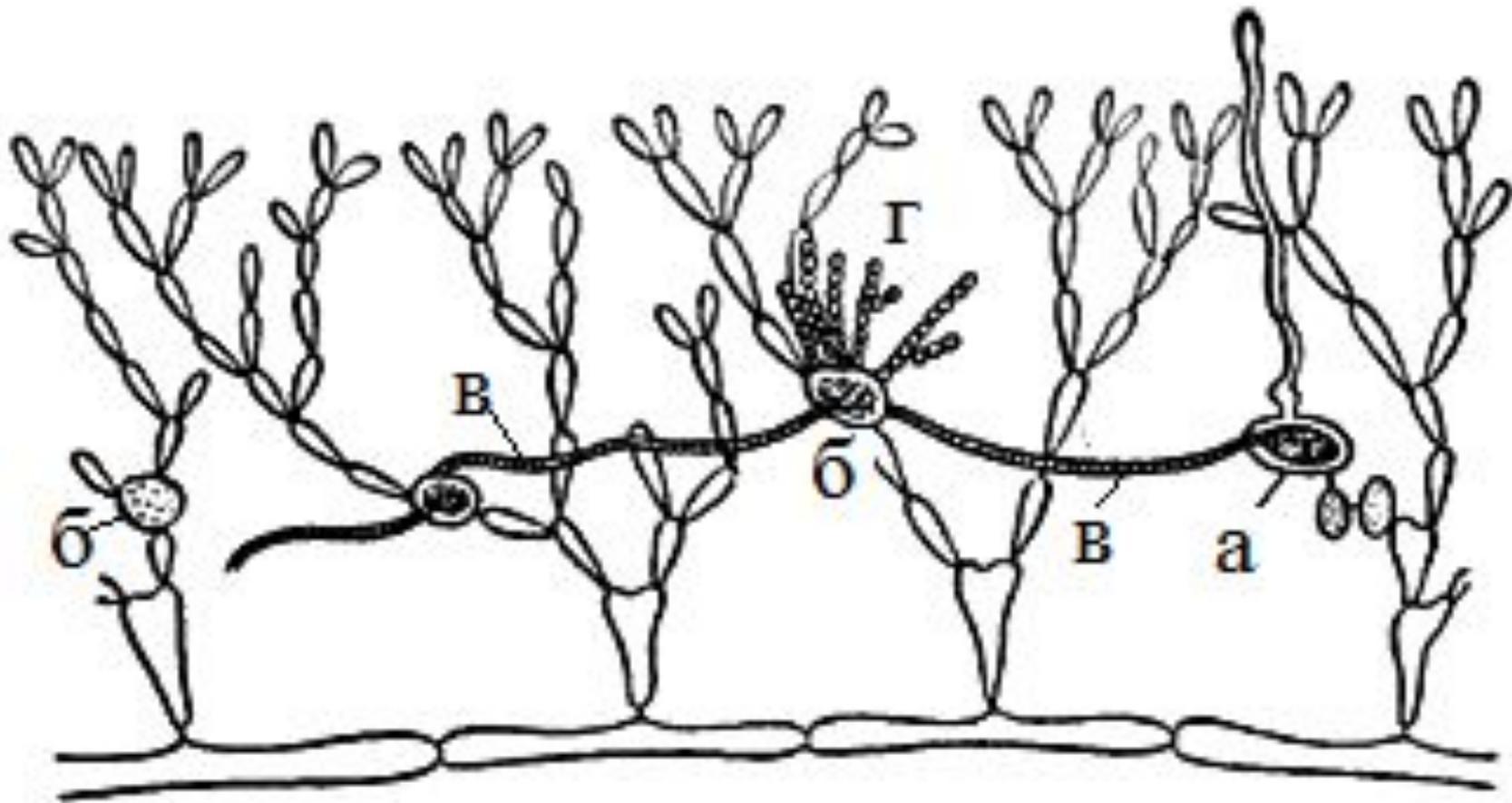
Карпоспорангии часто располагаются тесными группами — *цистокарпиями*, которые у многих представителей одеты псевдопаренхиматозной оболочкой, развивающейся из соседних с карпогоном клеток.



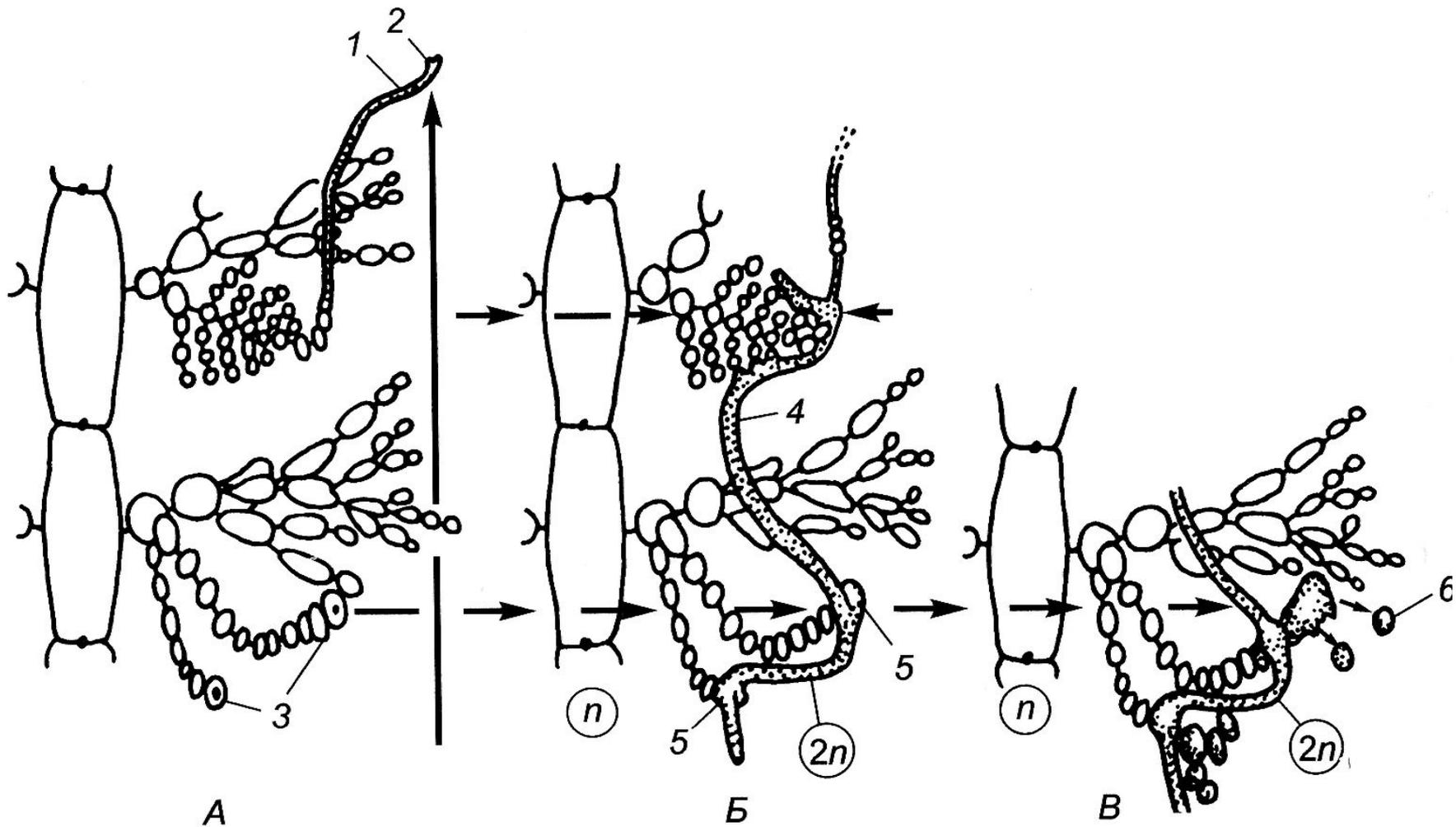
1. Ветвь с карпогоном, трихогиной и с антеридиями.
2. **Цистокарпий**, развившийся из оплодотворенного карпогона.

3. У большинства красных водорослей процесс образования карпоспор еще сложнее.

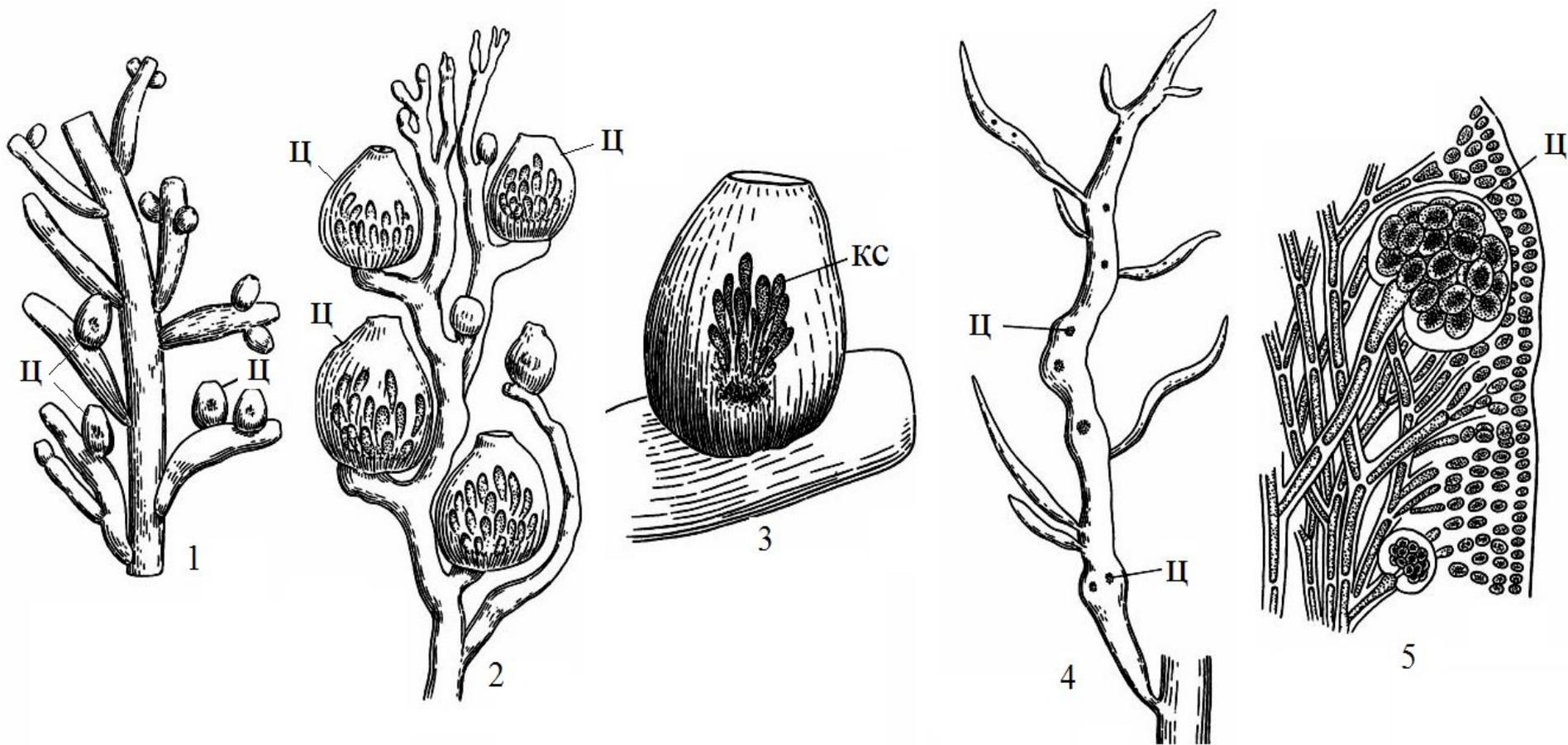
Гонимобласты развиваются не из зиготы (брюшка оплодотворенного карпогона), а из особых вегетативных клеток таллома (вспомогательных), богатых питательными веществами - **ауксиллярных клеток**. Эти клетки могут находиться на разном удалении от карпогона или же располагаются на талломе в непосредственной от него близости. Если далеко, то образуются **ообластемные нити**.



