

# Хлоропласты



Способность самых разных организмов к фотосинтезу стала камнем преткновения при решении таксономических проблем в ботанике и зоологии.

Для решения этих проблем был предложен таксон **Протисты** (Геккель, 1866), включавший спорные группы простейших (например, эвгленовые), а также другие биологические виды – одноклеточные и многоклеточные со слабой дифференциацией тканей.

- **Протисты** — все эукариоты,  
**не входящие** в состав групп  
«Высшие зелёные растения»,  
«Многоклеточные животные»,  
«Высшие грибы»

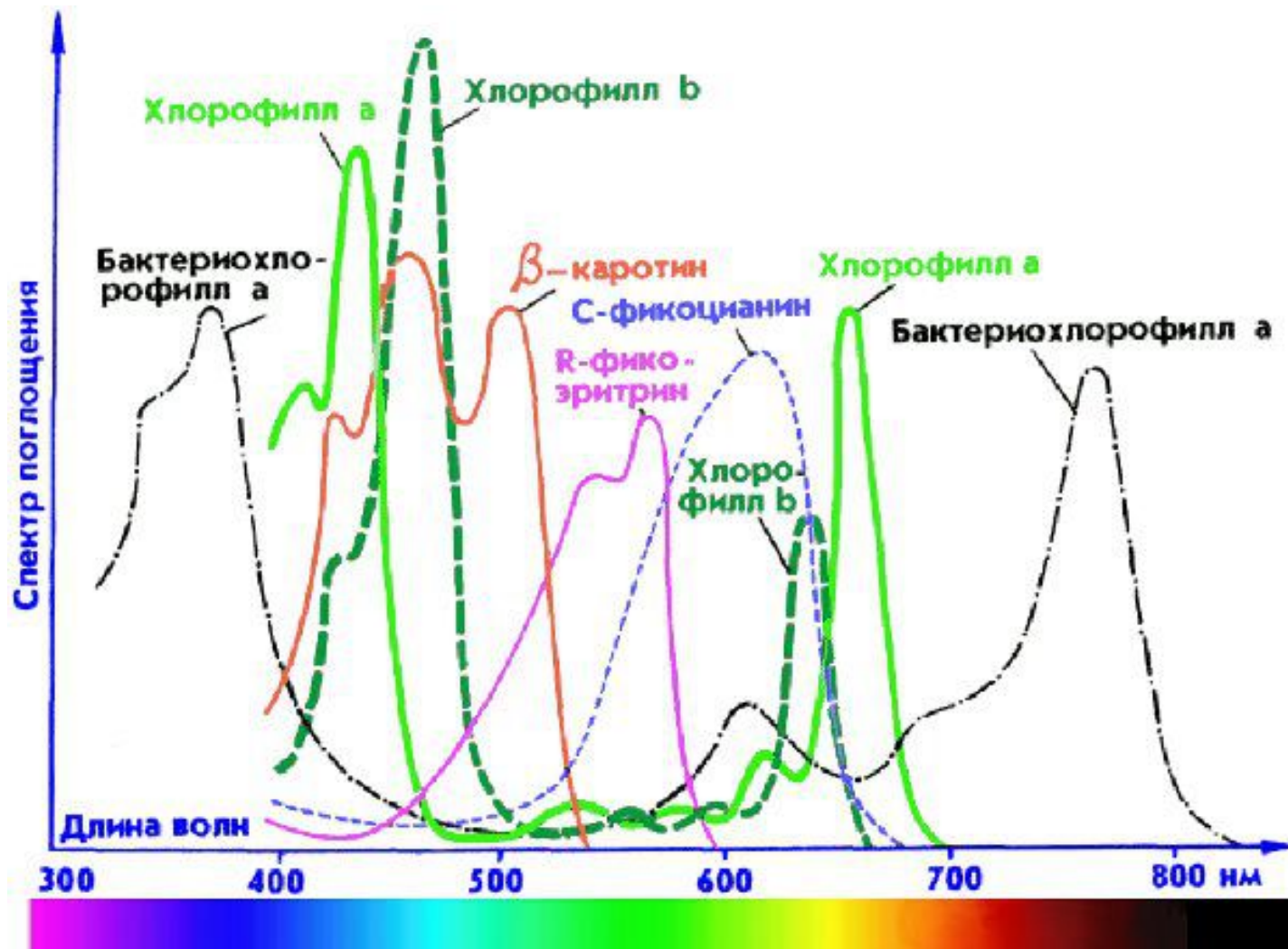
# Экологические группы протистов:

- **«растениевидные»** (способные к фотосинтезу);
- **«грибоподобные»** (преимущественно осмотрофные, т.е. «всасывающие»)
- **«животноподобные»**  
(преимущественно фагоцитирующие)

## Фотосинтез

<b>аноксигенный</b> - без выделения кислорода		<b>оксигенный</b> - с выделением кислорода
бесхлорофильный	хлорофильный	
археи - галобактерии	пурпурные бактерии, зелёные бактерии, гелиобактерии	цианобактерии, эукариоты
пигмент - бактериородопсин	пигменты - бактериохлорофиллы	пигменты — хлорофиллы, фикобилины, каротиноиды

# Спектры поглощения света пигментами, участвующими в фотосинтезе





# Хлоропласты растений

*кольцевая хпДНК (до 40 копий) кодирует*

*около 120 генов:*

- гены всех 4 рибосомных РНК, до 35 молекул тРНК, 20 (из 60) рибосомных белков хлоропластов;
- гены некоторых субъединиц РНК-полимеразы;
- гены белков I и II фотосистем, 9 из 12 субъединиц АТФ-синтетазы;
- гены части белков комплексов цепи переноса электронов;
- гены большой цепи «рубиско» – ключевого фермента связывания  $\text{CO}_2$ ;
- гены 40 белков с неизвестными функциями.

# Хлоропласты

*могут до 100 часов жить в искусственной среде,*

*при этом:*

- успешно фотосинтезируют;
- синтезируют РНК;
- в первые сутки продолжают делиться.

