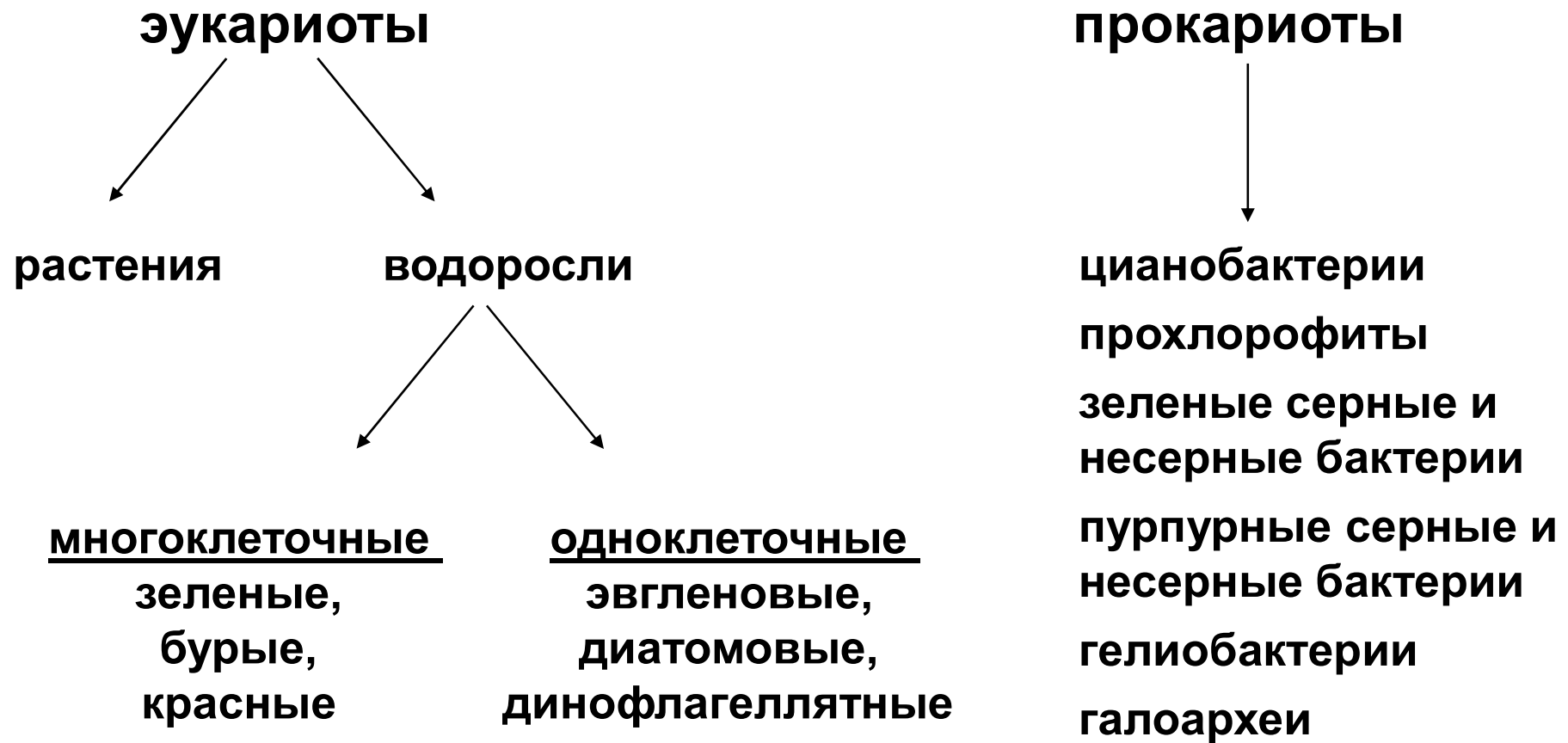


Фотосинтез у микроорганизмов

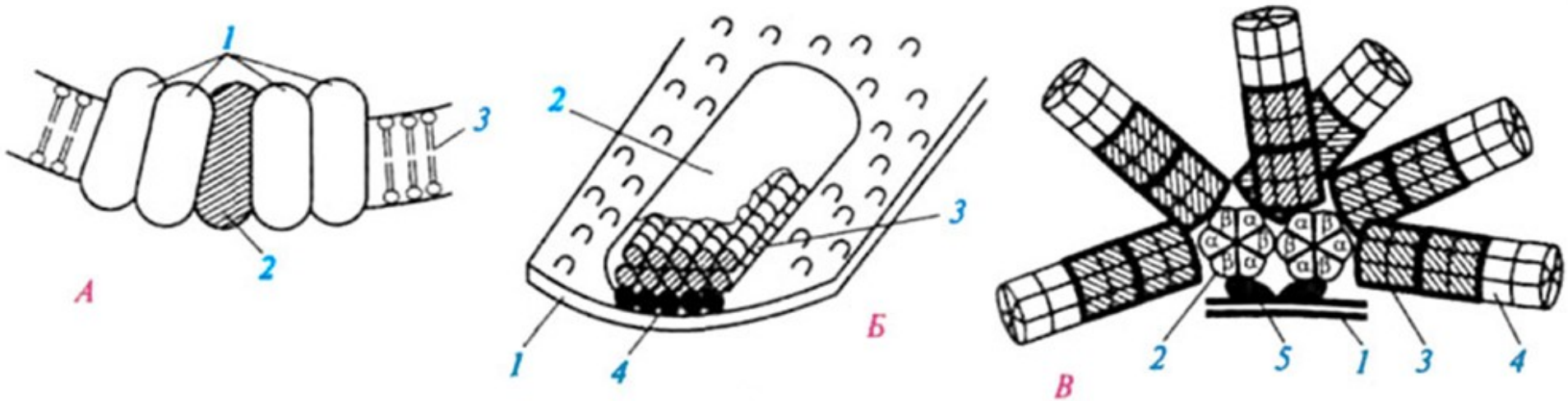
Фотосинтез

– процесс, в котором световая энергия поглощается и преобразовывается в химическую энергию.



Мембранные структуры

фотосинтетического аппарата бактерий



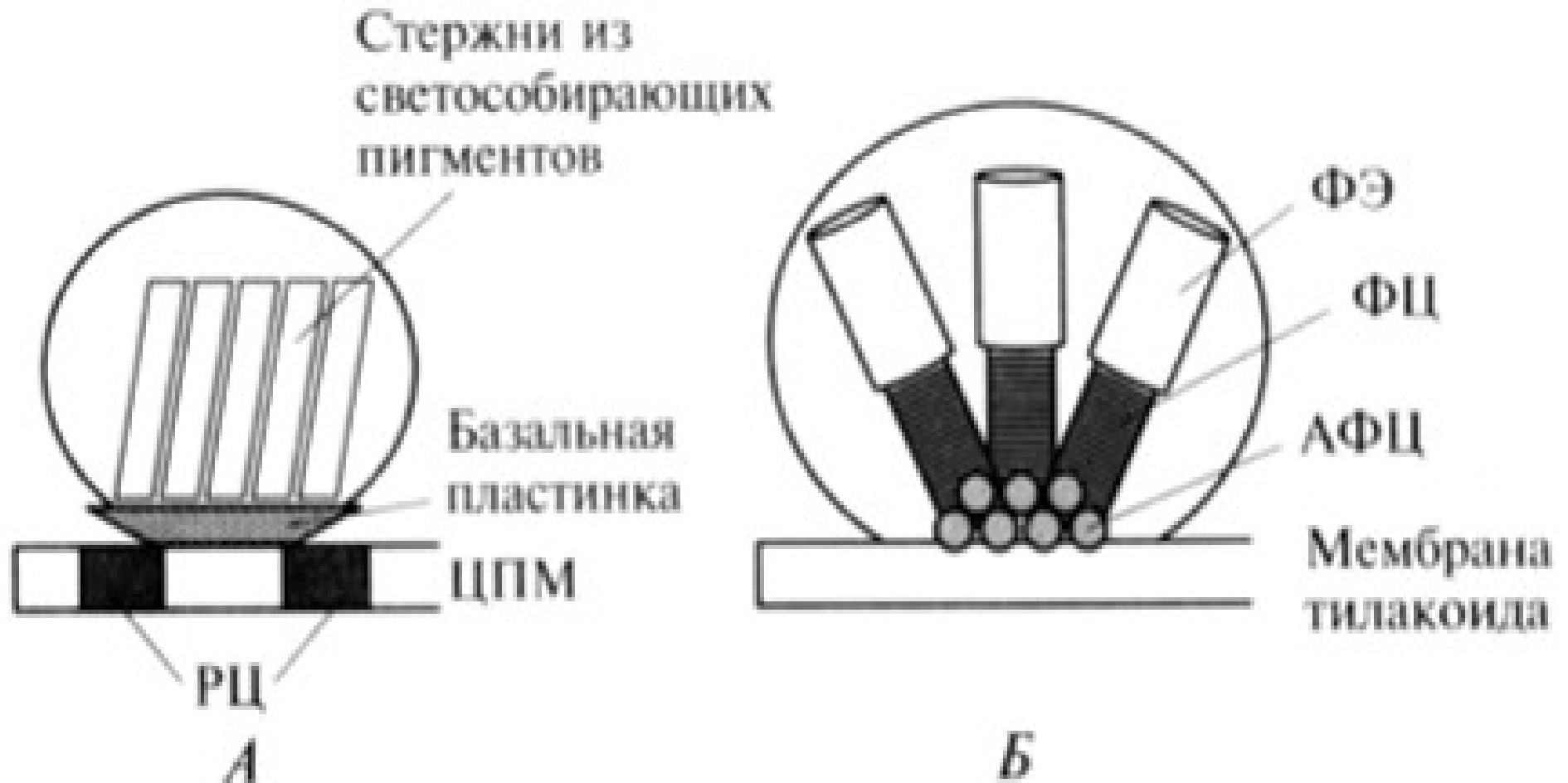
А — локализованные в мембране светособирающие комплексы пурпурных бактерий: 1 — светособирающие пигментбелковые комплексы; 2 — реакционный центр; 3 — мембрана;