3. Процесс образования карпоспор через ауксилярные клетки: а - карпогон с трихогиной, б - ауксилярные клетки, в - ообластемные нити, г - цистокарпии.



А — оплодотворение; Б — развитие ооластемных нитей; В — развитие карпоспор: 1 — трихогина, 2 — спермаций, 3 — ауксилярная клетка, 4 — ооластемная нить, 5 — слияние ооластемной нити с ауксилярной клеткой, 6 - карпоспоры



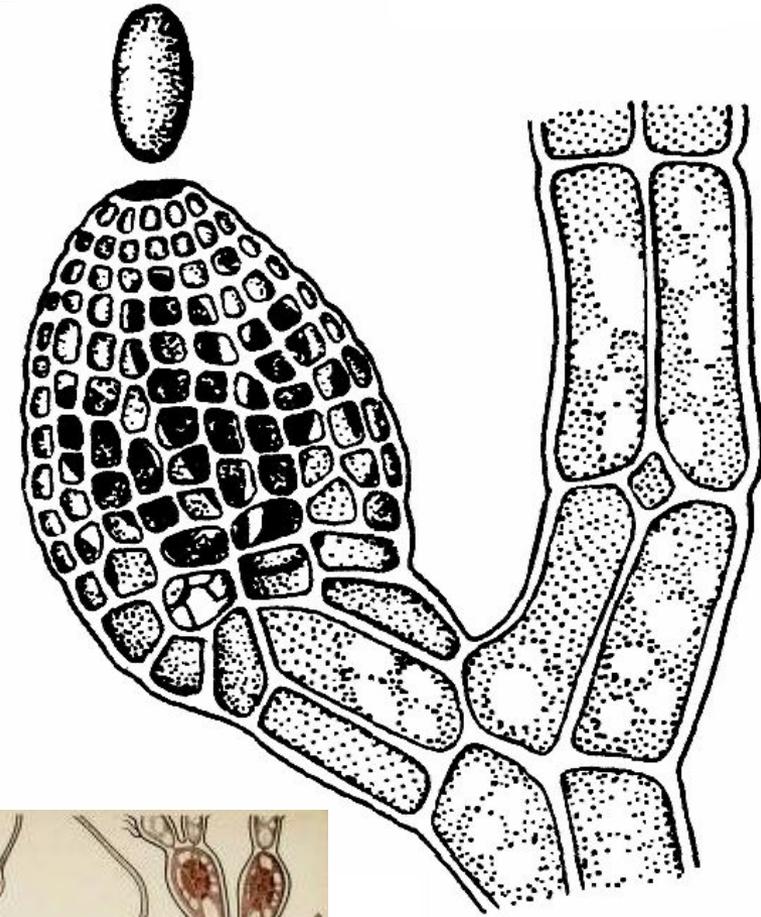
Цистокарпии с карпоспорами:

1 и 2 - часть слоевища с цистокарпиями (ц) на поверхности,

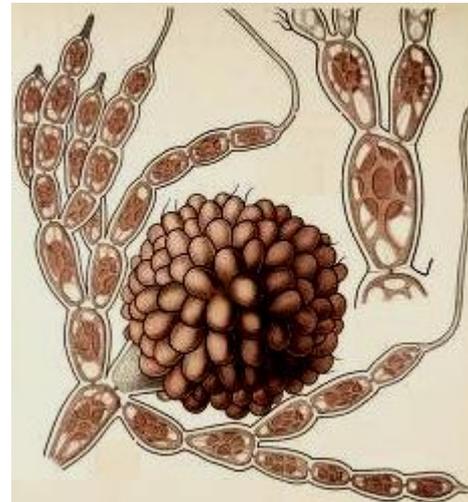
3 - цистокарпий с карпоспорами (кс),

4 - часть слоевища с погруженными цистокарпами (ц),

5 - продольный срез через погруженный цистокарпий (ц)



**Карпоспорофит полисифонии
с цистокарпиями**



10. ЖИЗНЕННЫЕ ЦИКЛЫ красных водорослей (Rhodophyta). Выявлены 3 типа жизненных циклов

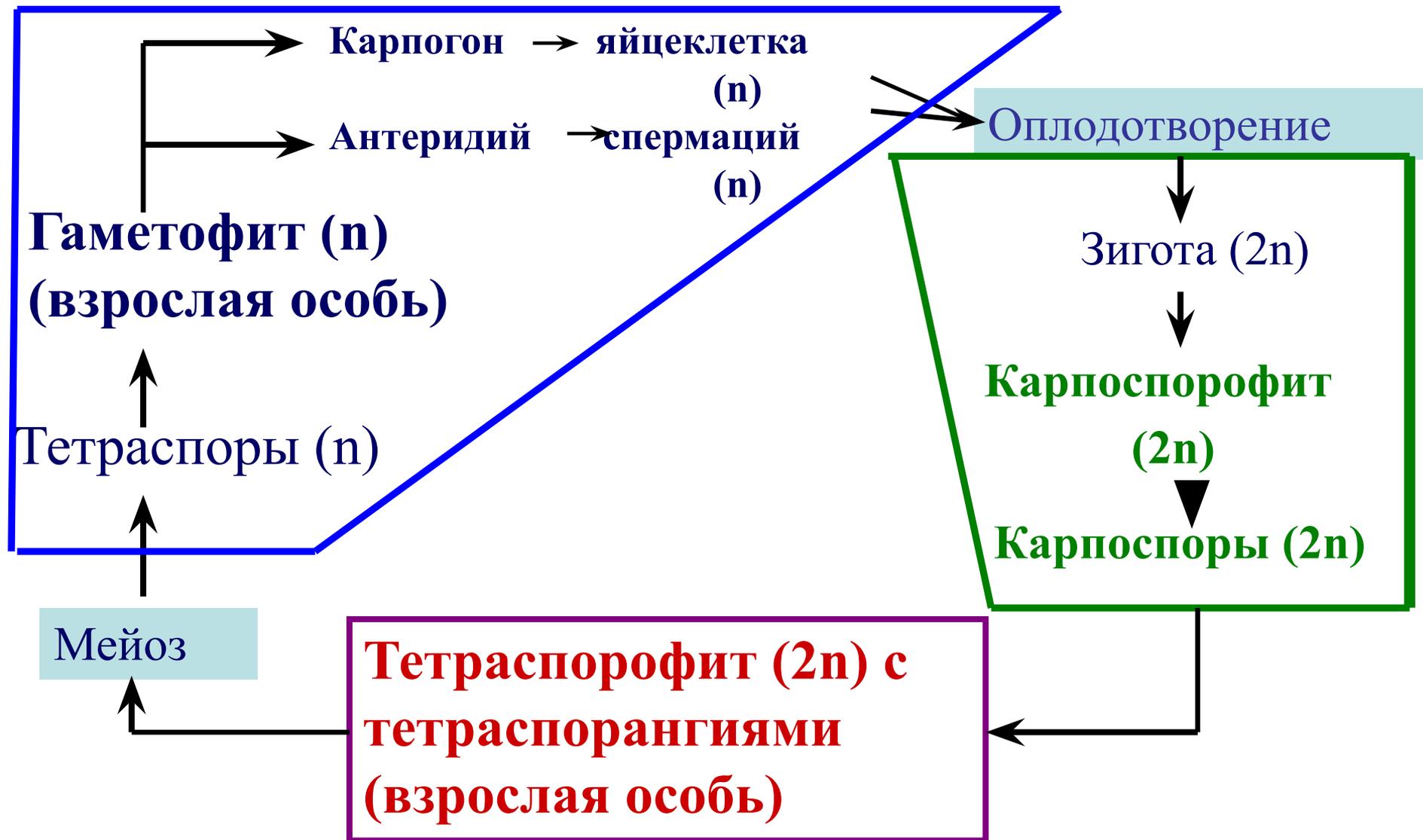
1. Жизненный цикл Polysiphonia-тип.

Встречается у большинства красных водорослей.

Цикл развития **гаплоидно-диплоидный** с изоморфной сменой гаметофита и тетраспорофита, усложненная развитием карпоспорофита. Мейоз спорический.