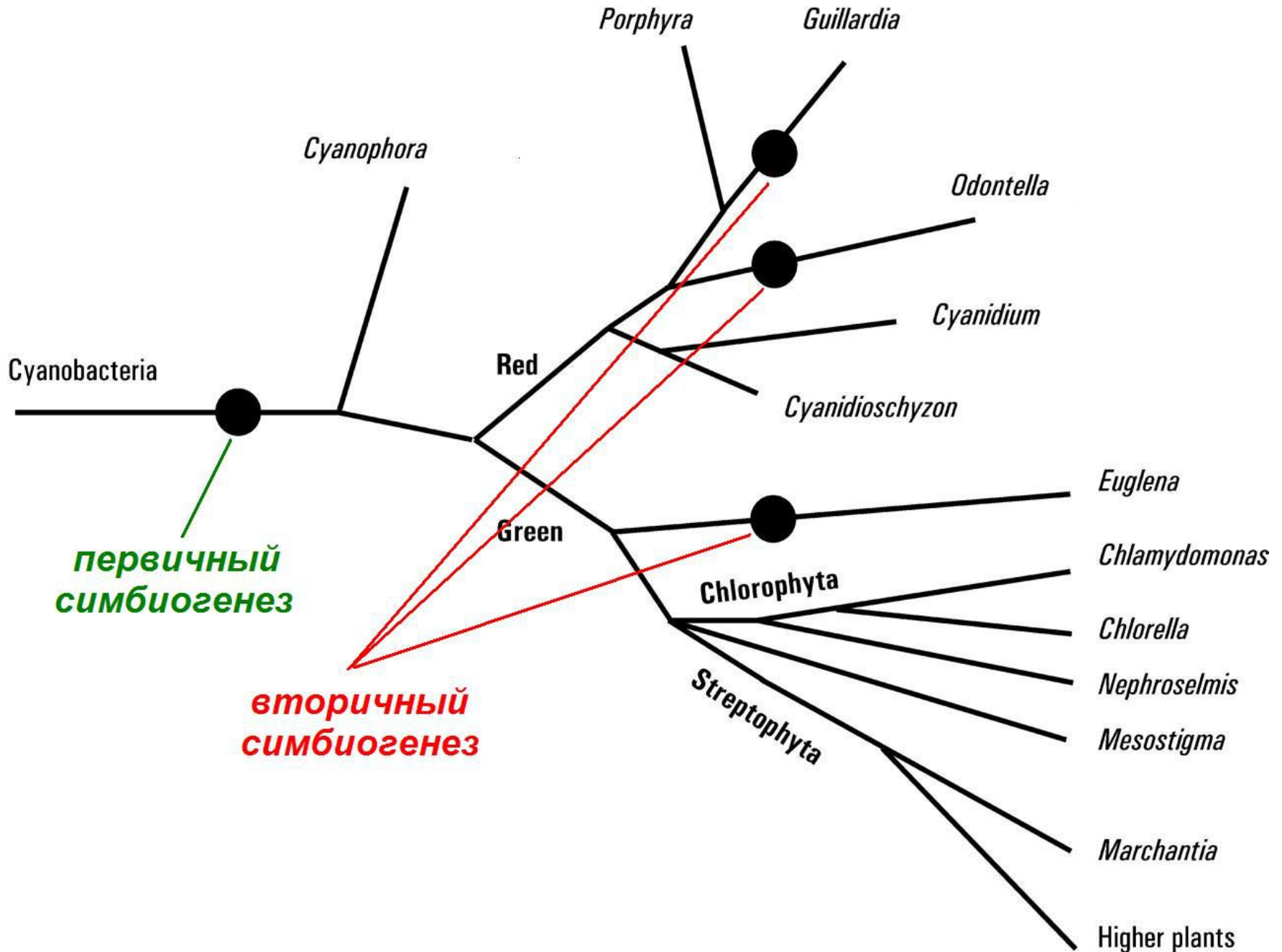


# Хлоропласты

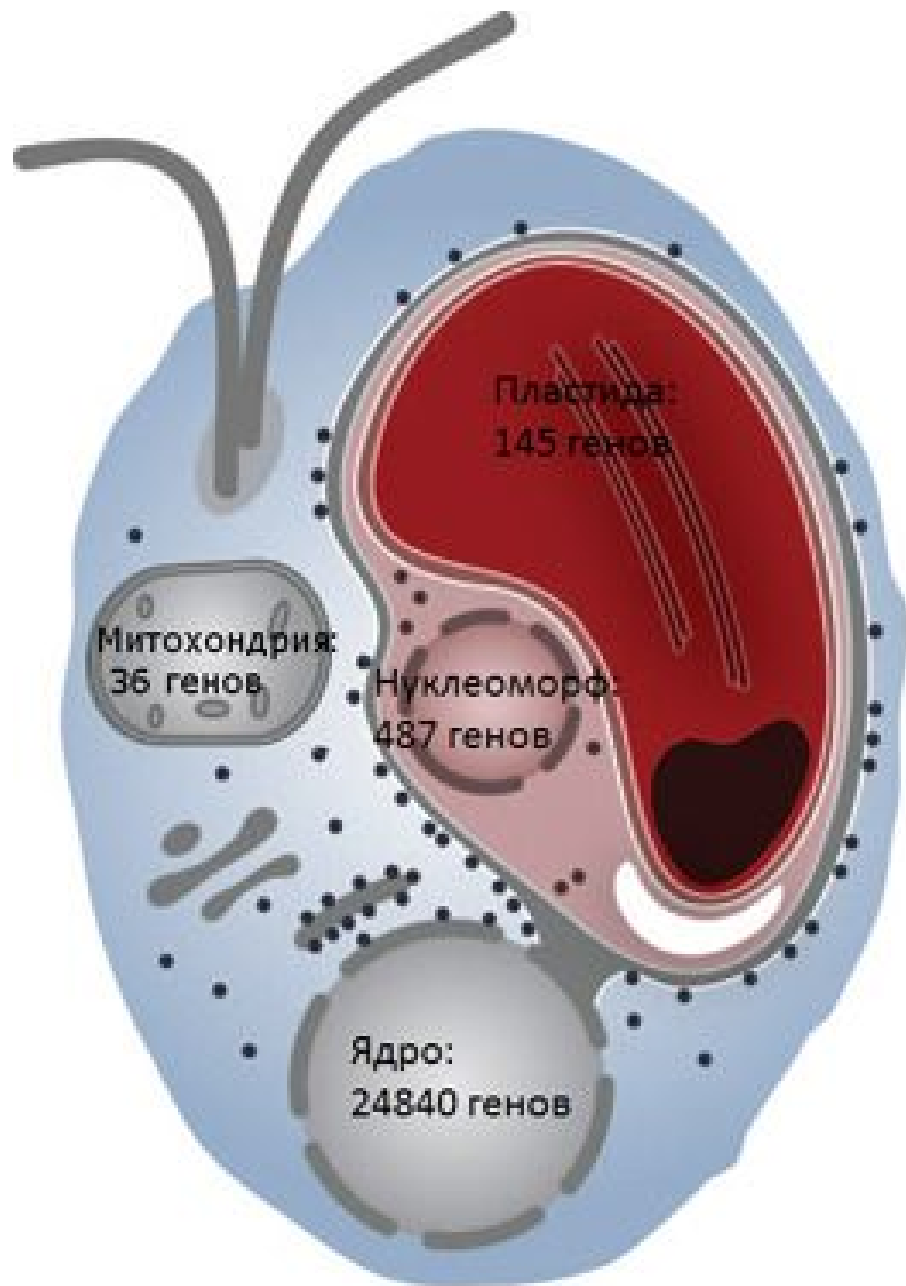


могут много месяцев жить и «работать» внутри чужих организмов (клеттопластия)