Б — модель хлоросомы зеленых бактерий: 1 — ЦПМ ; 2 — хлоросома; 3 — палочковидные структуры, образованные молекулами бактериохлорофилла с, d или e; 4 — слой молекул бактериохлорофилла а;

В — модель типичной фикобилисомы цианобактерий: 1 — мембрана тилакоида; 2 — аллофикоцианиновое ядро; 3 — фикоцианин; 4 — фикоэритрин; 5 — белок, обеспечивающий прикрепление фикобилисомы к тилакоидной мембране.

Мембранные структуры

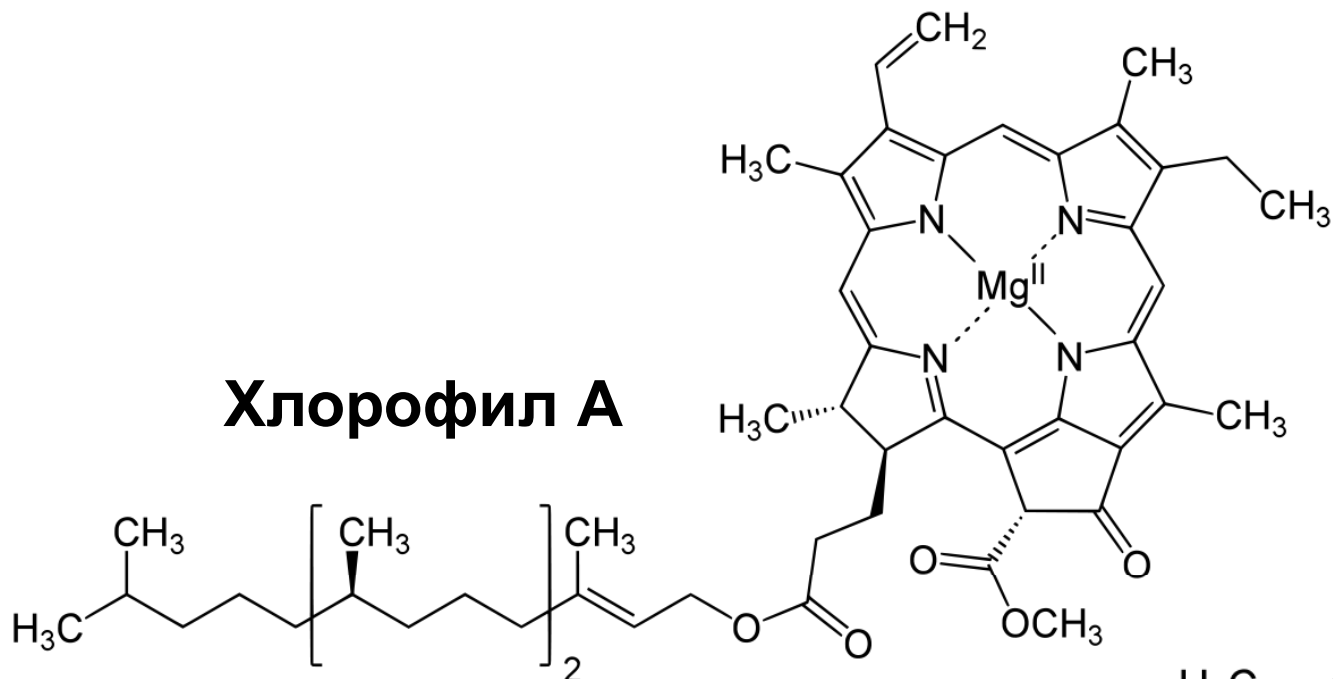
фотосинтетического аппарата у зеленых бактерий (*А* – хлоросома) и цианобактерий (*Б* – фикобилисома)