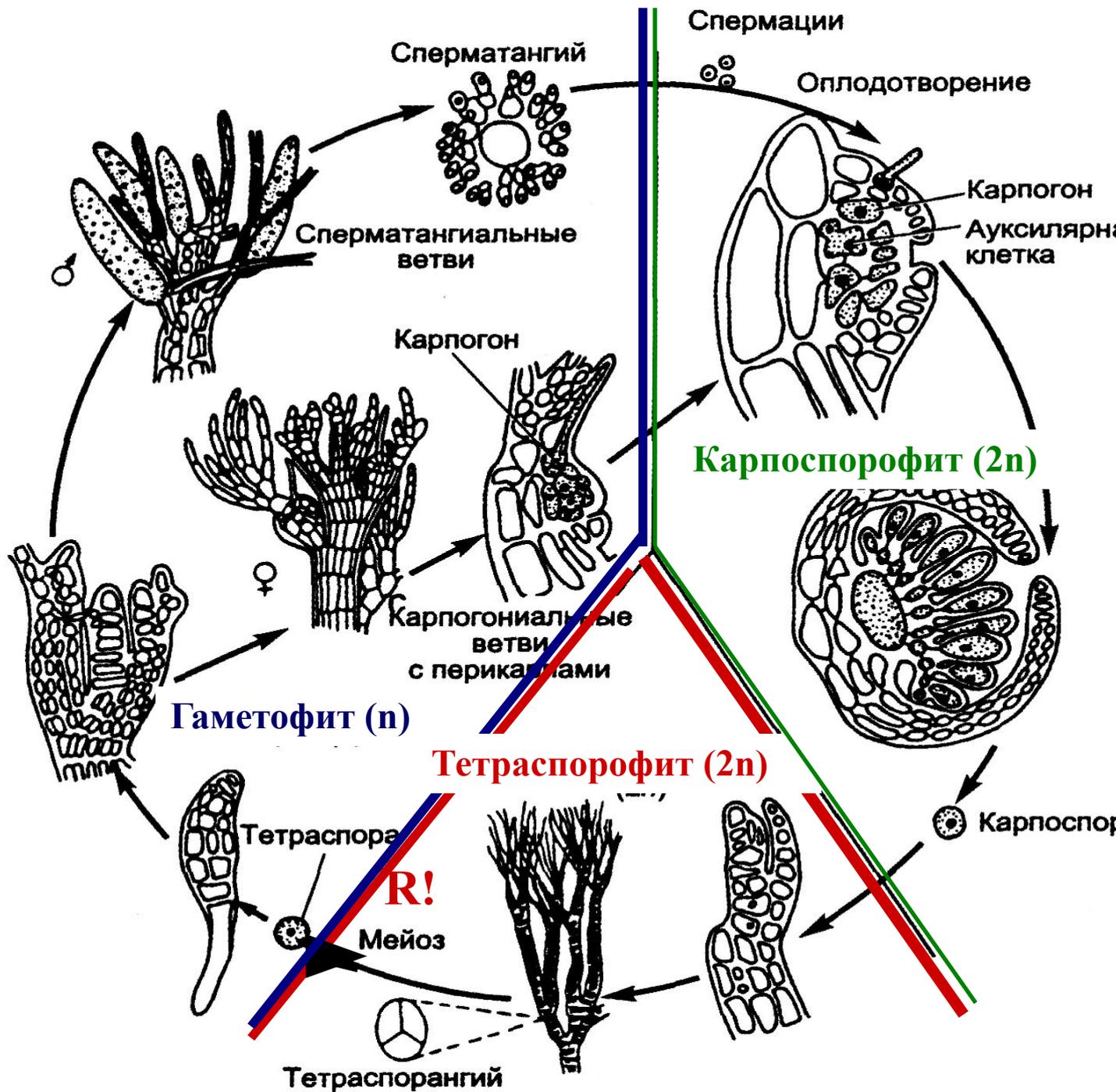
Чередуются:

1. Гаметофит (n) – самостоятельная взрослая особь.
2. Карпоспорофит ($2n$) - живет на гаметофите.
3. Тетраспорофит ($2n$) - самостоятельная взрослая особь.



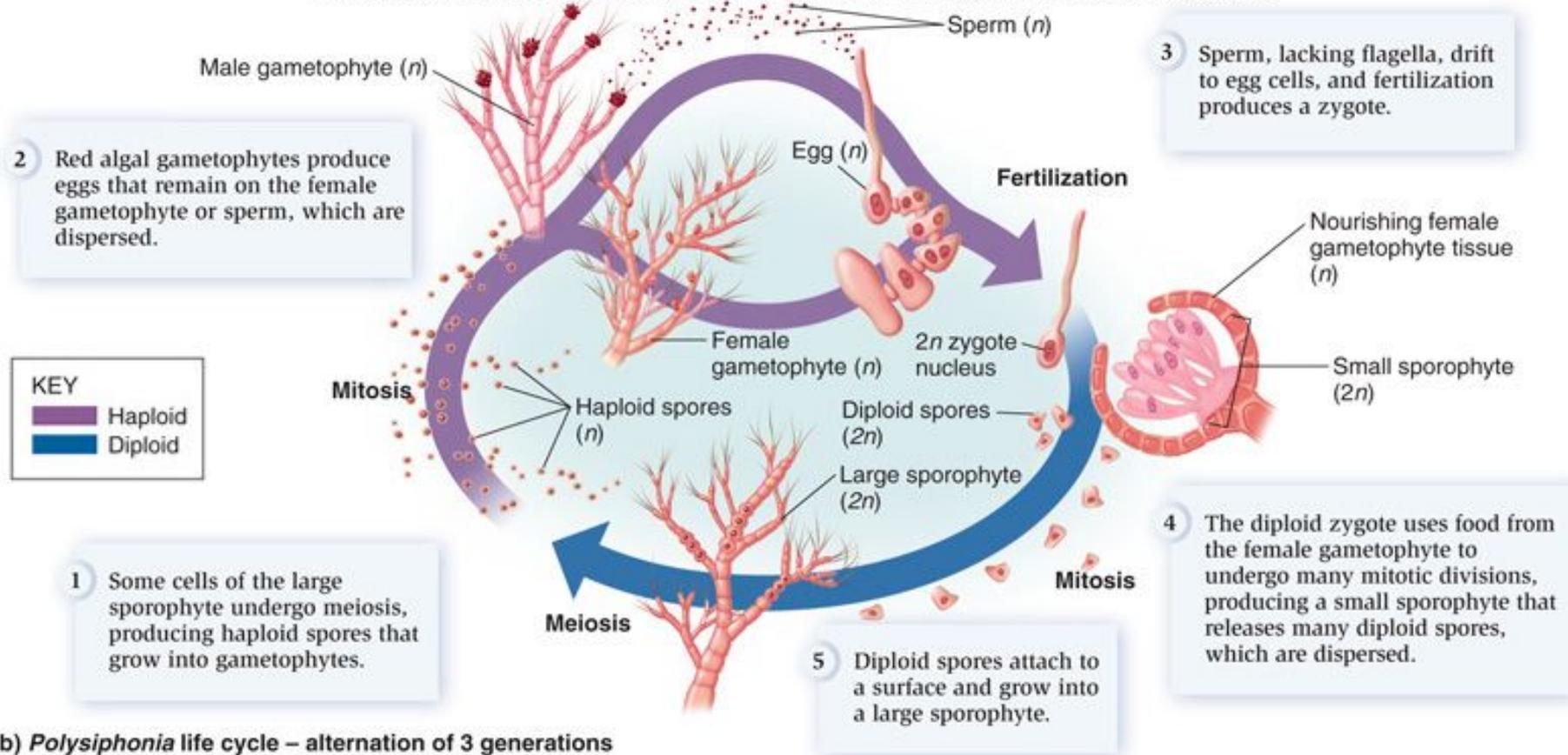
1. Жизненный цикл большинства Красных водорослей - **Polysiphonia-тип** - последовательность гаметофитной, карпоспорофитной и тетраспорофитной фаз в цикле развития.

Цикл развития полисифонии гаплоидно-диплоидный со спорическим мейозом перед образованием тетраспор.



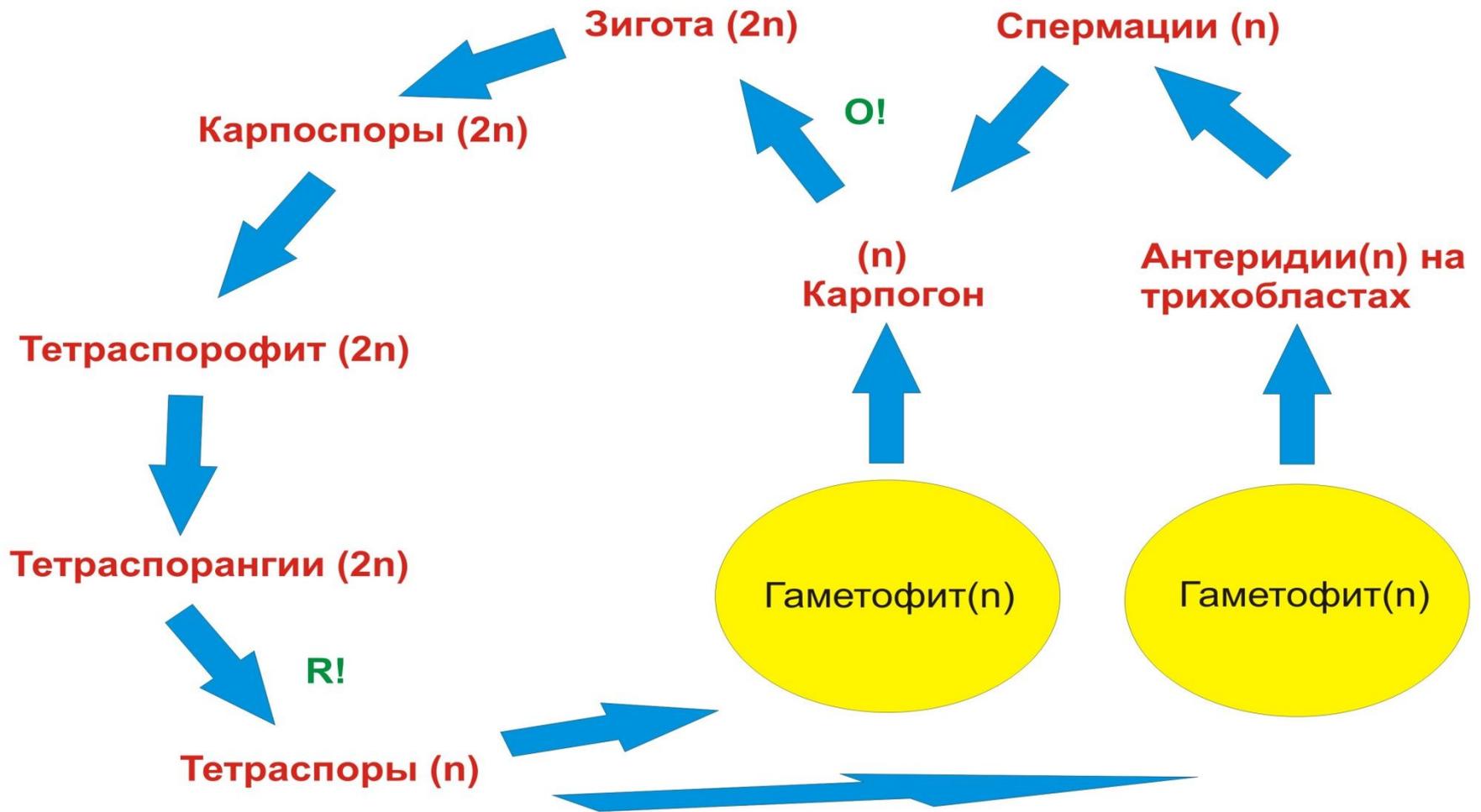
С изоморфной сменой форм развития

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



(b) *Polysiphonia* life cycle – alternation of 3 generations

Цикл развития Полисифонии



2. Жизненный цикл развития с конхоцелис-стадией (у Порфиры - Porphyra). Это гаплоидно-диплоидный цикл в котором чередуются:

1. Гаплоидный макроскопический (крупный) гаметофит (n).

2. Диплоидный карпоспорофит ($2n$), развивающийся на гаметофите.

3. Диплоидная микроскопическая нитчатая **конхоцелис-стадия ($2n$)**.