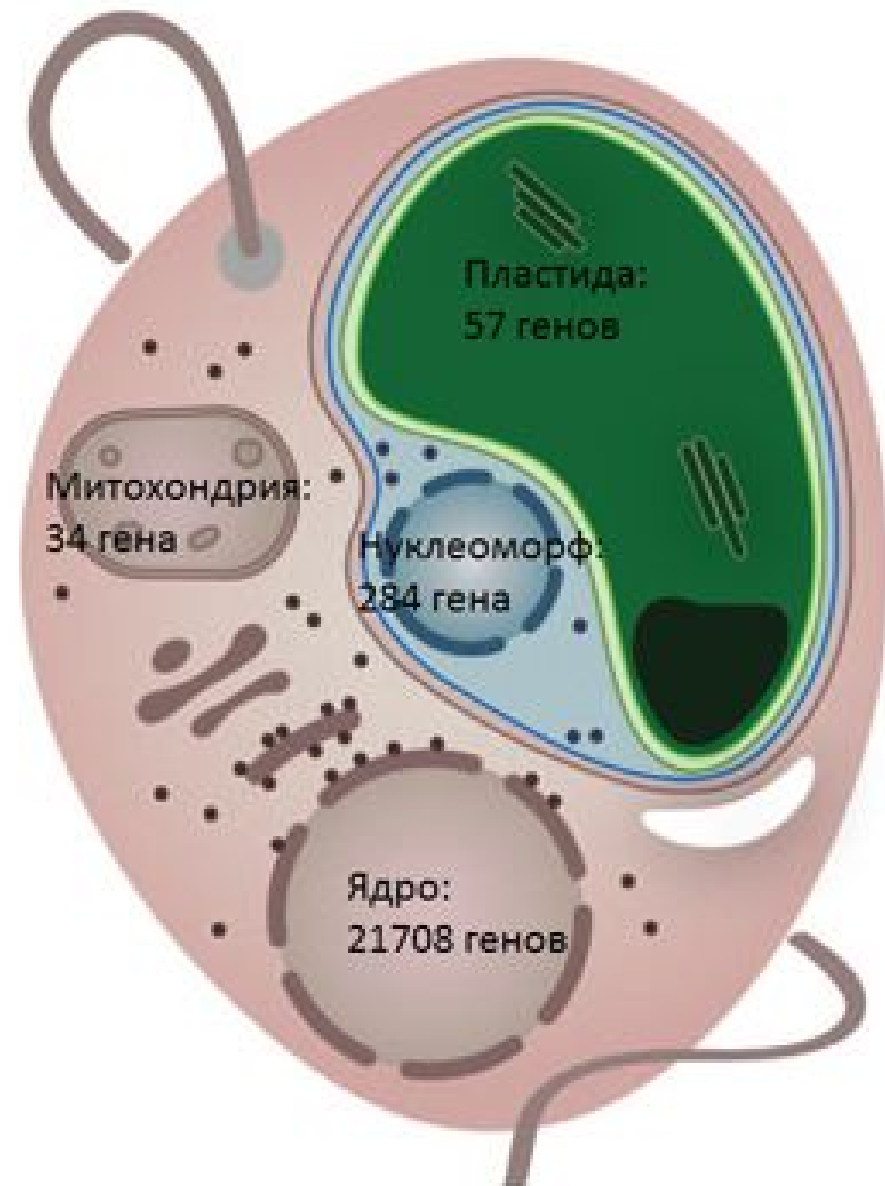
# Филогения пластид



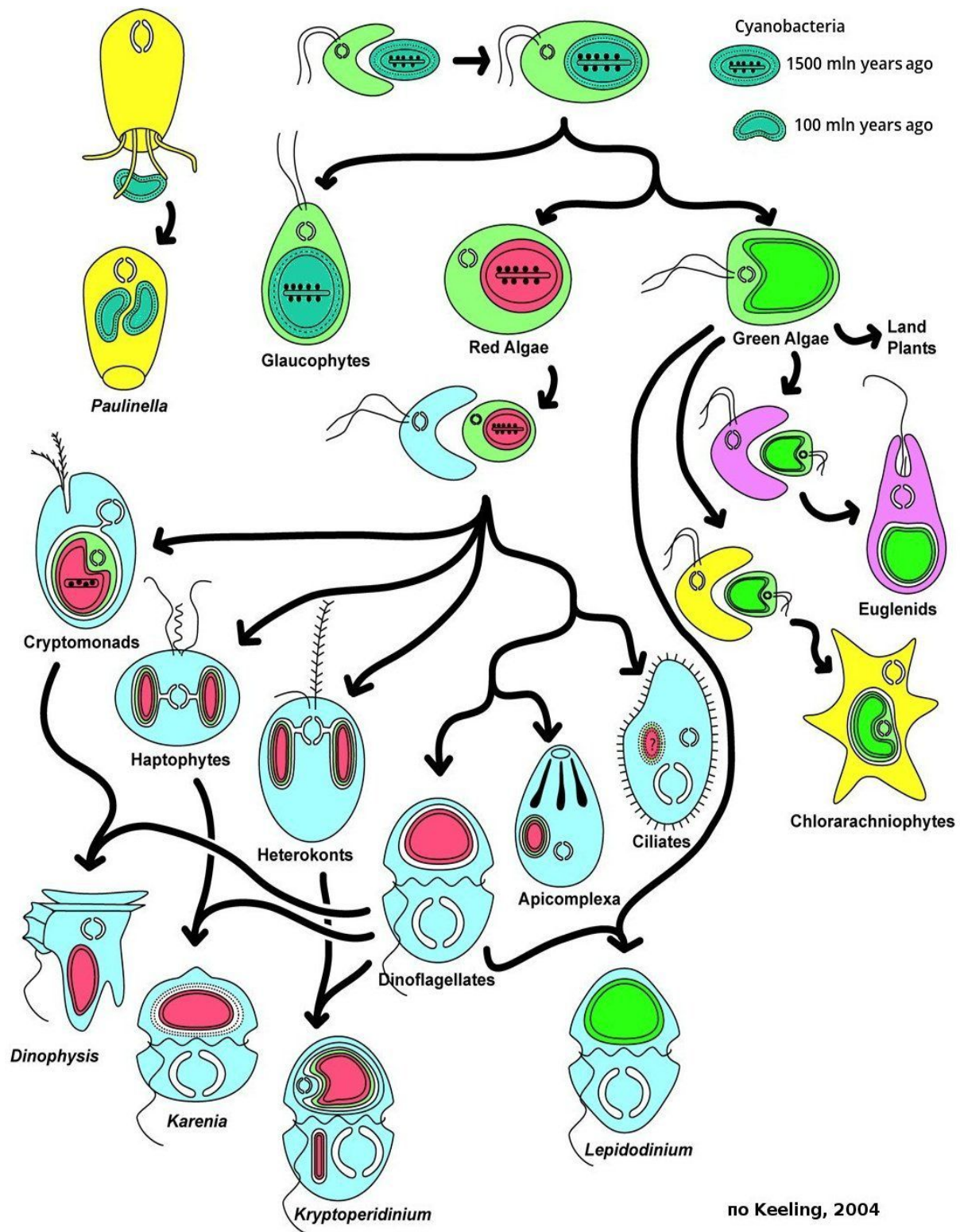
# Вторичный эндосимбиогенез (по Curtis et al., 2012)