РЦ – реакционный центр, АФЦ – аллофикоцианин, ФЦ – фикоцианин, ФЭ – фикоэритрин

Структура основных фотосинтетических пигментов

Хлорофил А



Хлорофил Б

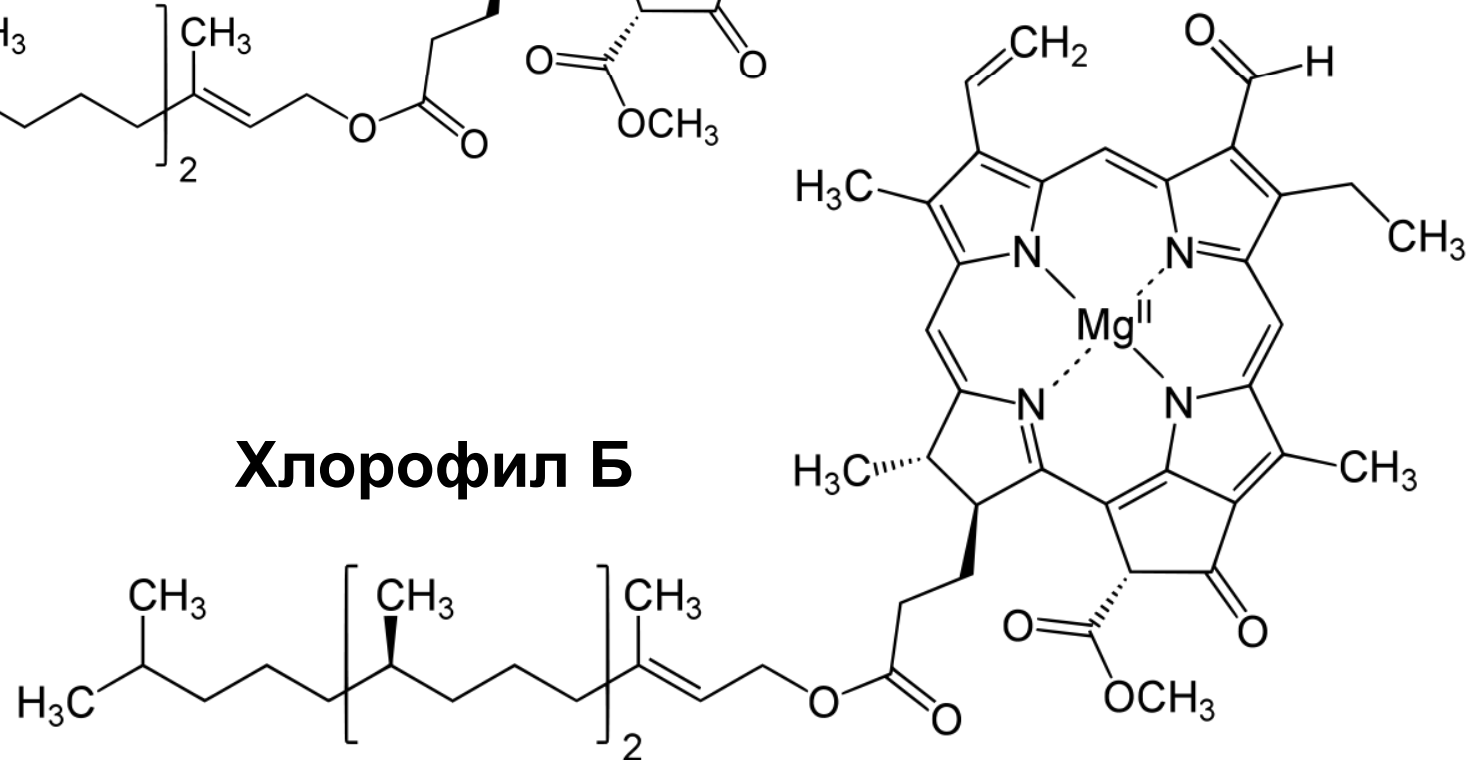


Схема световых реакций фотосинтеза у эукариот и цианобактерий

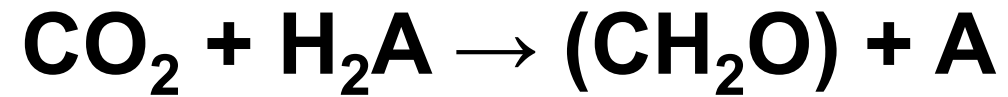
Фео – феофитин;
 Q – хинон;
 PQ – пластохинон;
 PC – пластоцианин;
 Хл А – хлорофилл А;
 Фд – ферредоксин