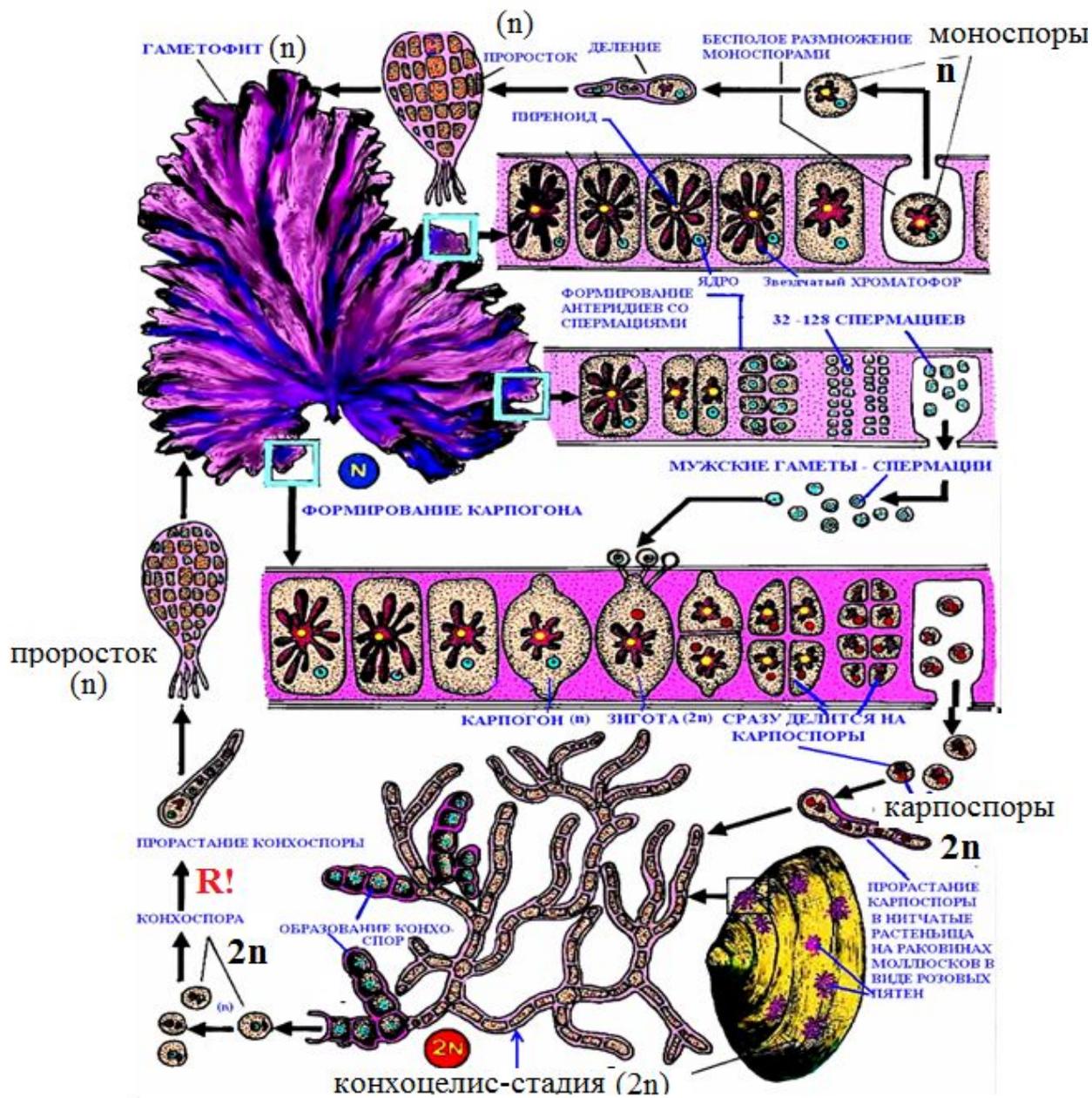
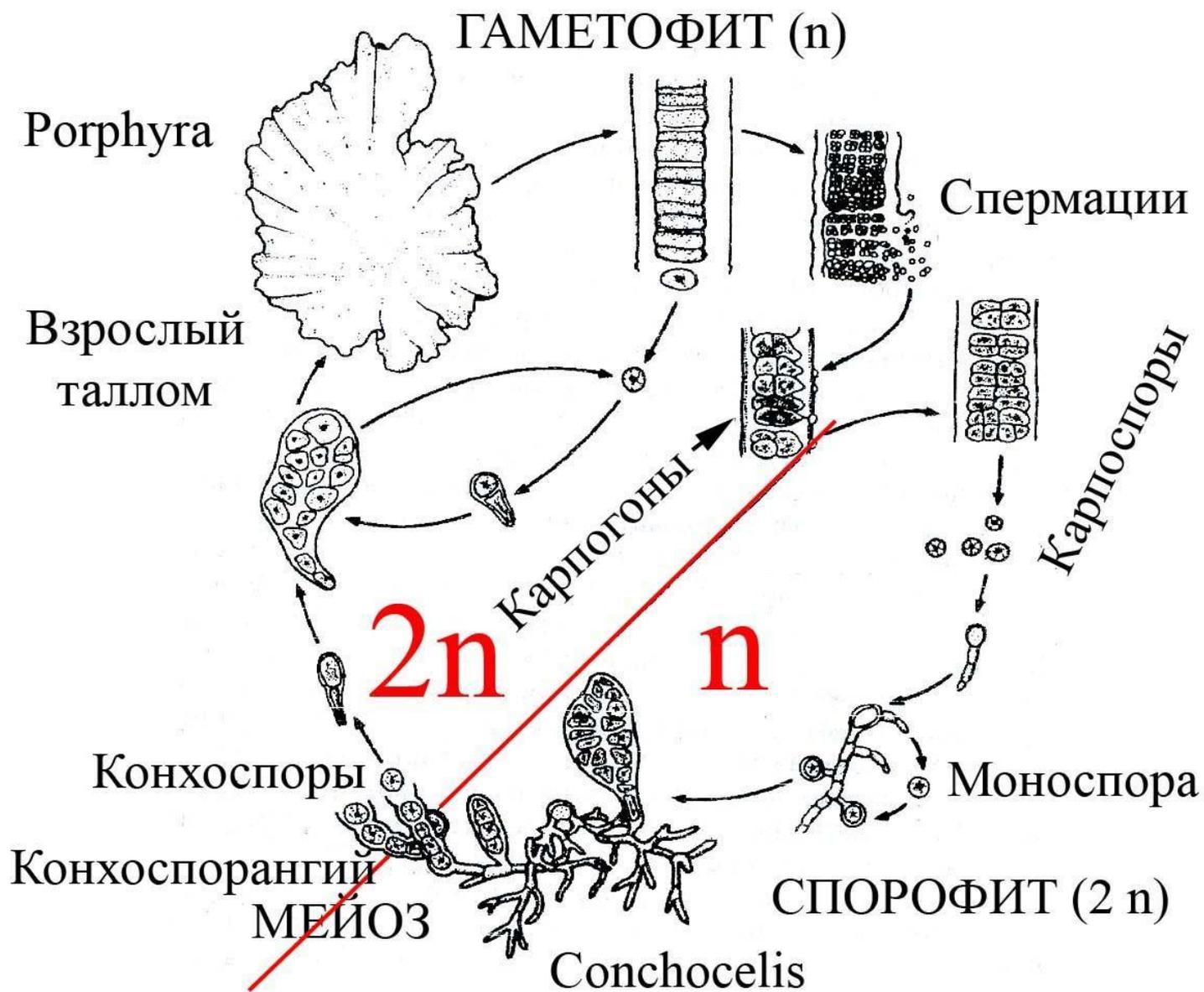


Рис. Цикл развития порфиры.



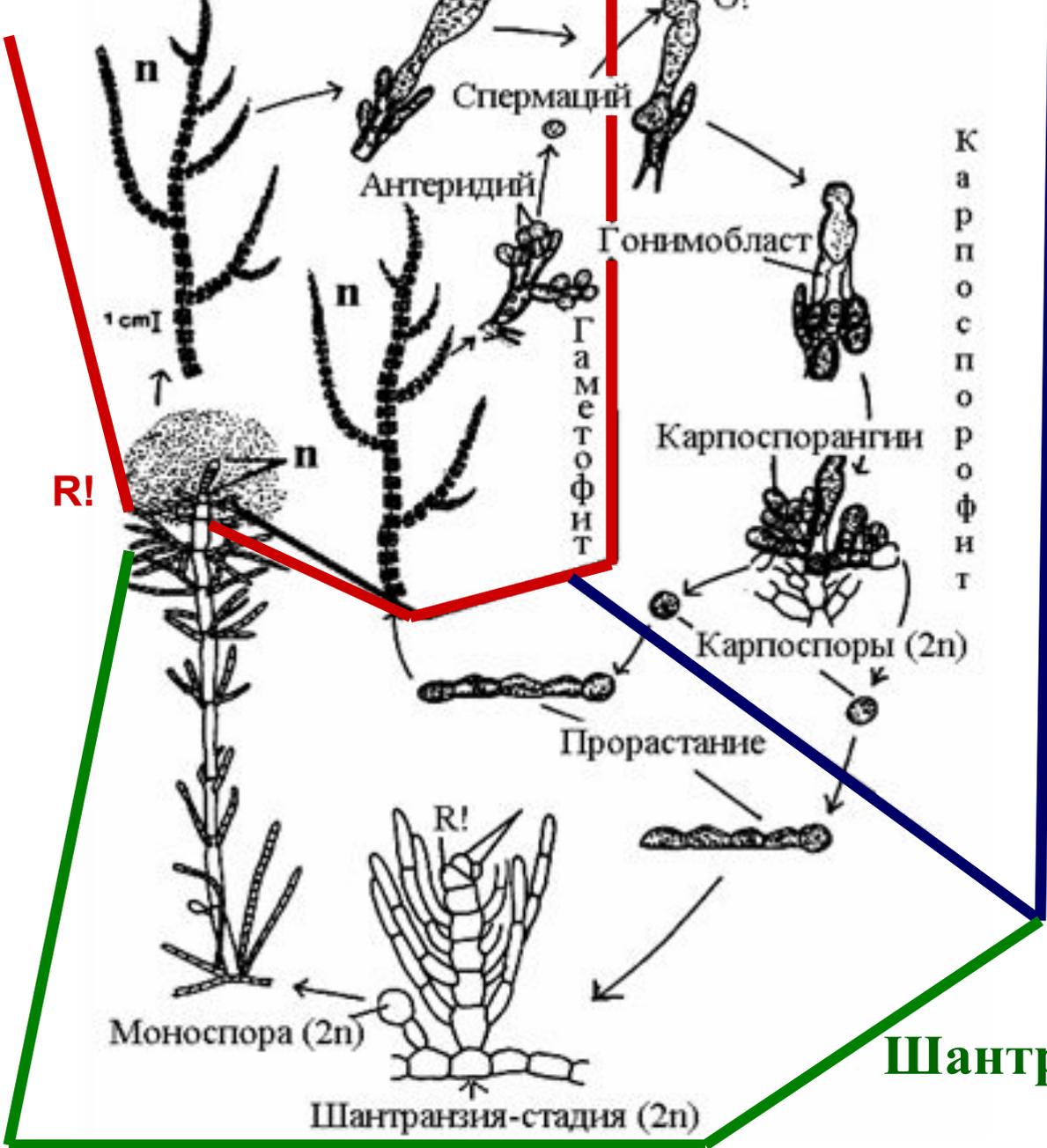


3. Жизненный Цикл развития с шантранзия — стадией (у батрахоспермума). Это гаплоидно – диплоидный цикл с гетероморфной сменой поколения с шантранзия стадией.