Криптофитовая водоросль *Guillardia theta*



Хлорарахниофитовая водоросль *Bigelowiella natans*



первичный симбиогенез

вторичный симбиогенез

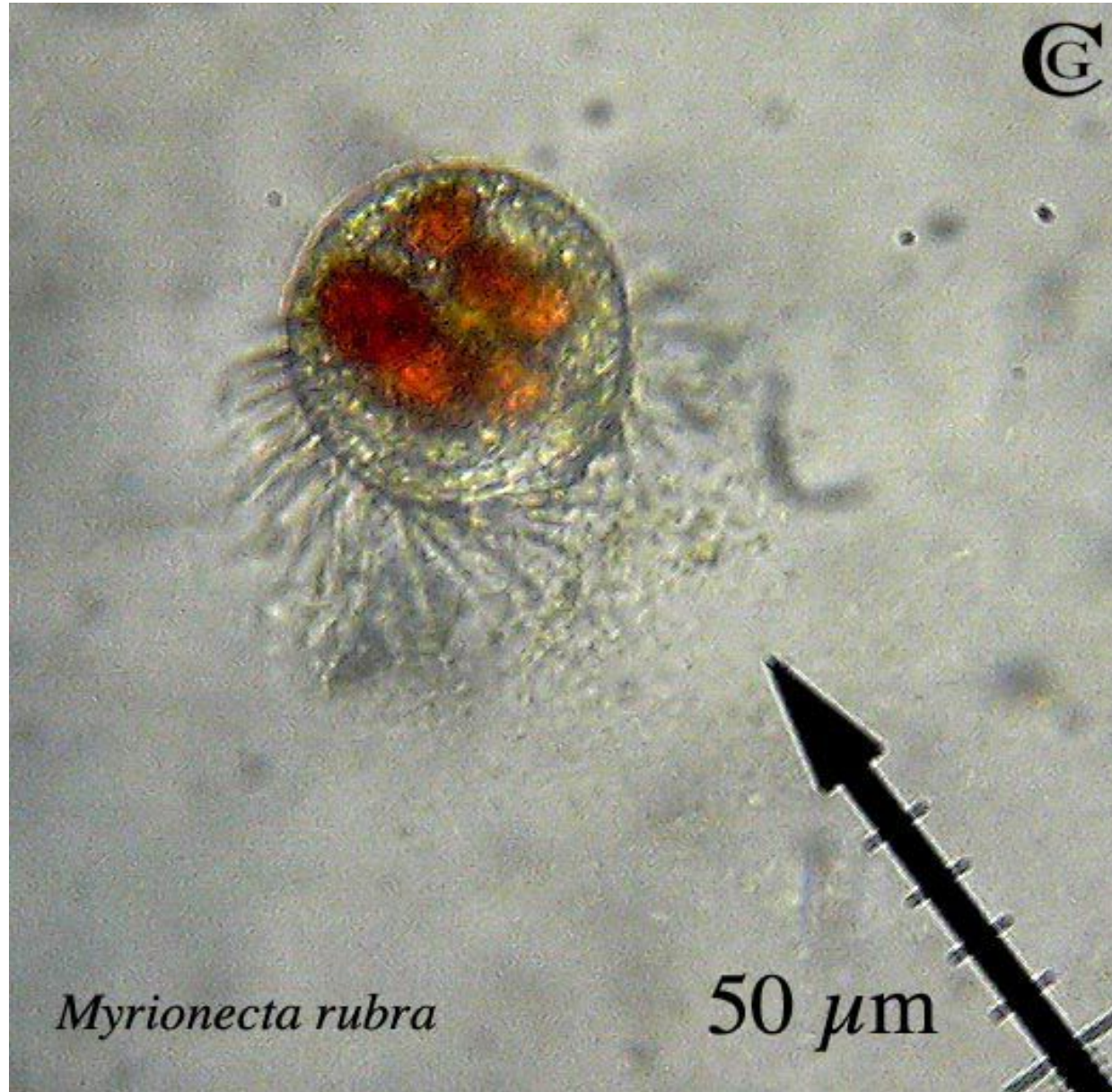
третичный симбиогенез

по Keeling, 2004

Эволюция пластид

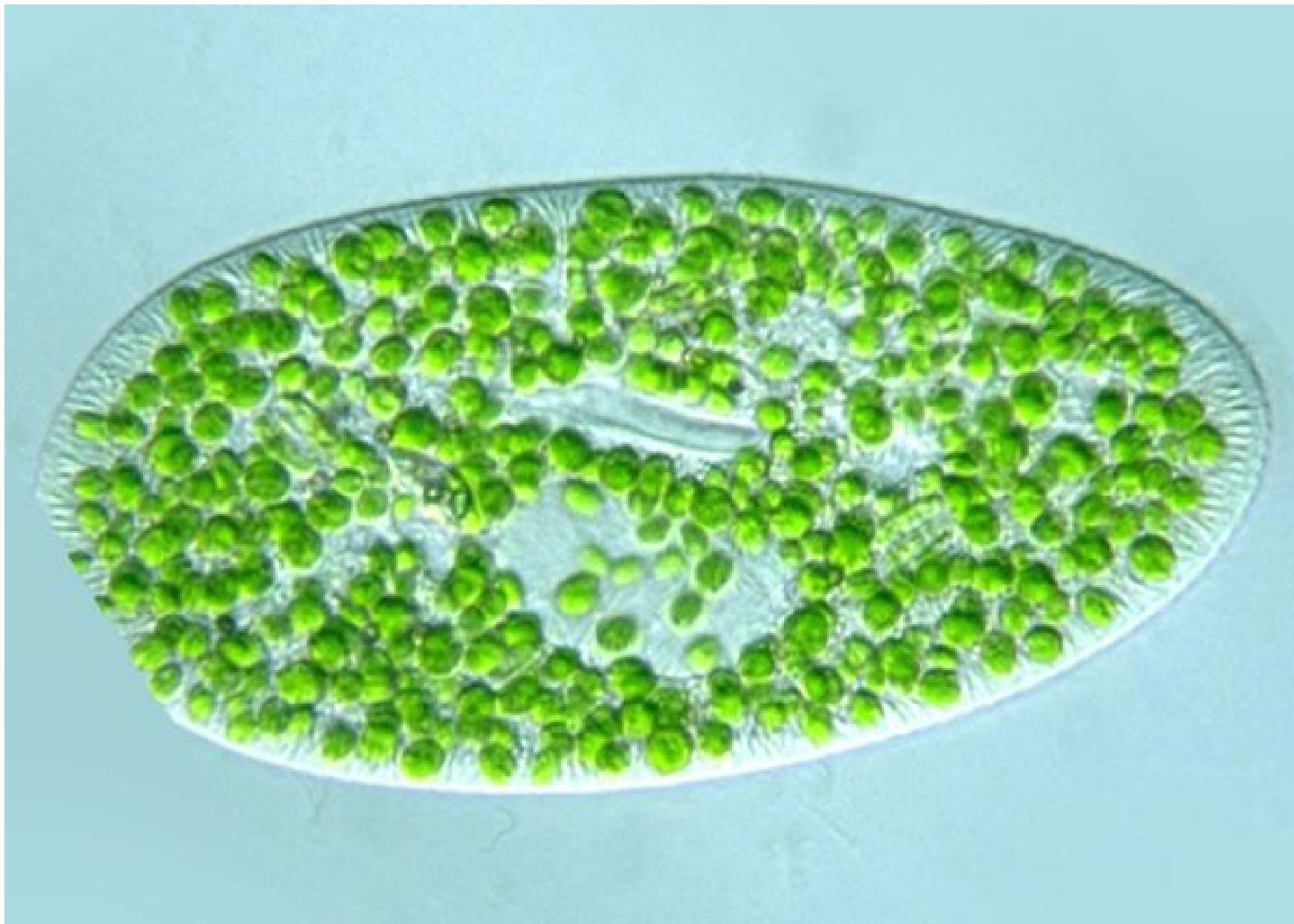


# Инфузория захватывает хлоропласты криптофитовых водорослей (клеттопластия)

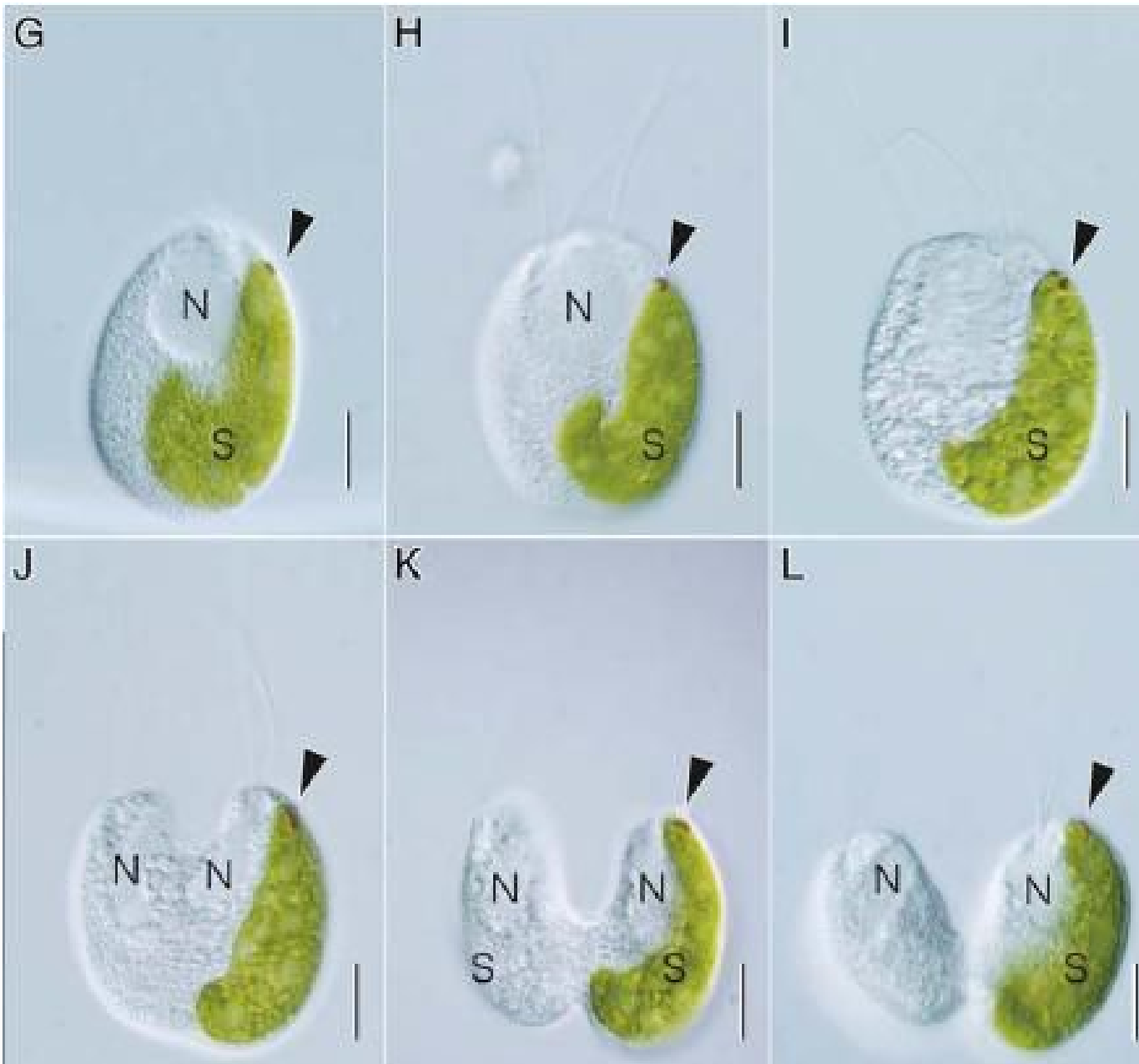


Хлорелла в цитоплазме инфузории

*Paramecium bursaria*



# катаблефариды *Hatena arenicola*



N – ядро,  
S – симбионт  
(зелёная  
водоросль  
*Nephroselmis*),  
стрелка  
указывает на  
стигму (глазок),  
шкала 10  $\mu\text{m}$

из Okamoto,  
Inouye, 2006



## Фотосинтез

В том или ином виде может идти у организмов, относящихся практически к любому царству эукариот и прокариот.

# (царство) Археопластиды *Archaeplastida* Adl et al., 2005

- *Глаукофитовые водоросли*: пластида - цианелла;
- *Красные водоросли*: нет жгутиковых стадий;
- *Зелёные водоросли*: частые эндосимбионты
- *Харовые водоросли*: высокий уровень организации
- Высшие зелёные растения = Эмбриофиты

# Цианеллы в клетке глаукоцистиса

*(от цианобактерии сохранилась клеточная стенка из пептидогликана-муреина)*





# Rhodophyta – Красные водоросли



***Chondrus crispus*** – «Ирландский мох»

# Chlorophyta – Зелёные водоросли

Вольвокс, хлорелла, хламидомонада и др.