-----> циклический путь

—> нециклический путь



Общий вид уравнения фотосинтеза



Транспорт электронов при фотосинтезе

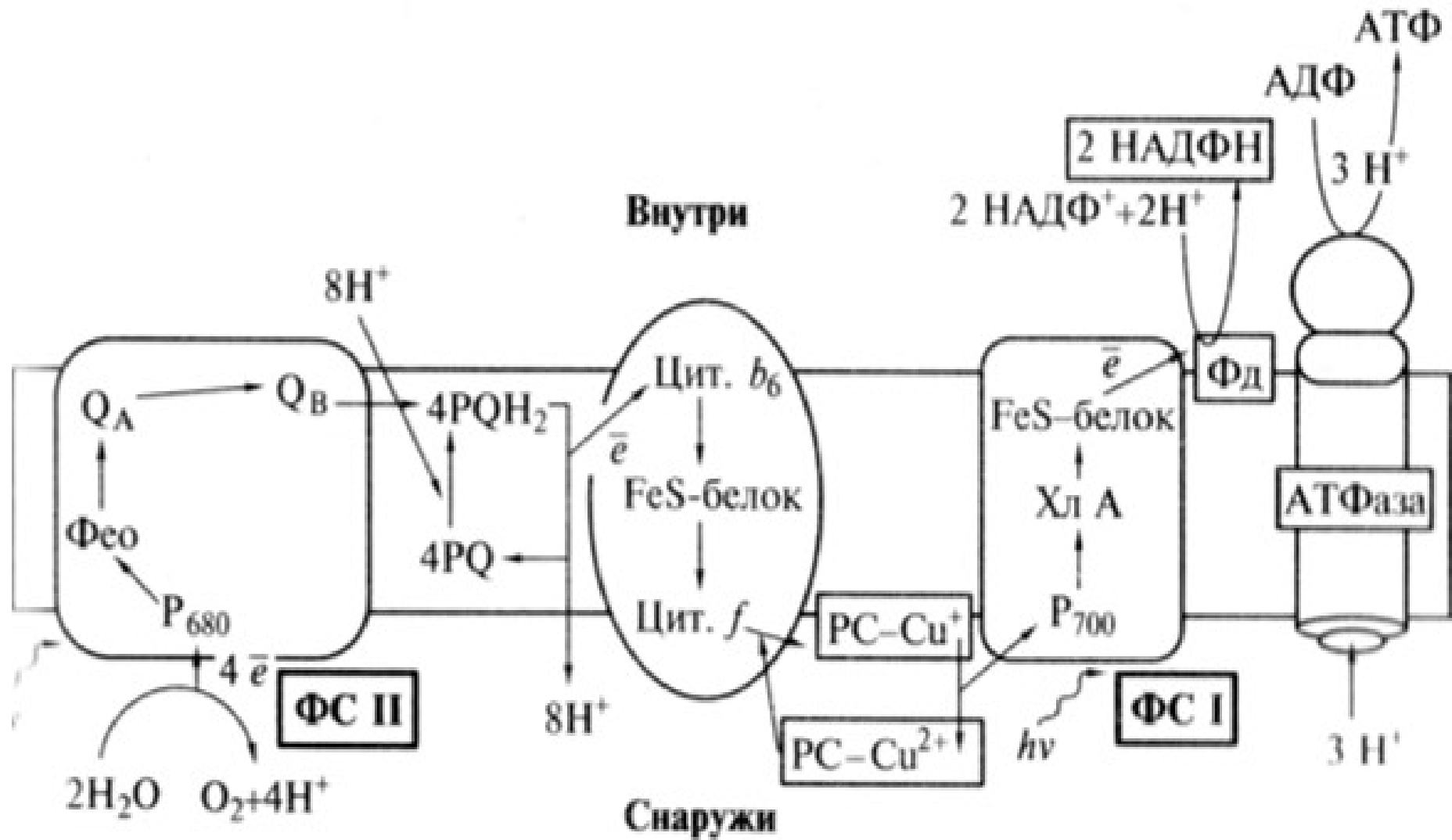


Схема фотосинтеза у пурпурных несерных бактерий

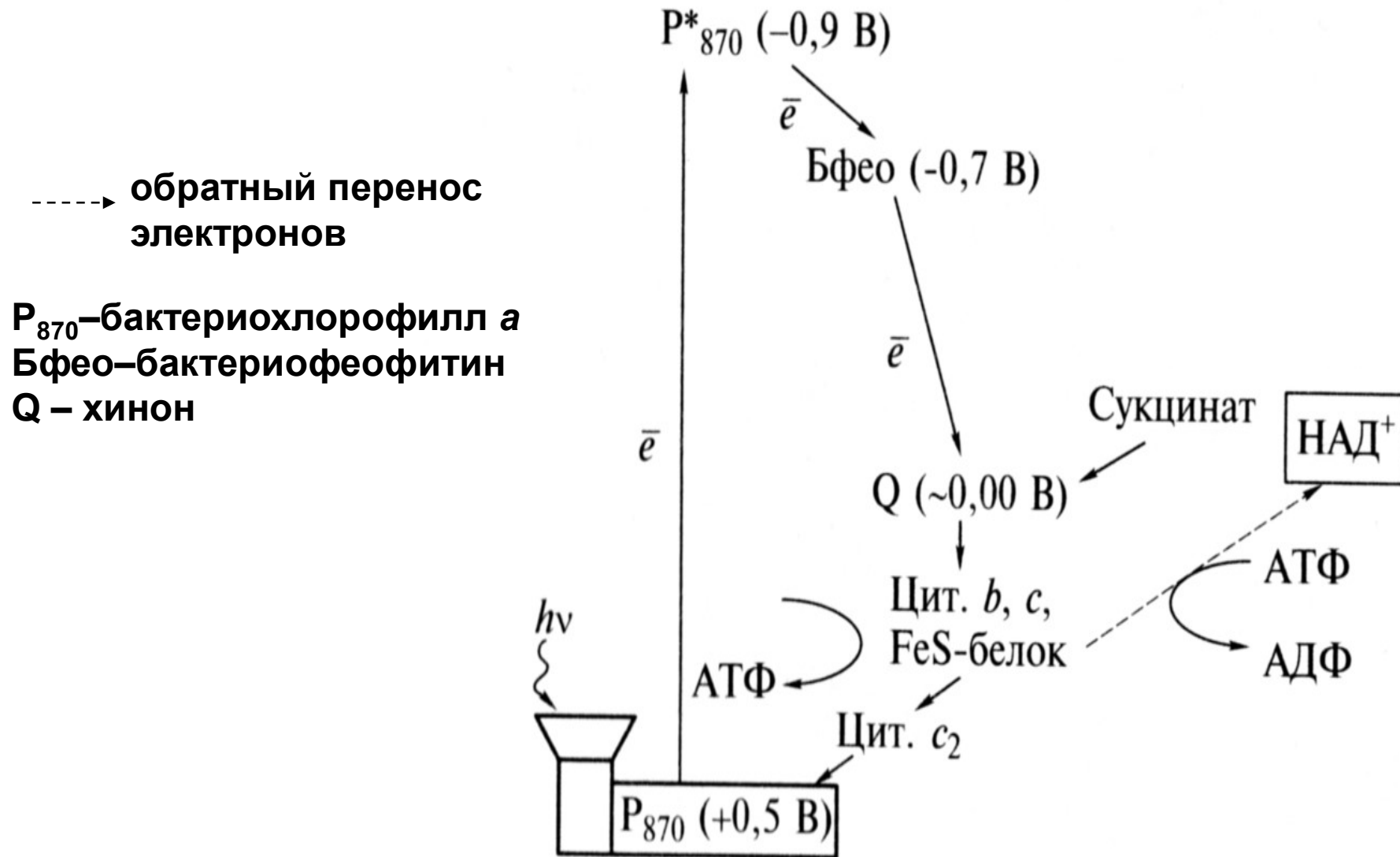
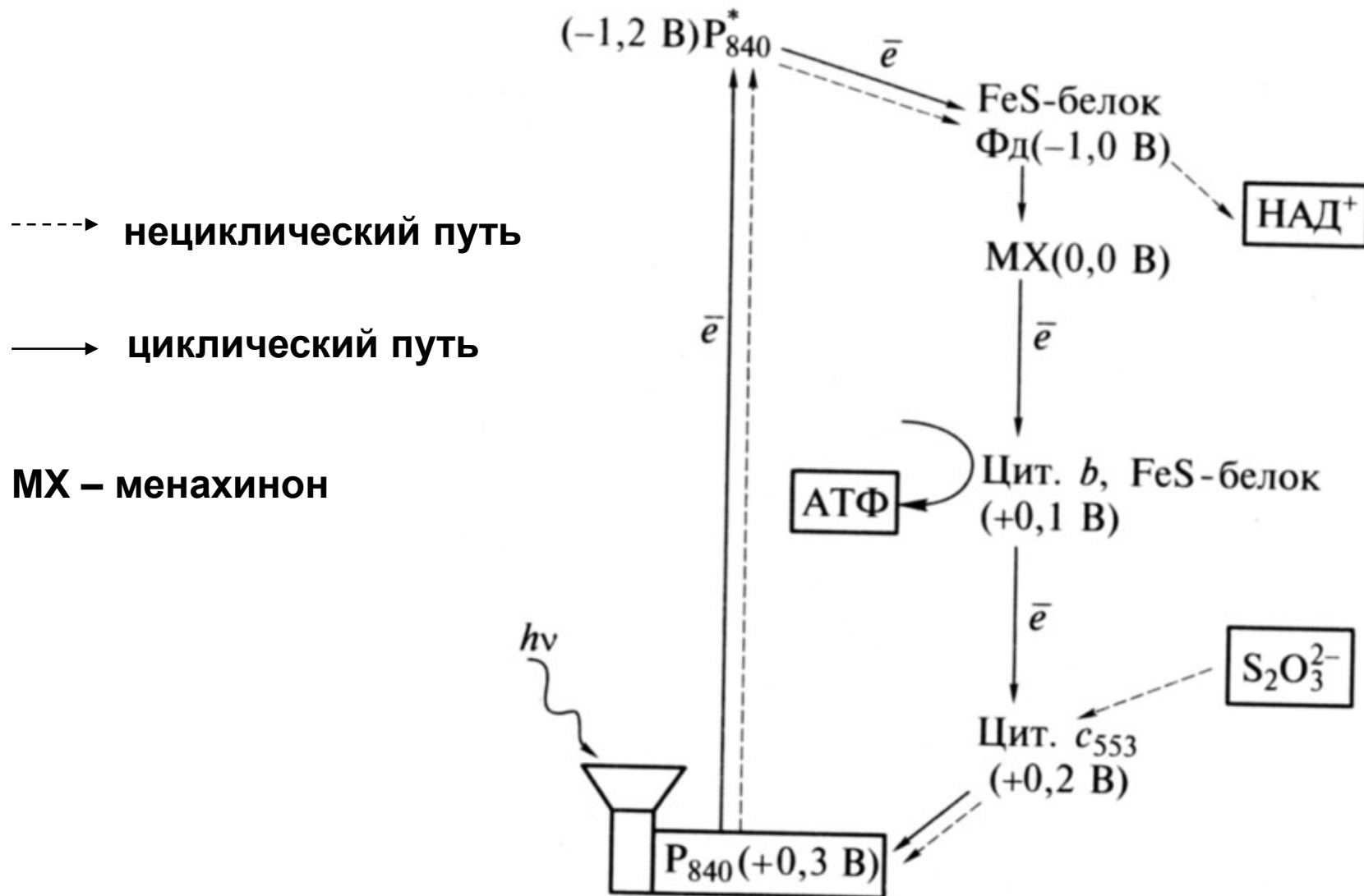
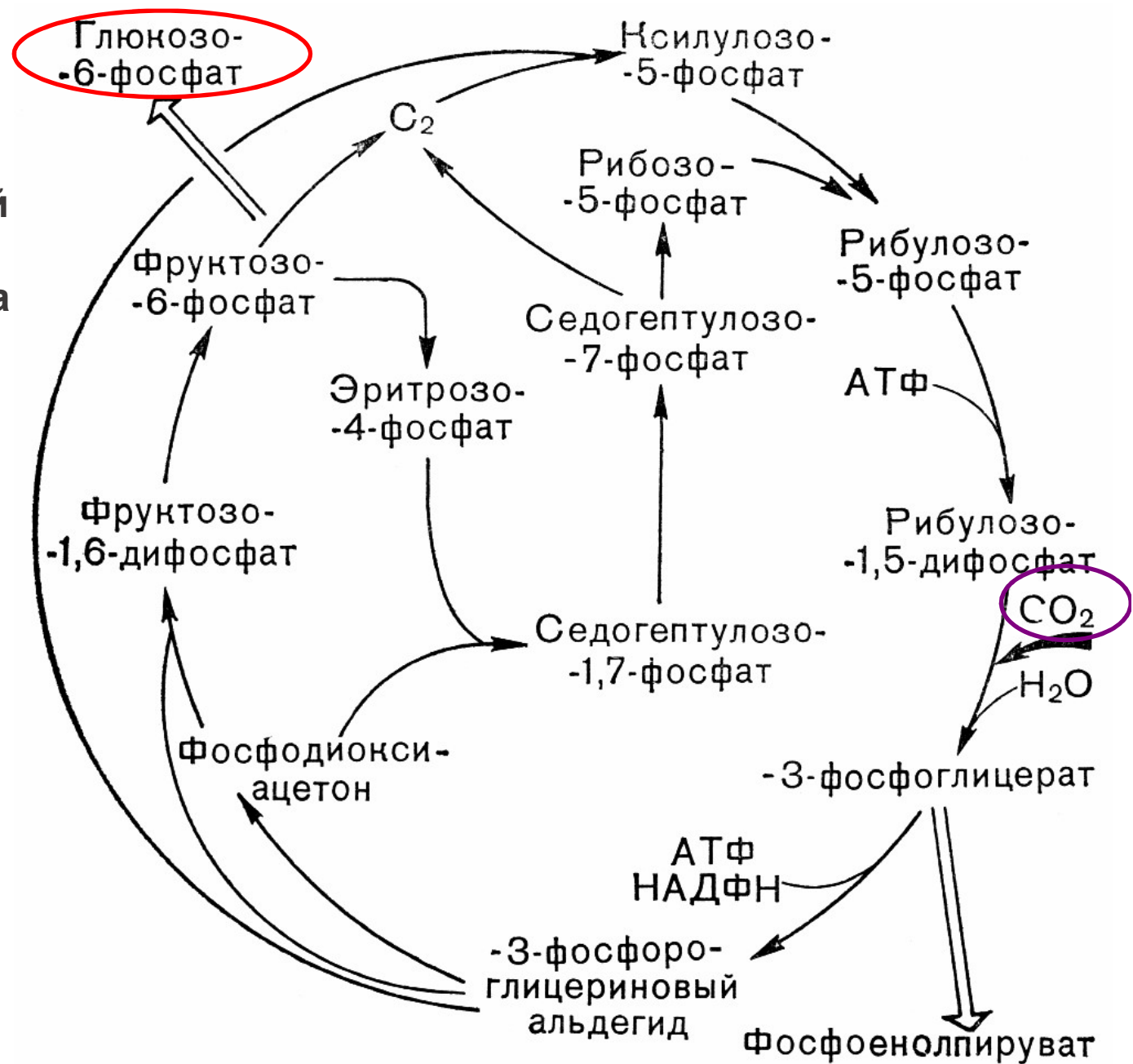