Чередуются:

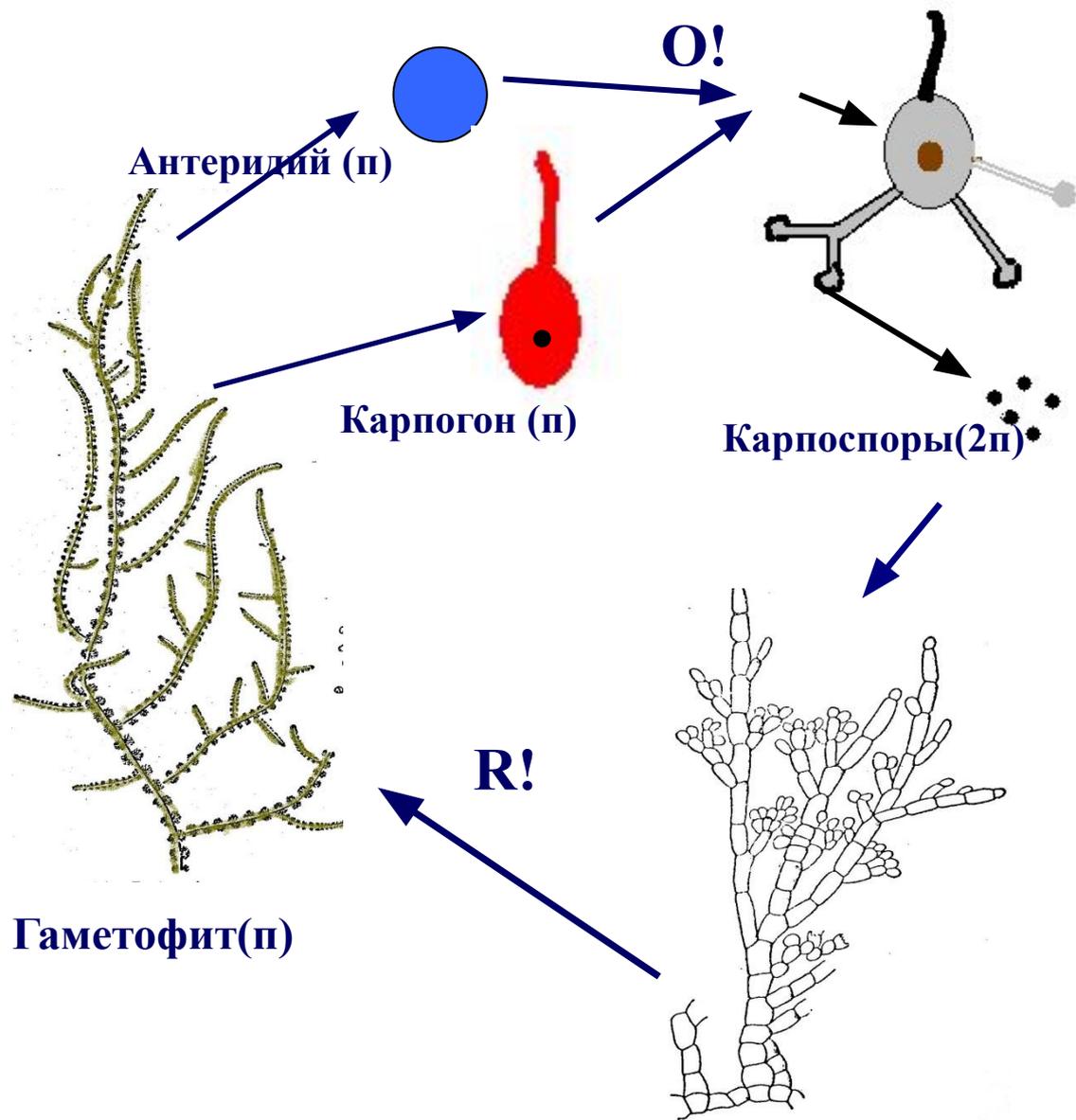
- 1. Гаплоидный макроскопический (крупный) гаметофит (n).**
- 2. Диплоидный карпоспорофит ($2n$), развивающийся на гаметофите**
- 3. Диплоидная микроскопическая шантранзия-стадия ($2n$)**

Гаметофит (n) Карпогон **Карпоспорофит (2n)**



Шантранзия- стадия (2n)





Стадия *Shantranzia* с моноспорами

Шантранзия- стадия (2n) с моноспорами

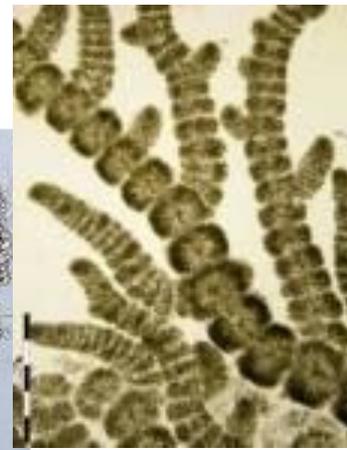
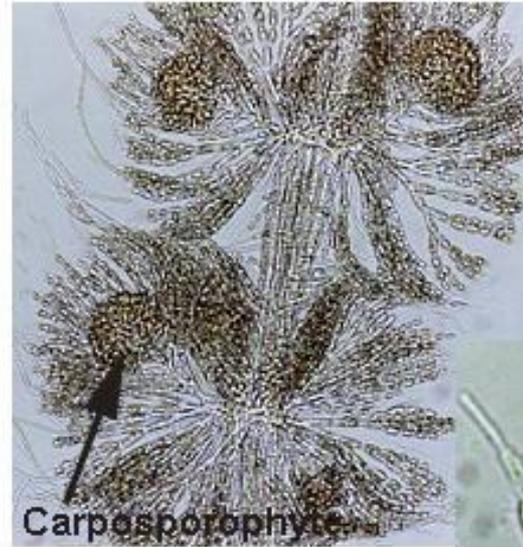
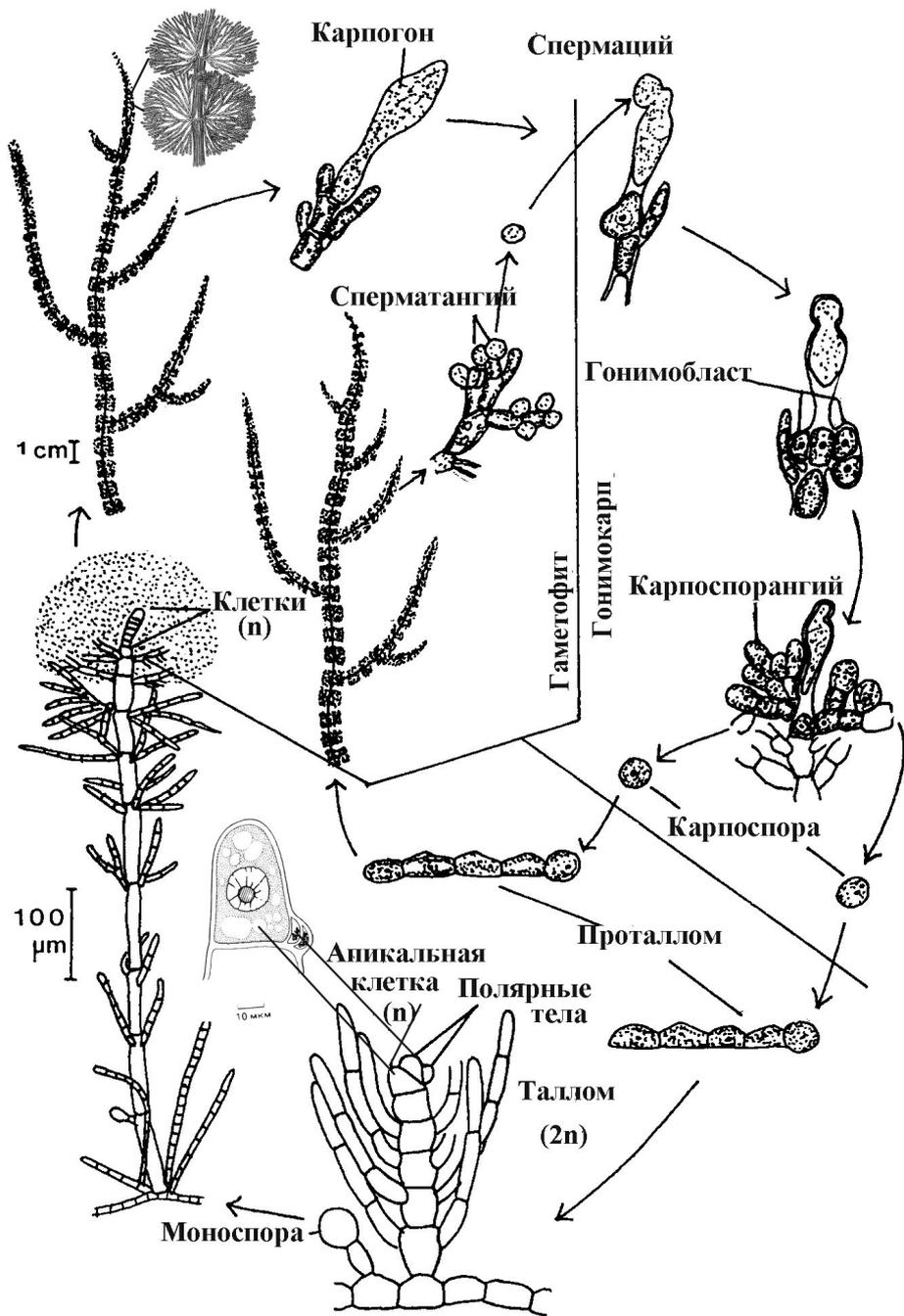
В большинстве случаев происходит смена 3-х форм развития:

1. **Тетраспорофит** – это самостоятельная особь, диплоидная фаза развития, на нем образуются тетраспорангии;