*Chlamydomonas  
nivalis*



# Астаксантин

(E161j)

- красный пигмент каротиноид (ксантофил), более насыщенный кислородом, чем  $\beta$ -каротин.

Содержится во многих водорослях, в т.ч. в составе лишайников.

Придаёт красный цвет мясу лососёвых рыб, крилю, ракам, перьям некоторых птиц.

Добавляют в корм, чтобы придать цвет рыбе.

# Charophyta – Харовые водоросли



Хара



# Растения = Эмбриофиты

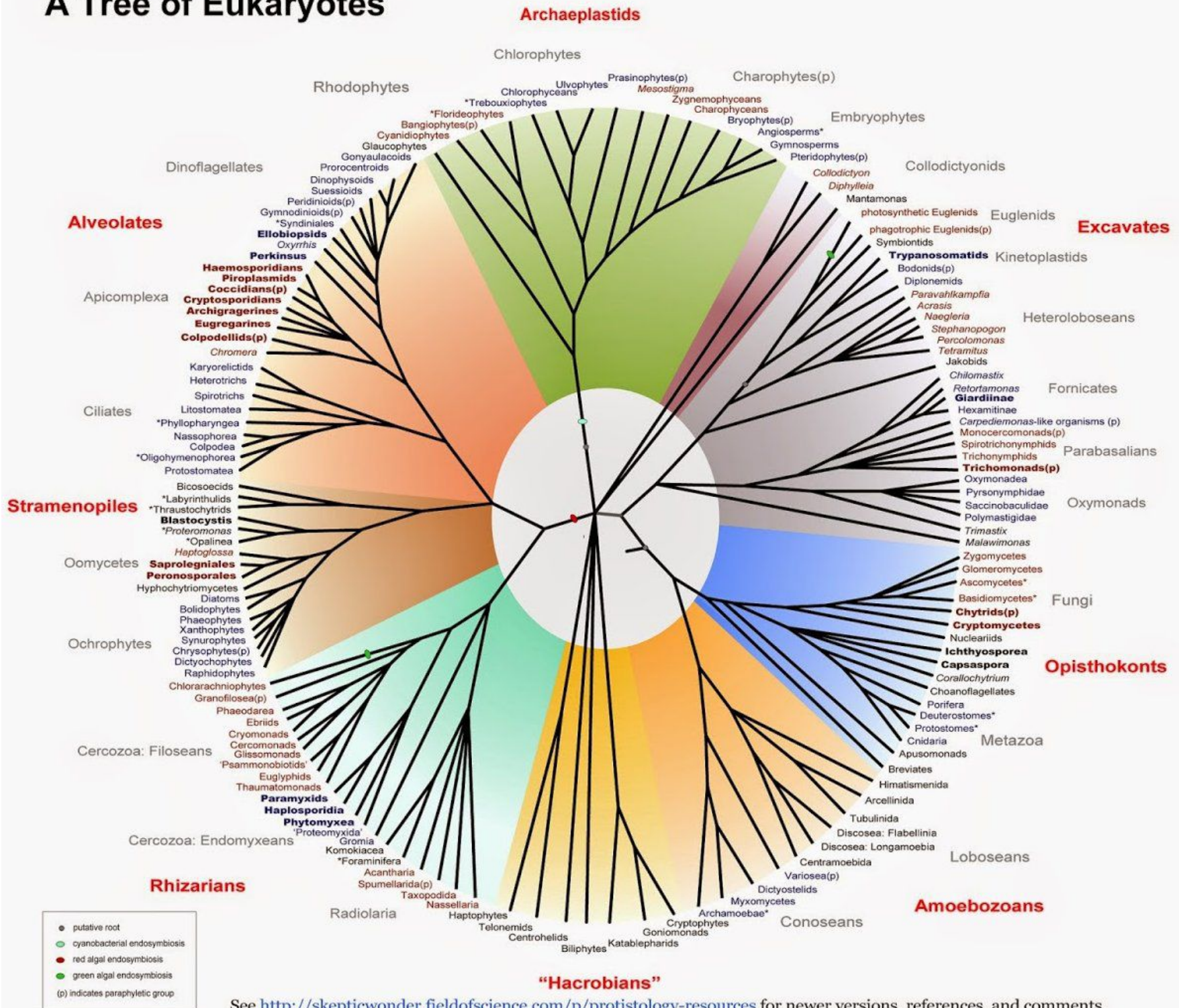


# Пластиды



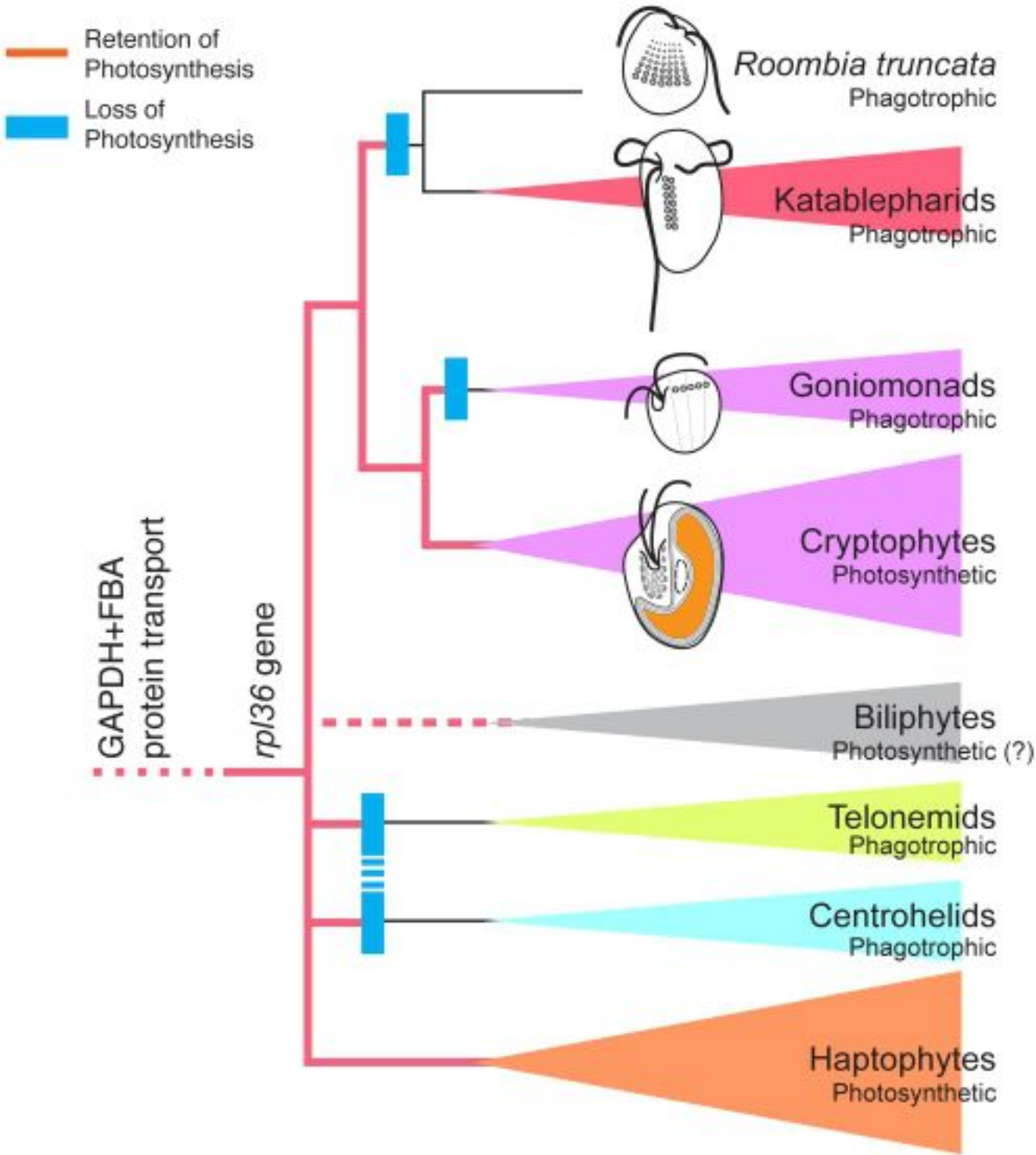


# A Tree of Eukaryotes



## группа (царство) **Хакробии**

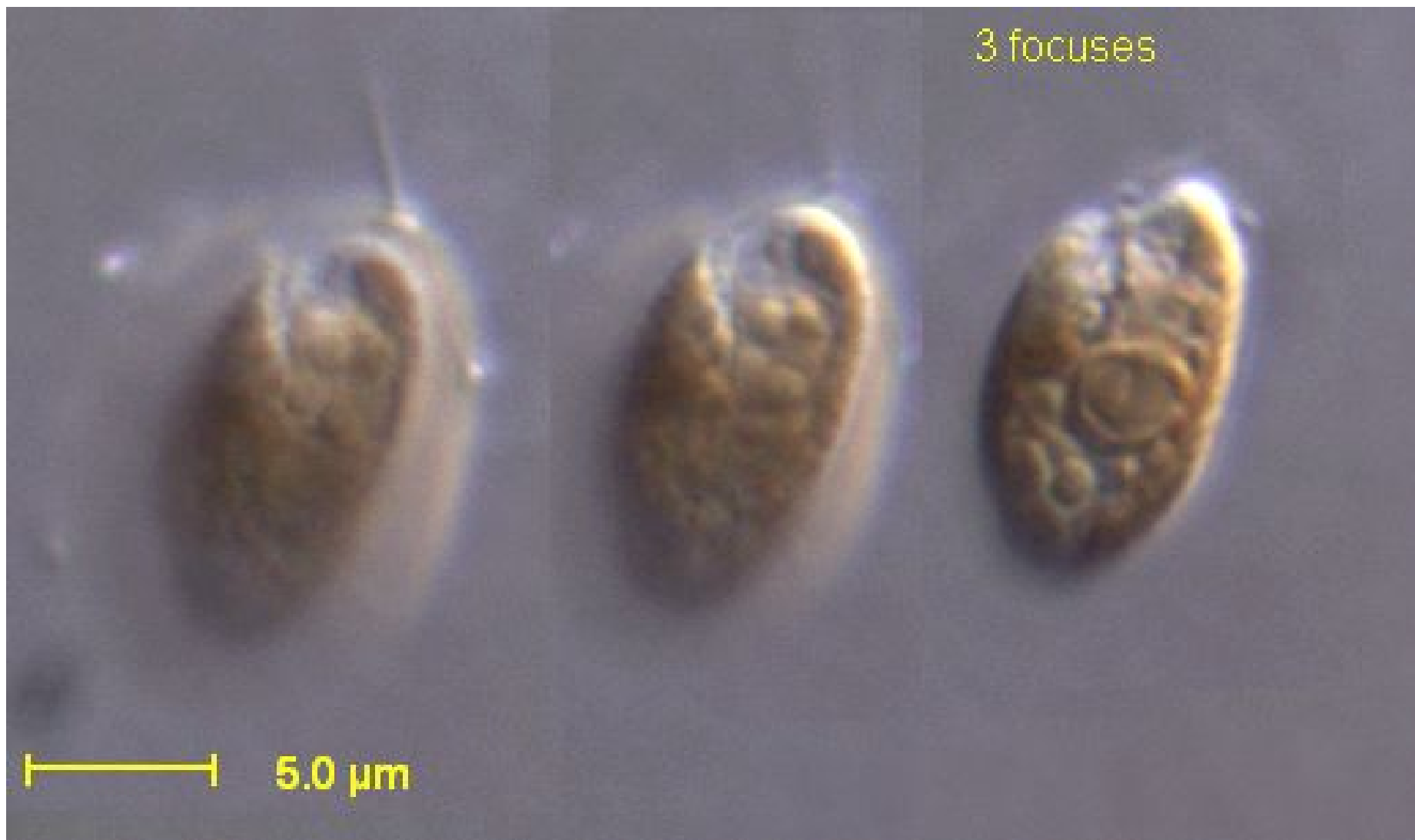
- по одним данным – сестринская группа с **Архепластидами**
- по другим данным – входит в состав **Хромальвеолат**