Схема фотосинтеза у зеленых серных бактерий



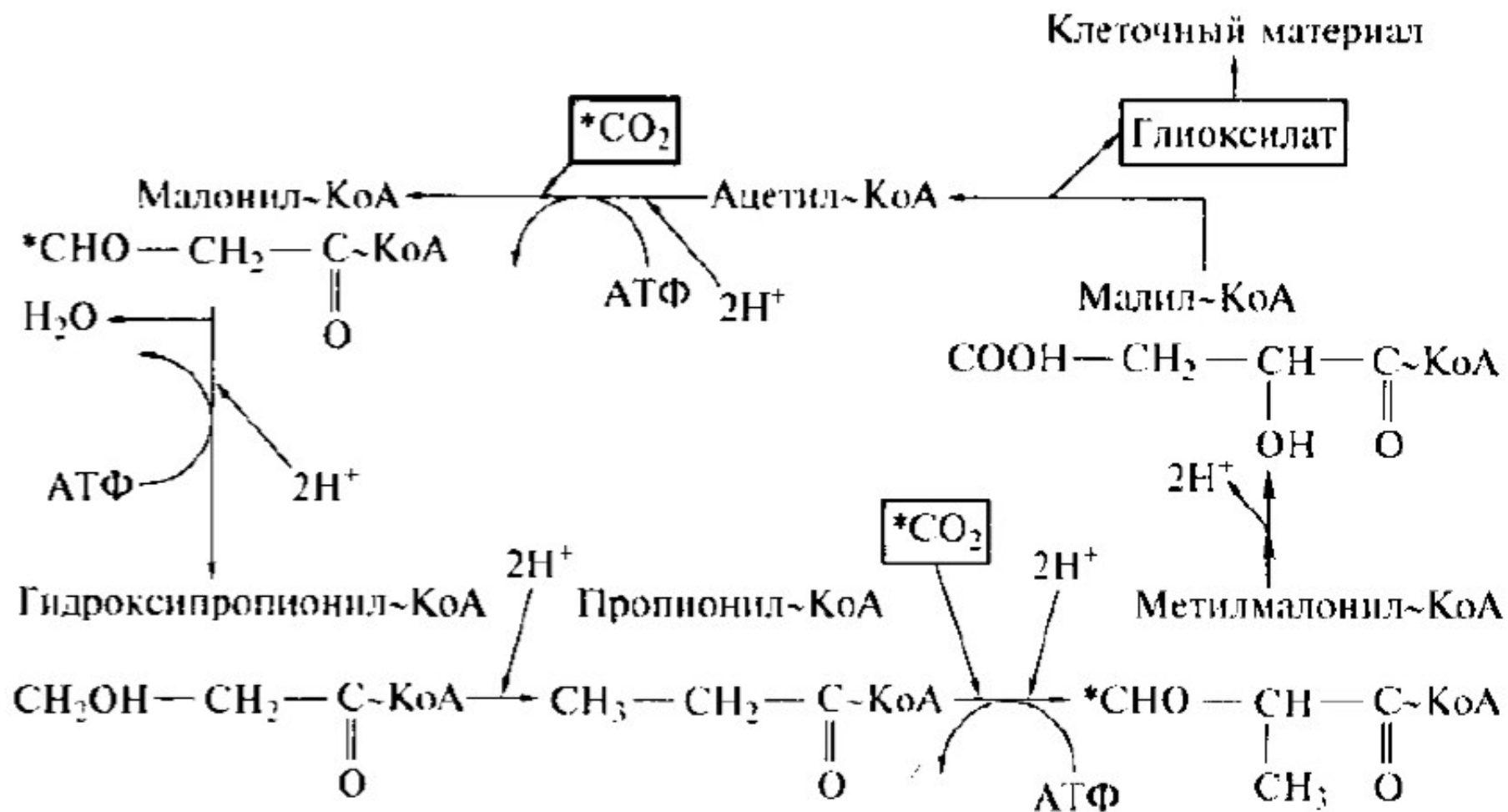
Восстановительный
пентозофосфатный
путь, цикл Кальвина