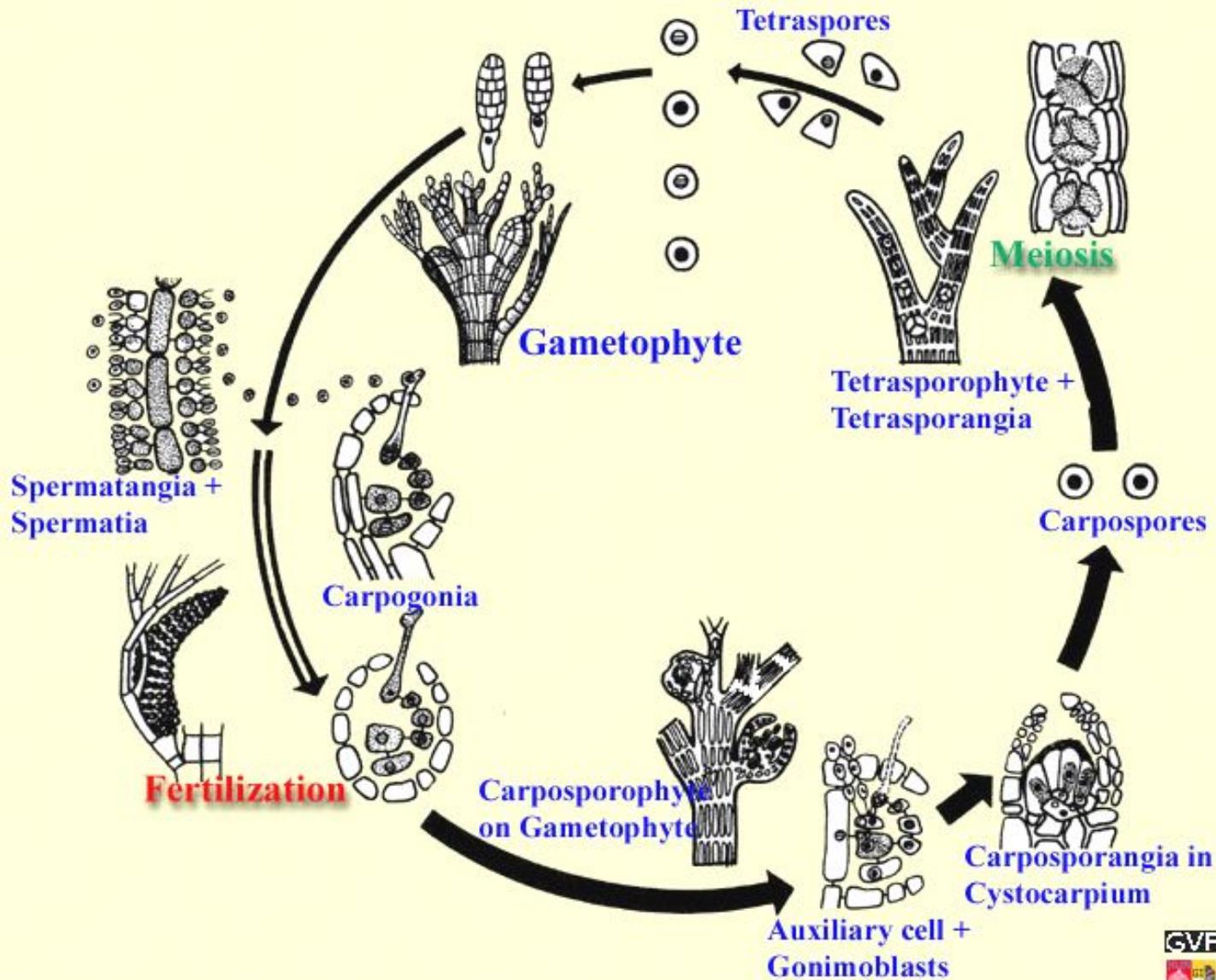
2. **Гаметофит** – гаплоидная фаза развития, на котором образуются половые органы - карпогон и антеридий. Причем, у большинства багрянок гаметофиты раздельнополые;

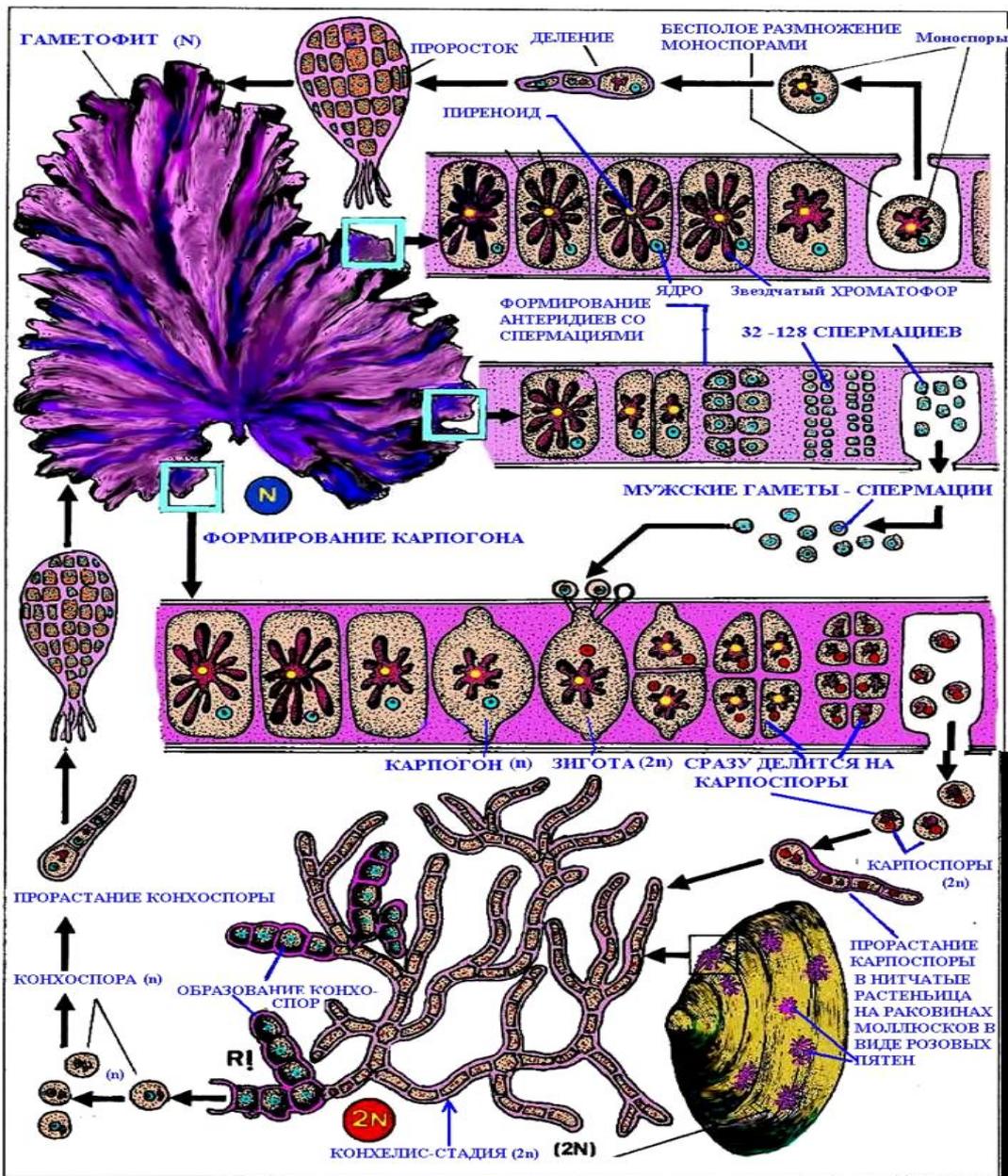
3. **Карпоспорофит** – это диплоидная фаза развития, на котором образуются карпоспорангии, совокупность которых образует цистокарпий.

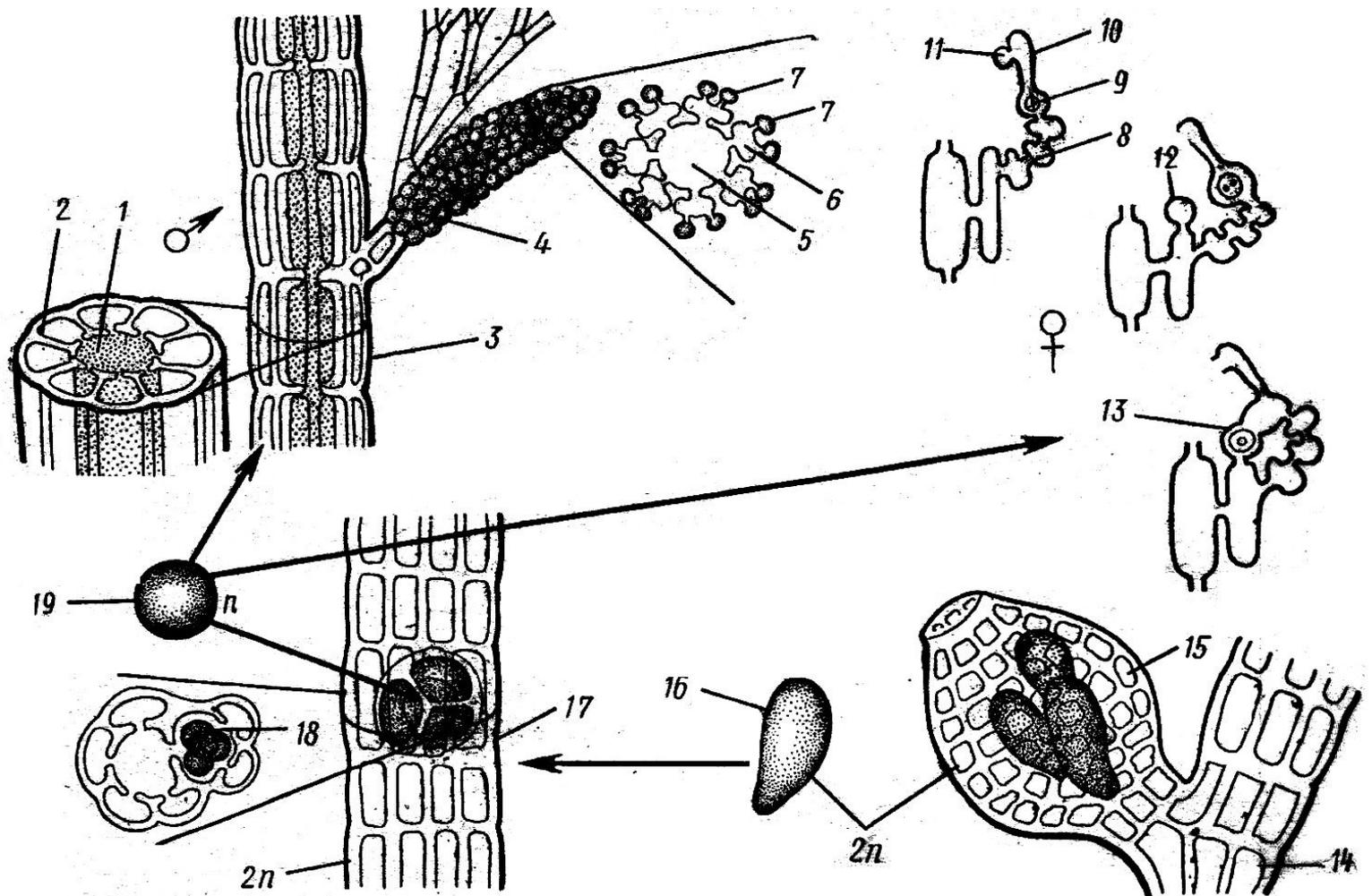




Batrachospermum







ЗНАЧЕНИЕ

- продуценты органического вещества и кислорода;
- для получения йода,
- в пищу - порфира съедобна, но некоторые виды ядовиты;
- из красных водорослей вываривают студенистое вещество – **агар-агар**, который имеет очень большое значение:
 - в микробиологии для изготовления твердых питательных сред;
 - в пищевой промышленности для производство кондитерских изделий (мармелад, зефир, начинки и т.д.), диетических продуктов, супов, мороженого;
 - в бактериологии для развонок;
 - в медицине в качестве слабительного, имеет положительное воздействие при сахарном диабете и заболеваниях сердца;
 - в дерматологии изготавливают крем для упругости тела.