- возможно, занимает промежуточное положение между амёбозоями и SAR (страменопилы-альвеоляты-ризарии)



Hacrobia

из Okamoto et al., 2009

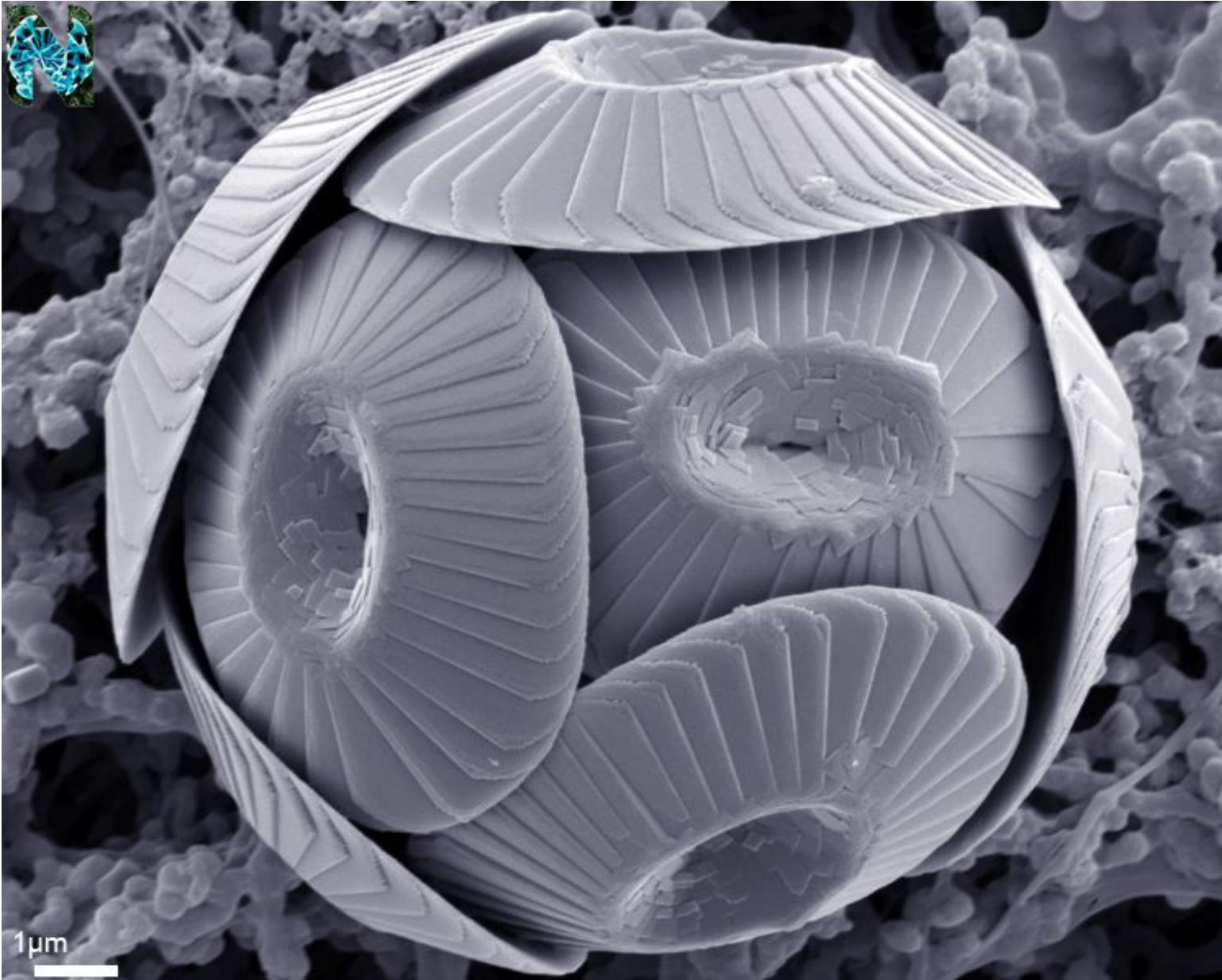
# (тип) Крeптофитовые = Крeптомонады



*Rhodomonas salina*



# (тип) Гаптофитовые



*Coccolithus  
pelagicus*



# (царство) **Экскаваты**

## **Excavata Cavalier-Smith, 2002**

- группа Discoba
  - **Euglenozoa - Эвгленовые**
  - Percolozoa = Heterolobosea
  - Jakobea (Loukozoa)
- группа Metamonada
  - Preaxostyla
  - Fornicata
  - Parabasalia

(подцарство/тип) **Эвгленозои** = Эвгленовые  
(подтип/класс) Эвгленоидеи (Жгутиконосцы)

- (класс/отряд) **Эвглениды**

эвглена, факус (**с хлорофиллом**)