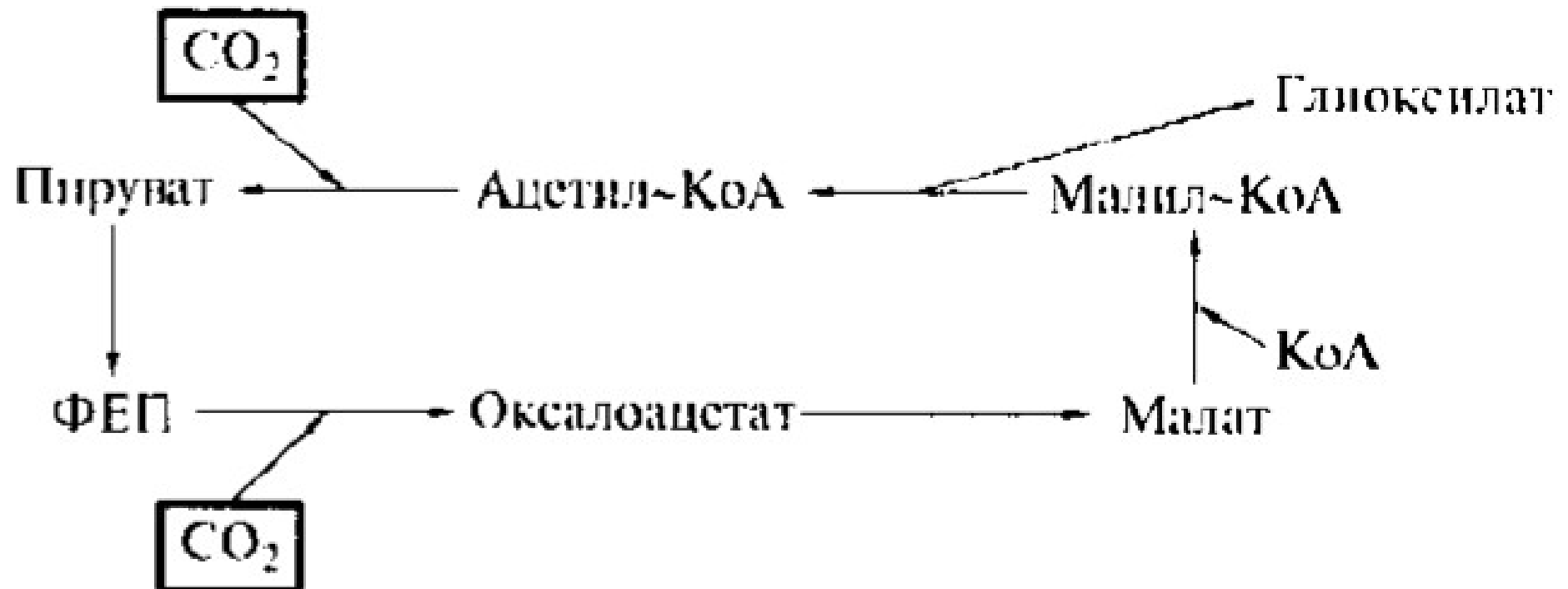
Цикл Арнона у зеленых серных бактерий



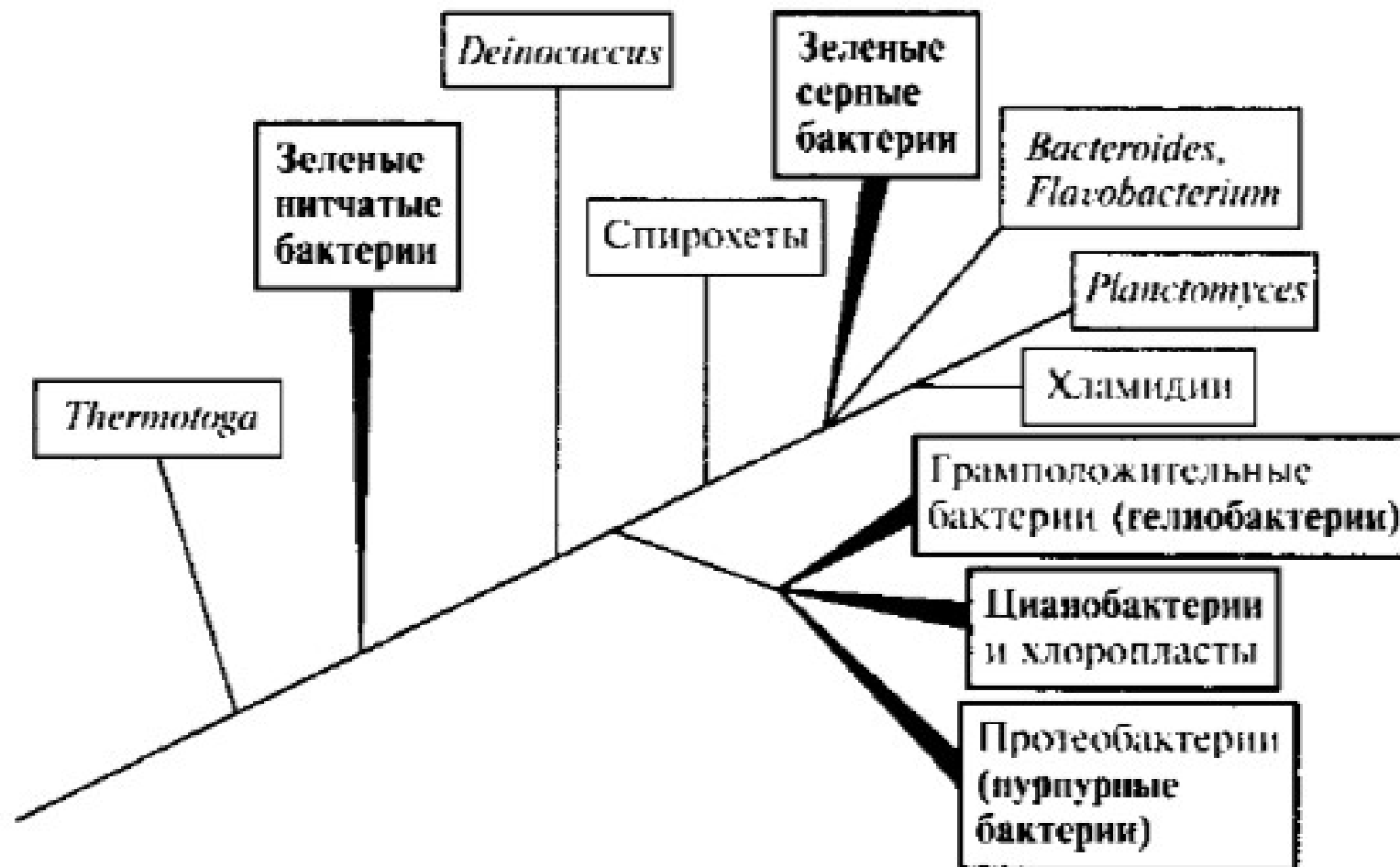
Гидроксипропионатный цикл



Восстановительный цикл дикарбоновых кислот

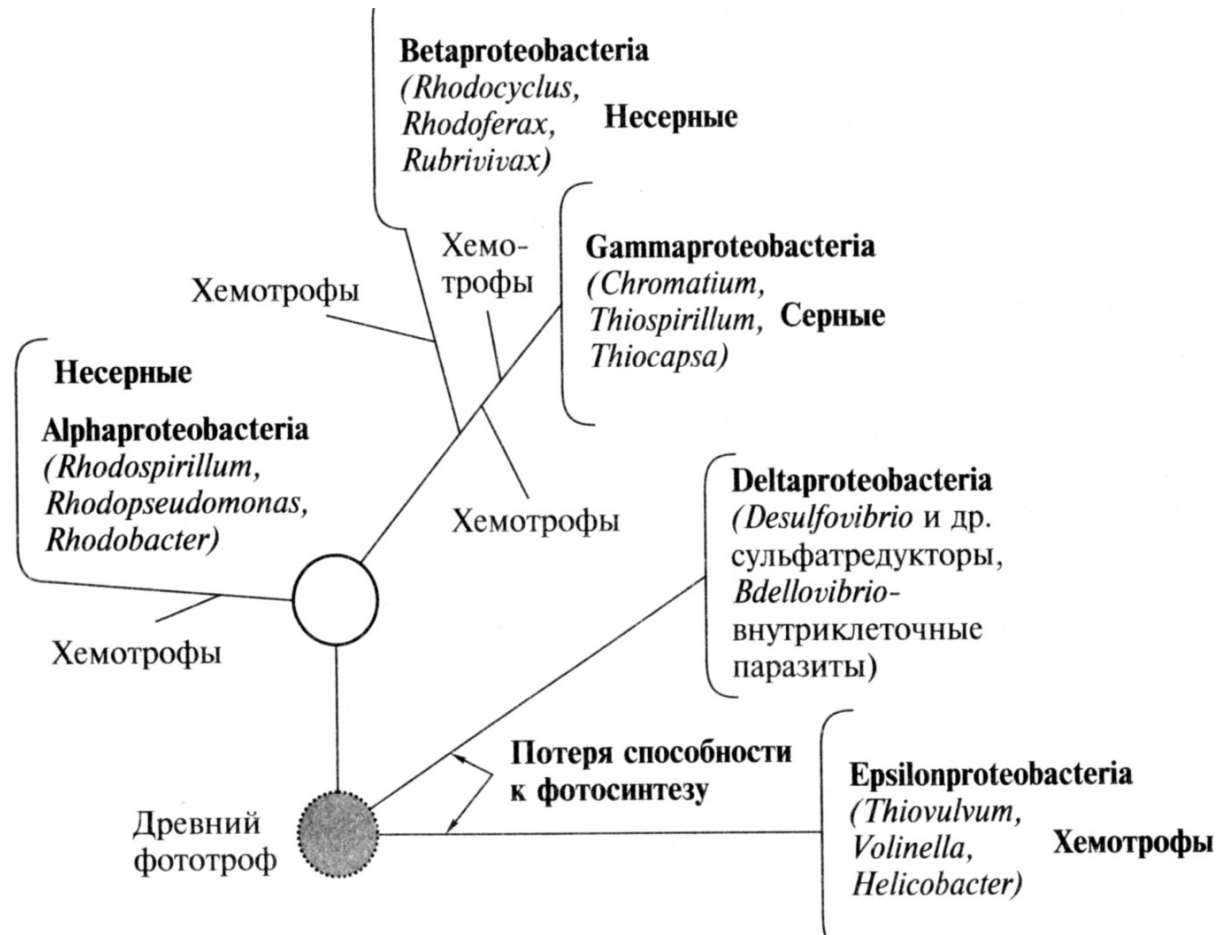


Расположение групп фототрофных микроорганизмов на филогенетическом древе



Группы фототрофных микроорганизмов

пурпурные бактерии – зеленые серные бактерии – цианобактерии – галобактерии (галоархеи) – зеленые несерные бактерии – прохлорофиты – аэробные аноксигенные бактерии (эритробактерии) – гелиобактерии