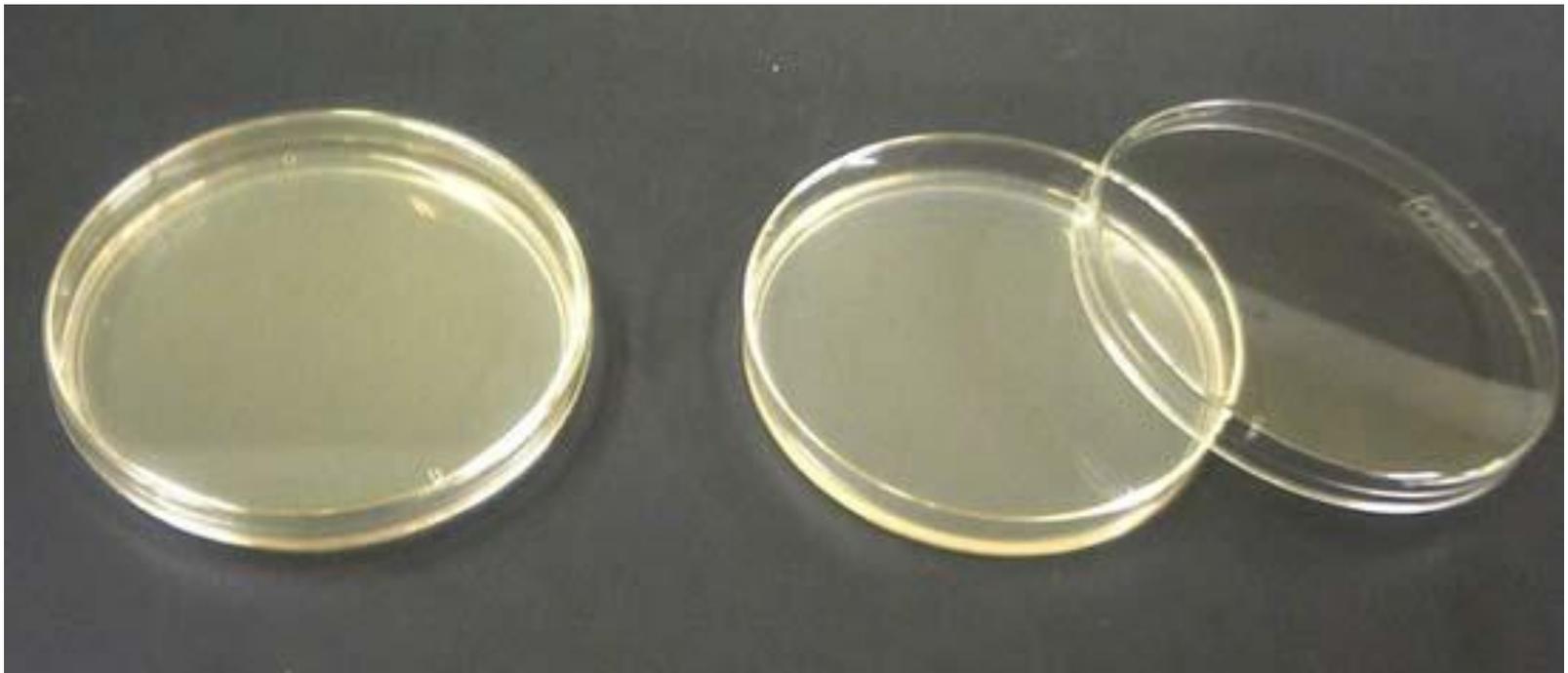
Агар

- **Агар — самый сильный желирующий агент.** Способность агара образовывать студни уменьшается при его нагревании в присутствии кислот. Водный раствор агара образует студни при охлаждении до 45 °С. Температура плавления водного студня — 80–90 °С.
- **Агар используют в кондитерской промышленности** при производстве мармелада, желе, при получении мясных и рыбных студней, при изготовлении мороженого, где он предотвращает образование кристалликов льда, а также при осветлении соков. Студни, приготовленные на основе агар-агара, в отличие от всех других студнеобразователей, характеризуются стекловидным изломом.

Применение агара в пищевой промышленности не лимитировано, а его количество, добавляемое в пищевые продукты, обусловлено рецептурами и стандартами на эти продукты.

Использование агар-агара в медицине

Разбухающие вещества аптекарского сырья не разлагаются ни в кислой среде желудка, через которую проходят очень быстро, ни в щелочной среде кишечника, а в результате сильного разбухания увеличивают содержимое кишечника, что и вызывает его перистальтику. Таким образом агар-агар действует как мягкое слабительное.



В 1984 г. Экспертный комитет по пищевым добавкам и Рабочая группа Комиссии по пищевому кодексу ВОЗ подтвердили, что **каррагинан безопасен для применения в пище** и является полезным компонентом для применения в качестве пищевой добавки.

Каррагинаны – это природные загустители, желеобразующие компоненты и стабилизаторы консистенций, они не расщепляются в желудочно-кишечном тракте человека и выполняют функции пищевых волокон

Нашли применение в молочной промышленности, а также широко применяются в мясной и кондитерской промышленности в качестве уплотнителей и эмульгаторов - стабилизаторов.

Известно, что каррагинаны обладают противовирусной, противоязвенной активностью, сорбционными свойствами и способствуют выведению из организма тяжелых металлов.

Каррагинаны в пищевой промышленности

- Каррагинаны Каппа и Йота используют при приготовлении шоколадного молока, молочных пудингов и сливочных десертов, в составе смесей для стабилизирующих добавок – при производстве взбитых продуктов, сливочных муссов, молочных коктейлей, желе из сыворотки. **Каррагинаны** применяются для производства желе и десертов на водной основе, сгущенного молока, жележных заливок и глазурей, начинок для карамели, конфет, жевательной резинки, жевательного мармелада, жевательных конфет, мороженого. Присутствие каррагинанов в продуктах питания показывает маркировка «E407», встречающаяся на упаковке.

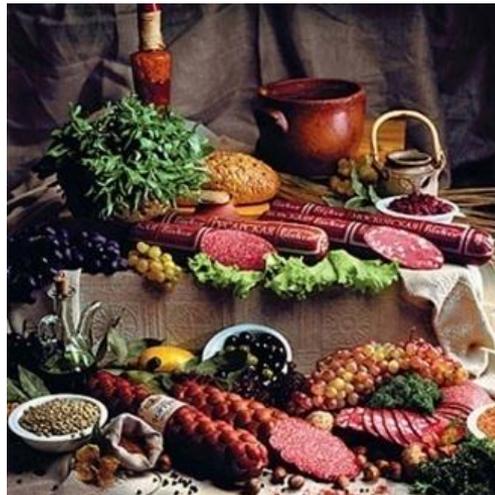


В мясо-молочной промышленности

Каррагинаны применяют при производстве:

- вареных колбас;
- сосисок, сарделек;
- цельномышечных продуктов из говядины и свинины;
- ветчин;
- мясных консервов;
- паштетов;
- мяса в желе.

- Преимущества каррагинана:
- придает продукту монолитную упругую консистенцию;
- увеличивает выход готовой продукции;
- уменьшает термопотери;
- делает продукцию стойкой в процессе варки;
- сохраняет ароматы в процессе приготовления, благодаря его способности обволакивать ароматические добавки.
- не теряет своих свойств в процессе стерилизации при $t=135-140\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1,5 часов.

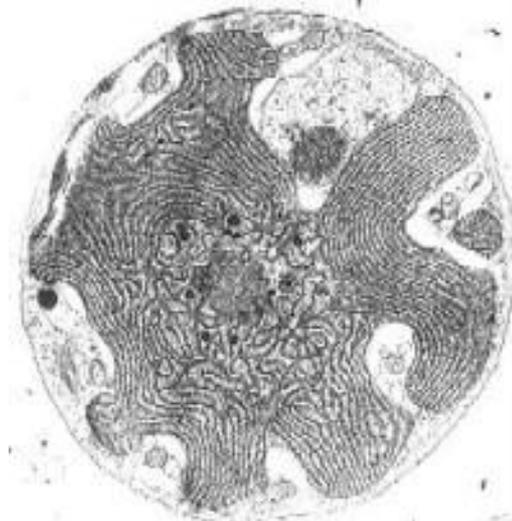
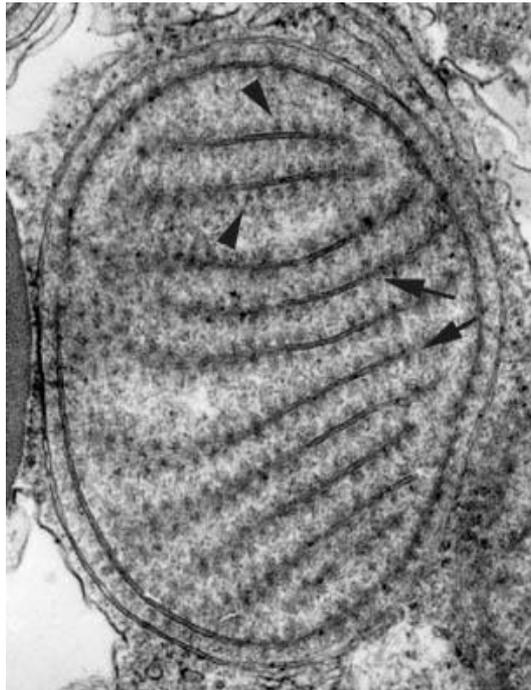


Производство каррагинанов

Производство каррагинанов как **важного сырья для медицинской, пищевой и некоторых других отраслей промышленности** развито в основном в США, Франции, Канаде, Англии, Швеции, Норвегии, Ирландии, Португалии, Филиппинах и некоторых других странах. Мировое потребление каррагинанов составляет более 14 000 т в год и увеличивается на 1–3% ежегодно. Производят каррагинаны из *Chondrus* и *Eucheuma*

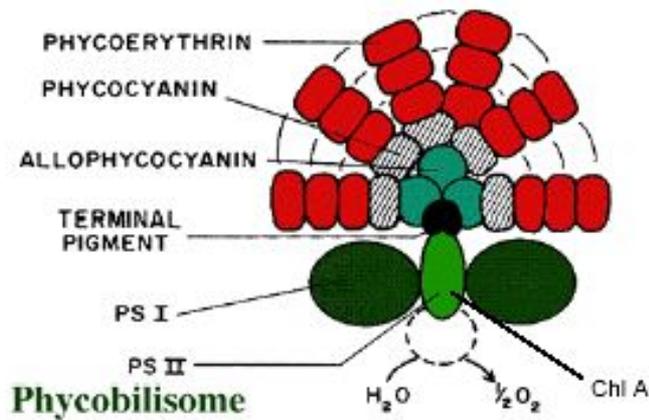
В России на Дальнем Востоке и Белом море налажена переработка анфельции и получение из нее агар-агара. Для этих же целей в Южном Приморье используется грацилярия, введенная в марикультуру.