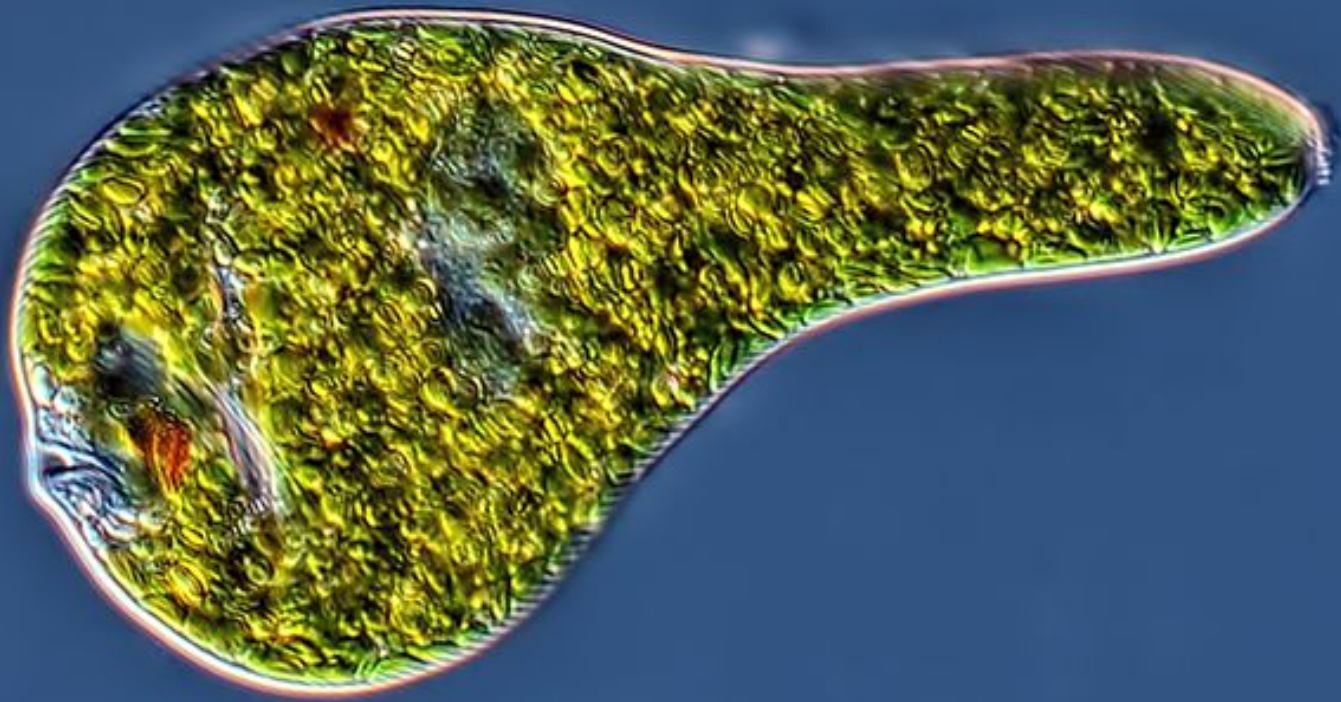
астазия (бесцветная)

- (класс/отряд) **Кинетопластиды**

бодо (свободноживущий)

трипаносома, лейшмания (паразиты)

***Euglena viridis* (Müller) Ehrenberg, 1832**



25  $\mu$ m



***Euglena sanguinea* Ehrenberg, 1830**



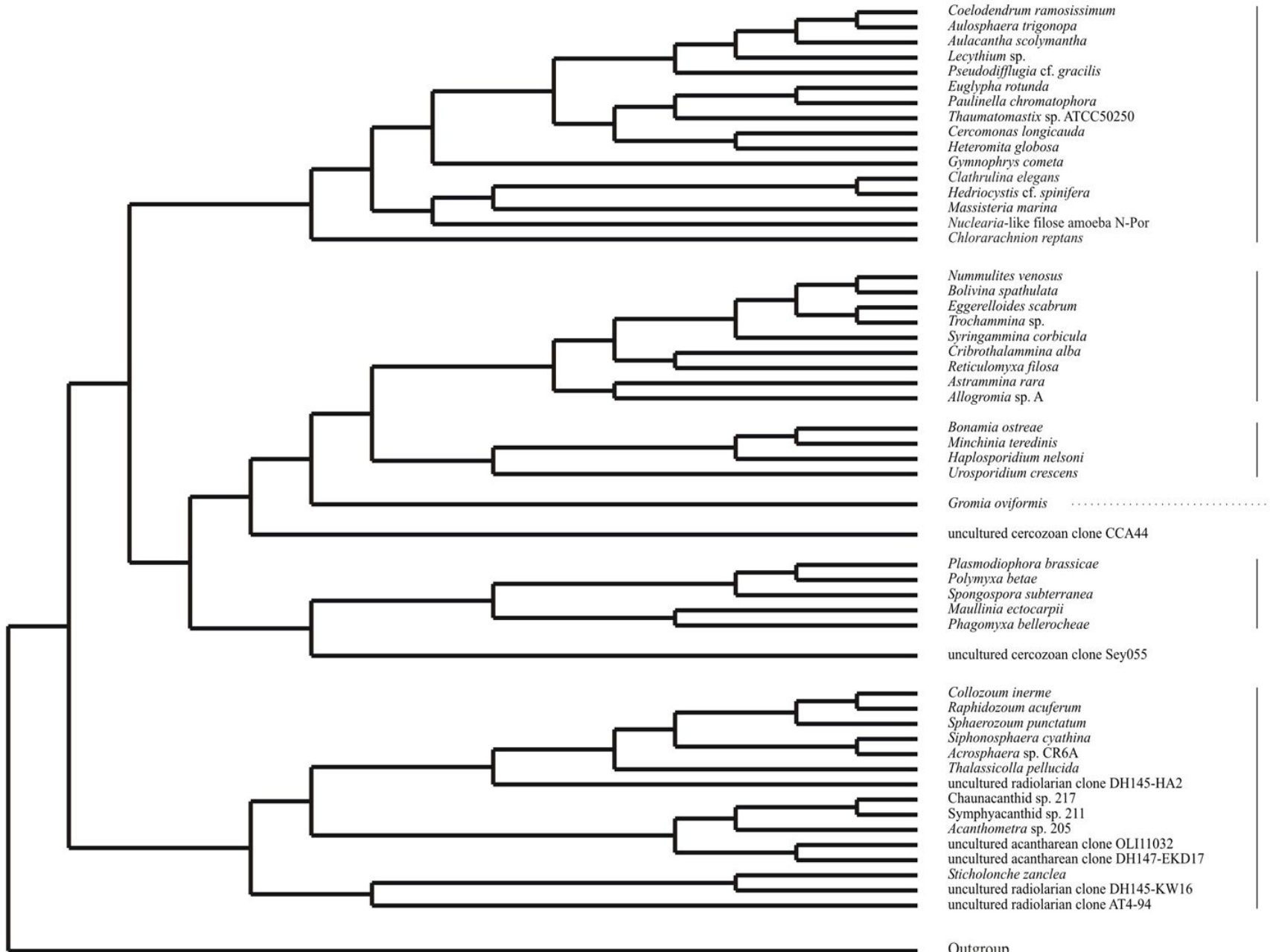


Хлоропласты и пигмент астаксантин могут перемещаться внутри клетки (к центру – к периферии) в зависимости от интенсивности освещения



# (царство/подцарство/тип) Ризарии

## Rhizaria Cavalier-Smith, 2002



*Coelodendrum ramosissimum*  
*Aulosphaera trigonopa*  
*Aulacantha scolymantha*  
*Lecythium* sp.  
*Pseudodifflugia* cf. *gracilis*  
*Euglypha rotunda*  
*Paulinella chromatophora*  
*Thaumatomastix* sp. ATCC50250  
*Cercomonas longicauda*  
*Heteromita globosa*  
*Gymnophrys cometa*  
*Clathrulina elegans*  
*Hedriocystis* cf. *spinifera*  
*Massisteria marina*  
*Nuclearia*-like filose amoeba N-Por  
*Chlorarachnion reptans*

**core Cercozoa**

*Nummulites venosus*  
*Bolivina spathulata*  
*Eggerelloides scabrum*  
*Trochammina* sp.  
*Syringammina corbicula*  
*Cribrorhammina alba*  
*Reticulomyxa filosa*  
*Astrammina rara*  
*Allogromia* sp. A

**Foraminifera**

*Bonamia ostreae*  
*Minchinia teredinis*  
*Haplosporidium nelsoni*  
*Urosporidium crescens*