Место пурпурных бактерий в филуме *Proteobacteria*

Зеленые бактерии

зеленые несерные бактерии зеленые серные бактерии

филум *Chloroflexi*

класс *Chloroflexi*

порядок *Chloroflexiales*

семейство *Chloroflexaceae*

род *Chloroflexus*

род *Chloronema*

род *Heliothrix*

семейство *Oscillochloridaceae*

род *Oscillochloris*

филум *Chlorobi*

класс *Chlorobia*

порядок *Chlorobiales*

семейство *Chlorobiaceae*

род *Chlorobium*

род *Ancalochloris*

род *Chloroherpeton*

род *Pelodictyon*

род *Prosthecochloris*

Гелиобактерии

филум *Firmicutes*

класс *Clostridia*

порядок *Clostridiales*

семейство *Heliobacteriaceae*

род *Heliobacterium*

род *Heliobacillus*

род *Heliophilum*

род *Heliorestis*

Цианобактерии, филум *Cyanobacteria*

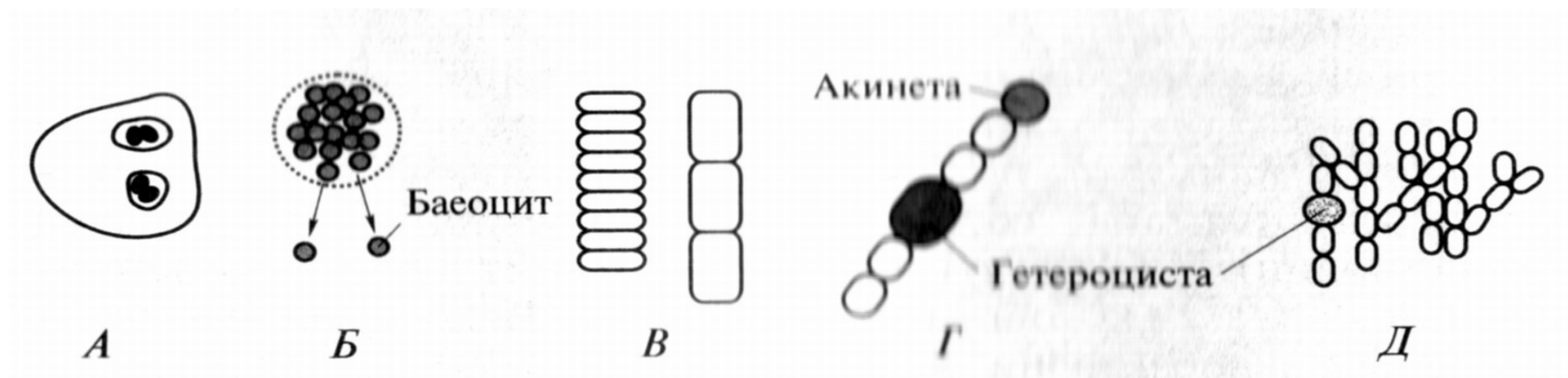
Подсекция I *Gloeothese*, *Cyanobacterium*, *Cyanobium*, *Gloebacter*,
Gleocapsa, *Synechocystis*, *Synechococcus*, *Microcystis*, *Chroococcus*,
Prochloron, *Prochlorococcus*

Подсекция II *Pleurocapsa*, *Dermocarpella*, *Cyanocystis*, *Staniera*

Подсекция III *Spirulina*, *Oscillatoria*, *Microcoleus*, *Lyngbya*, *Trichodesmium*,
Prochlorothrix

Подсекция IV *Anabaena*, *Nostoc*, *Calothrix*, *Scytonema*, *Cylindrospermum*

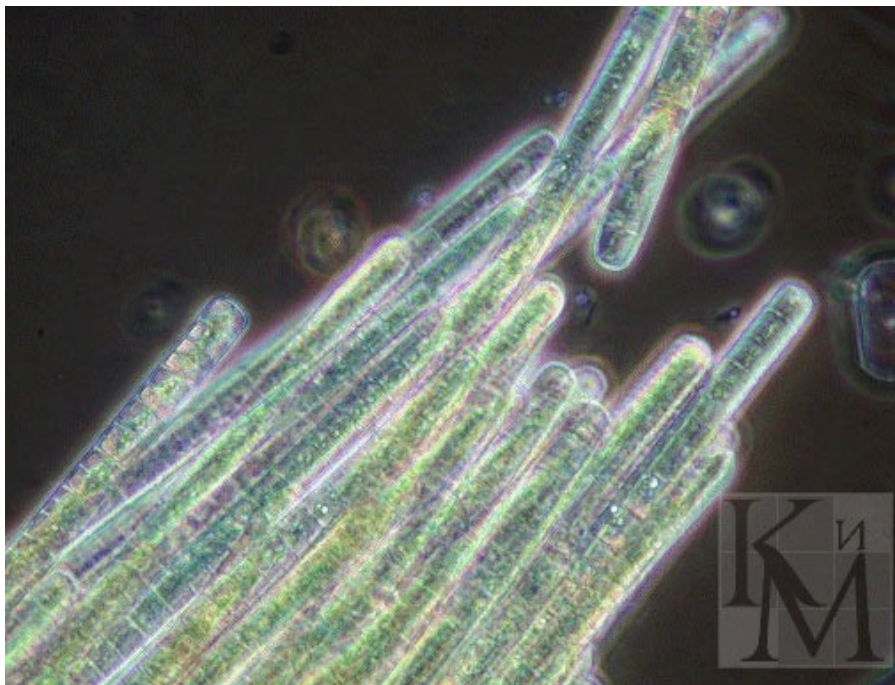
Подсекция V *Fischerella*, *Stigonema*, *Mastigocladus*, *Geitleria*



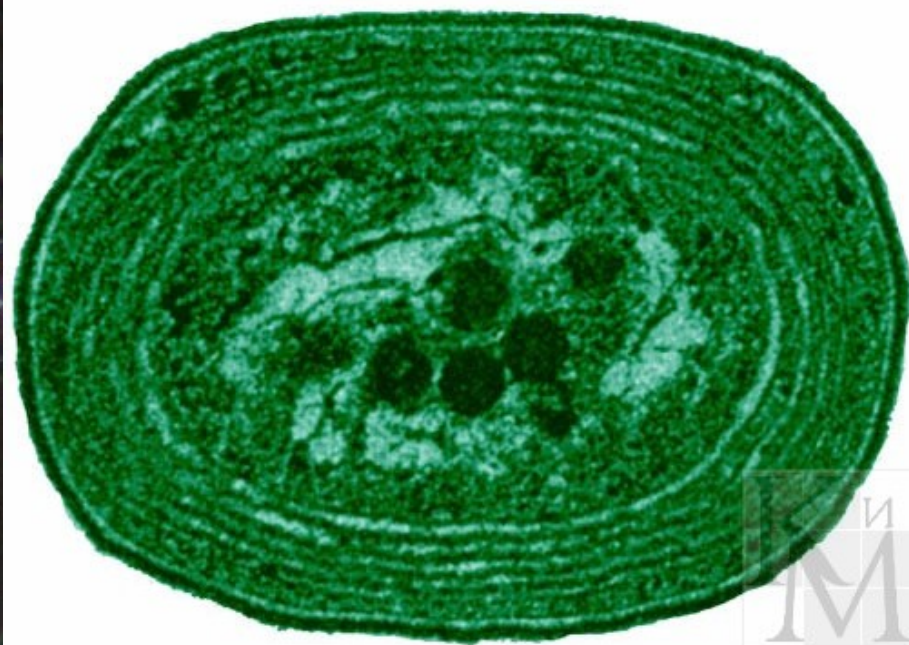
Типичная морфология цианобактерий разных подсекций

Цианобактерии

Trichodesmium



Prochlorococcus



порядок *Prochlorales* (прохлорофиты)
род *Prochloron*
род *Prochlorothrix*
род *Prochlorococcus*