Light Capturing "Antennae"

- phycobiliproteins act as both light antennae and reserves of cellular nitrogen

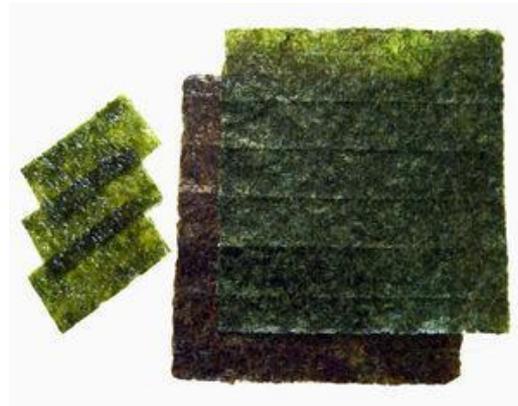
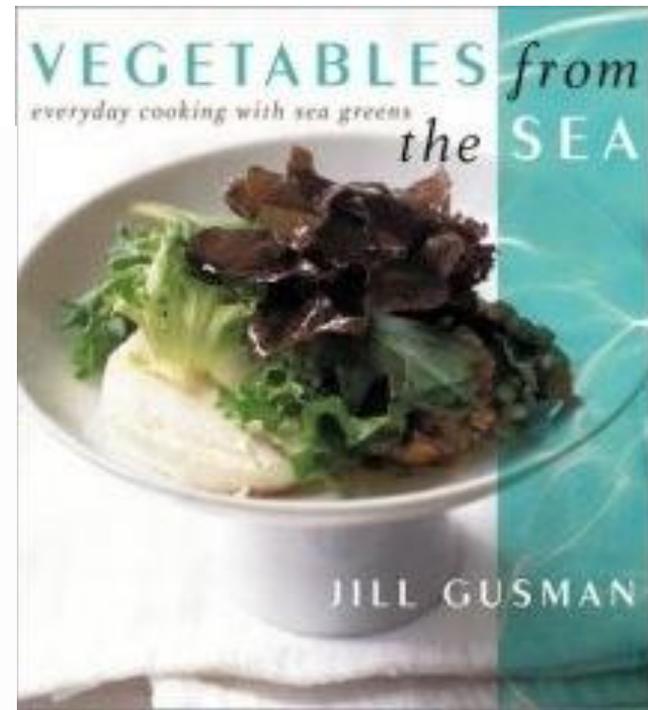


Side note →
 phycocyanin gives
 blue-green
 coloration

Chromatic adaptation: green light ↑ phycoerythrin, red light ↑ phycocyanin

Чистый фикоэритрин интенсивного красно-малинового цвета, может быть широко использован в пищевой и парфюмерной промышленности в качестве пищевых добавок, красителей, а также в медицинской промышленности как флуоресцентные метчики для диагностики и в радиобиологии. Известные зарубежные фирмы ежегодно тоннами продают эти красители в основном для кондитерской и парфюмерной промышленности. В США запатентовано их применение в качестве флуоресцентных метчиков для иммуно-диагностики (Stryer Zybert et al., 1989). Имеются также сведения об использовании фикоэритрина и родственного ему синего пигмента фикоцианина в онкологии и как радиопротектора (Hirata Takashi et al., 2000; Bhat Vadiraja, Madyastha, 2001; Romay Cheyla et al., 2001).

Фикоцианин является не только натуральным красителем, но и мощным антиоксидантом с противовоспалительными свойствами, фикоцианин способен разрушать пероксинитрит, гидроксил и пероксил радикалы, а также подавлять переокисление липидов



Токсичные соединения красных водорослей

α -Kainic (10) and domoic acids (11)

Образуются у некоторых церамиевых водорослей и используются при исследовании нейрофизиологических расстройств (болезни Альцгеймера, Паркинсона, эпилепсия).

Экстракты из *Digenea simplex* и *Chondria armata*, содержащие домоевую кислоту, обладают противогельминтным и инсектицидным свойствами.

Aplysiatoxin (12) and debromoaplysiatoxin (13) стимулируют образование опухолей и вызывают отравления при поедании *Gracilaria coronopifolia*.

manauealide A (14), manauealide B (15) and manauealide C (16) вызывают диарею у мышей.

Polycavernoside A (17) вызывает смертельные отравления людей, употребляющих в пищу *Polycavernosa tsudae*.

rostaglandin E2 (18) вызывает смертельные отравления при употреблении некоторых *Gracilaria*.

АУКСИЛЯРНЫЕ КЛЕТКИ – особые вспомогательные клетки у большинства багрянок, богатые питательными веществами, из которых после их слияния с карпогоном развиваются гонимобласты.

АГАР-АГАР (от малайского агар-агар — водоросли) — продукт (смесь полисахаридов агарозы и агаропектина), получаемый путем экстрагирования из красных и бурых водорослей (*Gracilaria*, *Gelidium*, *Ceramium* и др.), произрастающих в Белом море и Тихом океане, и образующий в водных растворах плотный студень.

ГОНИМОБЛАСТЫ – многоклеточные ветвящиеся нити, клетки которых превращаются в карпоспорангии, производящие по одной карпоспоре.

КАРПОГОН (от греч. *karpos* - плод и *гонэ*) - женский гаметангий большинства красных водорослей, состоящий из расширенной базальной части - брюшка, заключающего яйцеклетку, и узкой – трихогины.

КАРПОСПОРОФИТ (от карпос, спора и фитон) –

а) особая фаза в цикле развития красных водорослей, включающая гонимобласты и карпоспорангии с карпоспорами;

б) первый компонент диплоидной фазы цикла развития красных водорослей, существующий на гаметофите, получая от него питательные вещества и образуя карпоспоры, которые дают начало второму компоненту диплоидной фазы цикла - тетраспорофиту.

КАРПОСПОРЫ (от карпос и спора) - диплоидные митоспоры красных водорослей, возникающие на карпоспорофите.

ООБЛАСТЕМНАЯ НИТЬ – соединительная нить без поперечных перегородок, связывающая карпогон и ауксилярные клетки.

ПРОКАРПИЙ – совокупность ауксилярной клетки (или клеток) с карпогоном в случае их близкого расположения.

СПЕРМАЦИЙ (от сперма) - безжгутиковая мужская половая клетка (неподвижная) красных водорослей.

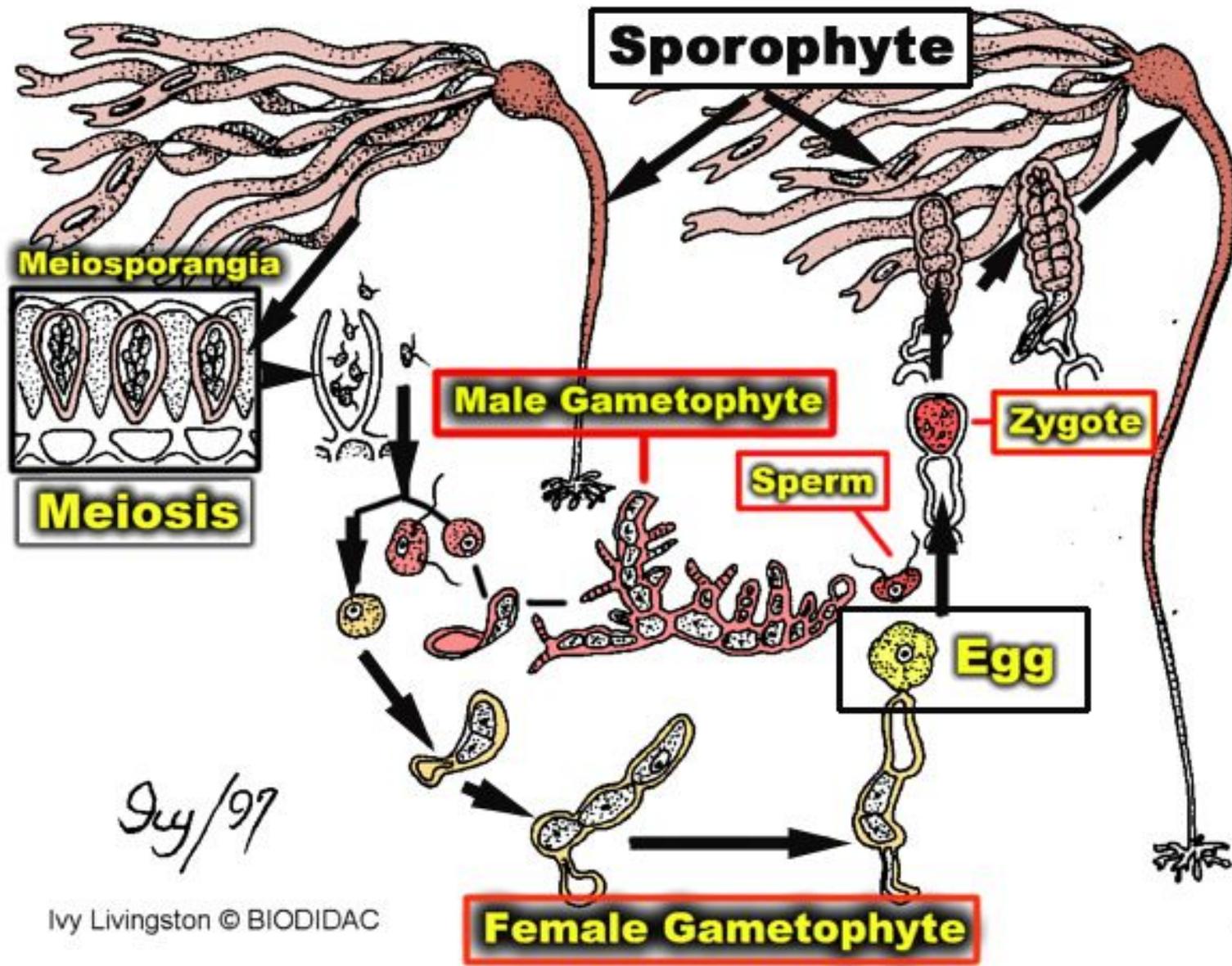
ТЕТРАСПОРОФИТ – диплоидная фаза в цикле развития красных водорослей, взрослые особи с тетраспорангиями, в которых происходит спорический мейоз с образованием 4-х неподвижных тетраспор.

ЦИСТОКАРПИЙ – совокупность карпоспорангиев, собранных в тесную группу, и покрытых оболочкой, образованной из окружающих карпогон клеток.

КОНХОЦЕЛИС-СТАДИЯ ($2n$) –

ШАНТРАНЗИЯ-СТАДИЯ ($2n$) -





9/4/97