**Haplosporidia**  
**Gromiidae**

*Gromia oviformis* .....  
 uncultured cercozoan clone CCA44

*Plasmodiophora brassicae*  
*Polymyxa betae*  
*Spongospora subterranea*  
*Maulinia ectocarpii*  
*Phagomyxa bellerocheae*

**Phytoomyxea**

uncultured cercozoan clone Sey055

*Collozoum inerme*  
*Raphidozoum acuferum*  
*Sphaerozoum punctatum*  
*Siphonosphaera cyathina*  
*Acrosphaera* sp. CR6A  
*Thalassicolla pellucida*  
 uncultured radiolarian clone DH145-HA2  
*Chaunacanthid* sp. 217  
*Symphycanthid* sp. 211  
*Acanthometra* sp. 205  
 uncultured acantharean clone OLI11032  
 uncultured acantharean clone DH147-EKD17  
*Sticholonche zanzlea*  
 uncultured radiolarian clone DH145-KW16  
 uncultured radiolarian clone AT4-94

**Radiolaria**

Outgroup

# Cercozoa

*Paulinella chromatophora* получила хлоропласты непосредственно от цианобактерий





# Хромальвеоляты

- Гетероконты = Страменофилы
- Альвеоляты (Альвеолаты)

(царство/подцарство/тип)

# Гетероконты = Страменофилы

**Heterokonta Cavalier-Smith, 1986**

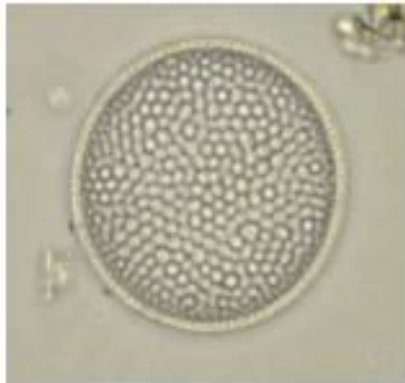
- Отдел Bigyra (опалины и др.)
- Отдел Oomycota — Оомикота
- Отдел Ochrophyta — Охрофиты

# Охрофиты

- Золотистые водоросли
- Жёлто-зелёные водоросли
  - Бурые водоросли
- Диатомовые водоросли и др.

# Heterokontophyta Diatomeae (Bacillariophyceae) - kremenaste alge

## Centrales



*Cyclotella sp.*



*Melosira sp.* s HCl



*Melosira sp.*

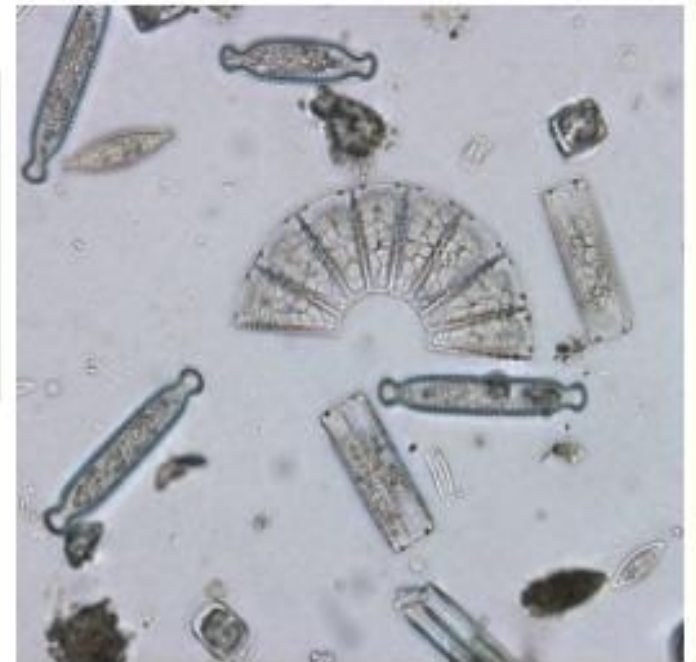
## Pennales



*Cymbella sp.*



*Pennales*, pritrjena



*Meridion sp.*, *Tabellaria sp.*



*Cocconeis sp.* na zeleni algi



(царство/подцарство/тип)

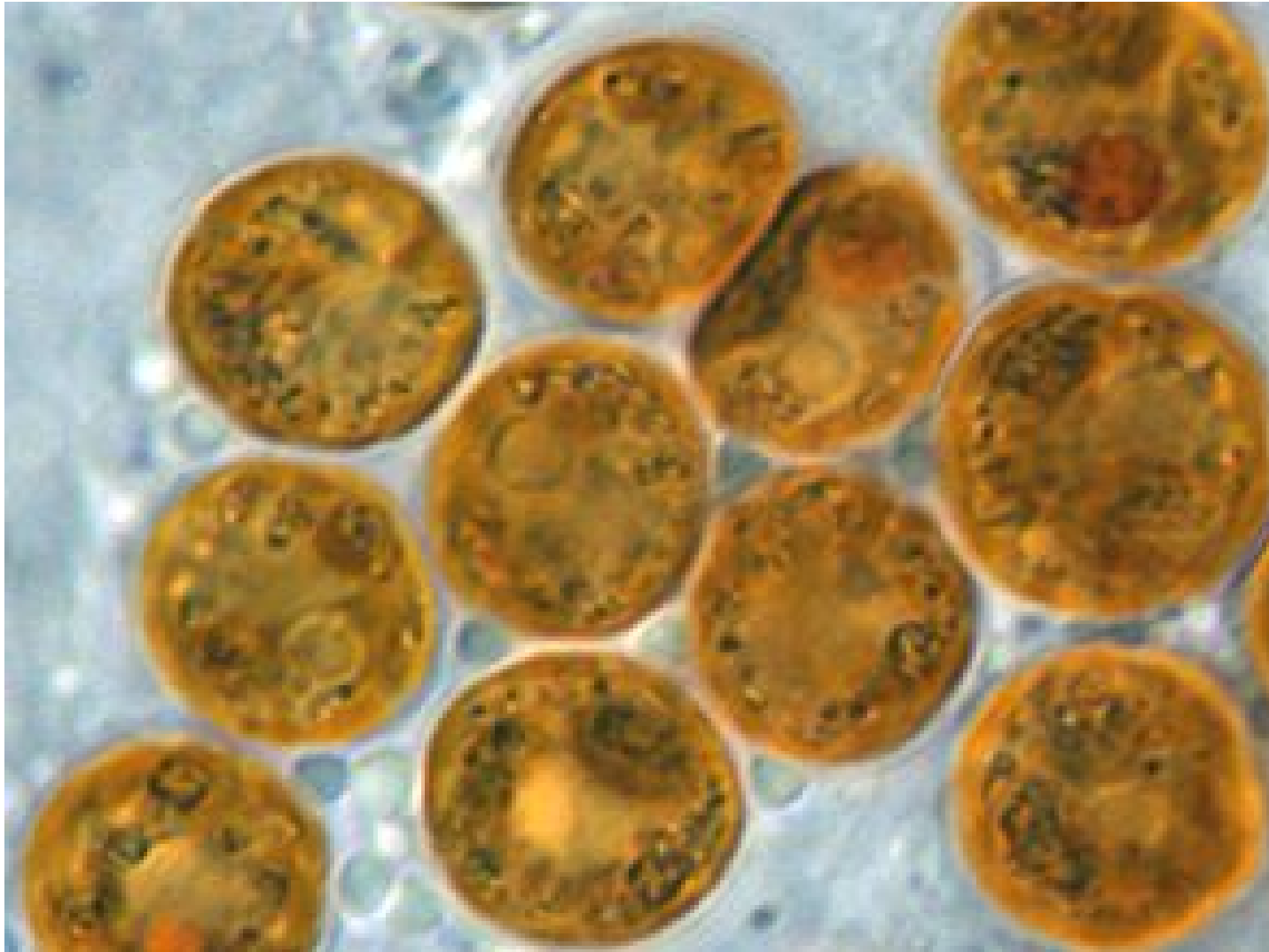
## **Альвеоляты**

**Alveolata Cavalier-Smith, 1991**

*типы*

- Инфузории (Ciliophora)
- Апикомплексы (Apicomplexa) = Споровики
- **Динофлагелляты (Dinoflagellata)**

# Динофлагелляты



зооксантелла = *Symbiodinium*

# Ночесветка - *Noctiluca scintillans*



## ССЫЛКИ:

- [elementy.ru](http://elementy.ru)
- [evolbiol.ru](http://evolbiol.ru)
- [dic.academic.ru](http://dic.academic.ru)
- [wikipedia.org](http://wikipedia.org)



Спасибо за внимание!