Галобактерии

домен *Archaea*

филум *Euryarchaeota*

класс *Halobacteria*

порядок *Halobacteriales*

семейство *Halobacteriaceae*

род *Halobacterium*

род *Natrialba*

род *Haloarcula*

род *Natrinema*

род *Halobaculum*

род *Natronobacterium*

род *Halococcus*

род *Natronomonas*

род *Haloferax*

род *Natronococcus*

род *Halogeometricum*

род *Natronorubrum*

род *Halorubrum*

род *Haloterrigena*

Эритробактерии

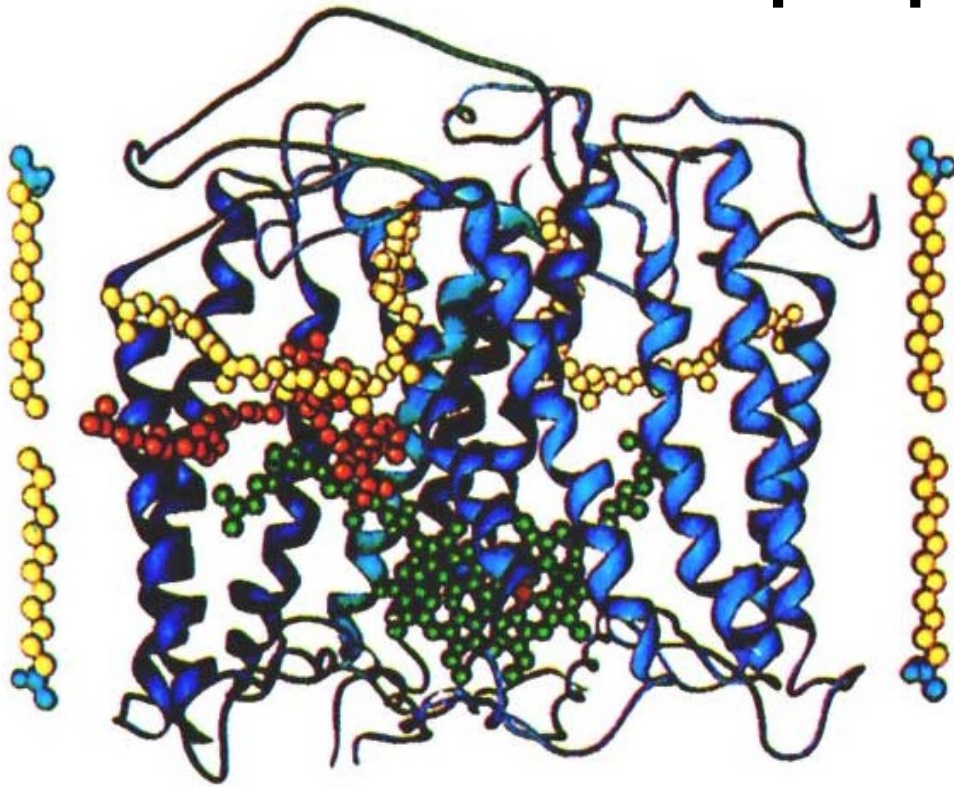
род *Methylobacterium*

род *Erythrobacter*

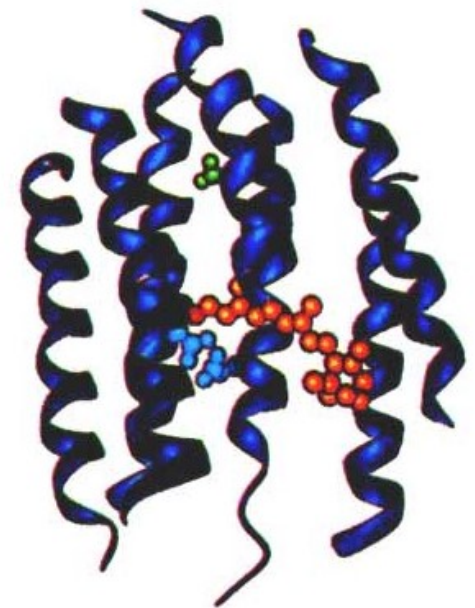
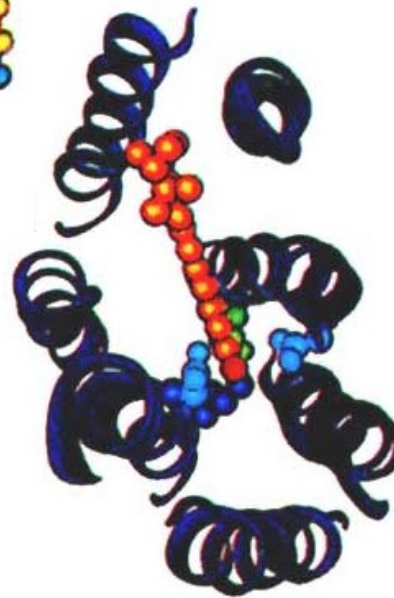
род *Roseobacter*

род *Photorhizobium*

Бактериородопсин



Б. Реакционный центр *Rhodospseudomonas viridis*



Организация фотосинтетического аппарата у разных групп фототрофных прокариот

Группа	Фотосинтетические пигменты и их максимумы поглощения	Фотосинтетические мембранные системы
Цианобактерии (включая прохлорофит)	Chl <i>a</i> — 665 нм Chl <i>b</i> — 645 и 430 нм	Тилакоиды с фикобилисомами или без них
Пурпурные бактерии	Bchl <i>a</i> — 800—810, 830—890 нм Bchl <i>b</i> — 835—850, 1020—1040 нм	Ламеллы, трубочки или везикулы, связанные с ЦПМ
Зеленые бактерии	Bchl <i>c</i> — 745—755 нм Bchl <i>d</i> — 705—740 нм Bchl <i>e</i> — 719—726 нм Bchl <i>a</i> — 807, 830—890 нм (минорный)	Хлоросомы, связанные с мембраной, но не представляющие из себя непрерывную цепь, и ЦПМ
Гелиобактерии	Bchl <i>g</i> — 670 и 788 нм	ЦПМ
Галоархеи	Бактериородопсин	«Пурпурные мембраны» в ЦПМ

Свойства фототрофных микроорганизмов

Свойство	Пурпур- ные бактерии	Зеленые бактерии	Циано- бактерии	Гелио- бактерии	Гало- археи	Хлоро- пласт
Локализа- ция фото- синтетиче- ского аппарата	Выросты ЦПМ	Хлоро- биум- везику- лы и ЦПМ	Тила- коиды	ЦПМ	ЦПМ	Тила- коиды
ФС I	+	+	+	+	-	+
ФС II	-	-	+	-	-	+
Доноры электронов	H_2S , H_2 , органи- ка	H_2S , H_2	H_2O	H_2S , H_2	Орга- ника	H_2O
Источник углерода	CO_2 , органи- ка	CO_2 , органи- ка	CO_2	CO_2 , органи- ка	Орга- ника	CO_2
Способ питания	Авто- и гетеро- трофия	Авто- и гетеро- трофия	Авто- трофия	Гетеро- и авто- трофия	Гетеро- трофия	Авто- трофия

Краткая характеристика фототрофов

Характеристика	Род	Число видов	Систематическое положение
Несерные пурпурные бактерии			
Спириллы с полярными жгутиками	<i>Rhodospirillum</i>	9	Филум B12. Proteobacteria Класс 1. Alphaproteobacteria
Палочки с полярными жгутиками, размножаются почкованием	<i>Rhodovibrio</i>	9	Там же
Палочки, размножаются бинарным делением	<i>Rhodobacter</i>	6	Там же
Яйцеобразные клетки	<i>Rhodovulum</i>	4	Там же
Охальные клетки с перитрихальным жгутикованием, образуют гифы, размножаются почкованием	<i>Rhodomicrobium</i>	1	Там же
Большие сферические клетки, ацидофилы (pH 5.0)	<i>Rhodospira</i>	1	Там же
Кольцеобразные изогнутые клетки	<i>Rhodocyclus</i>	2	Филум B12. Proteobacteria Класс 2. Betaproteobacteria
Искривленные палочки	<i>Rhodovulum</i>	1	Там же
Искривленные палочки	<i>Rhodospira</i>	1	Там же

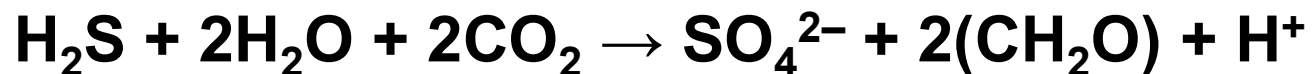
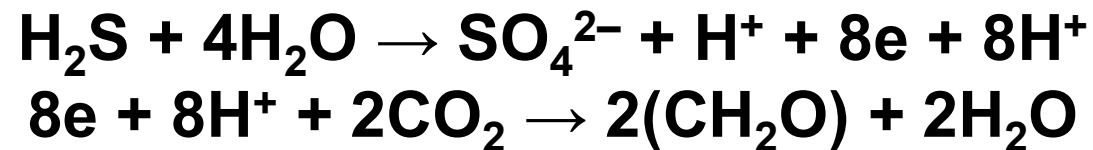
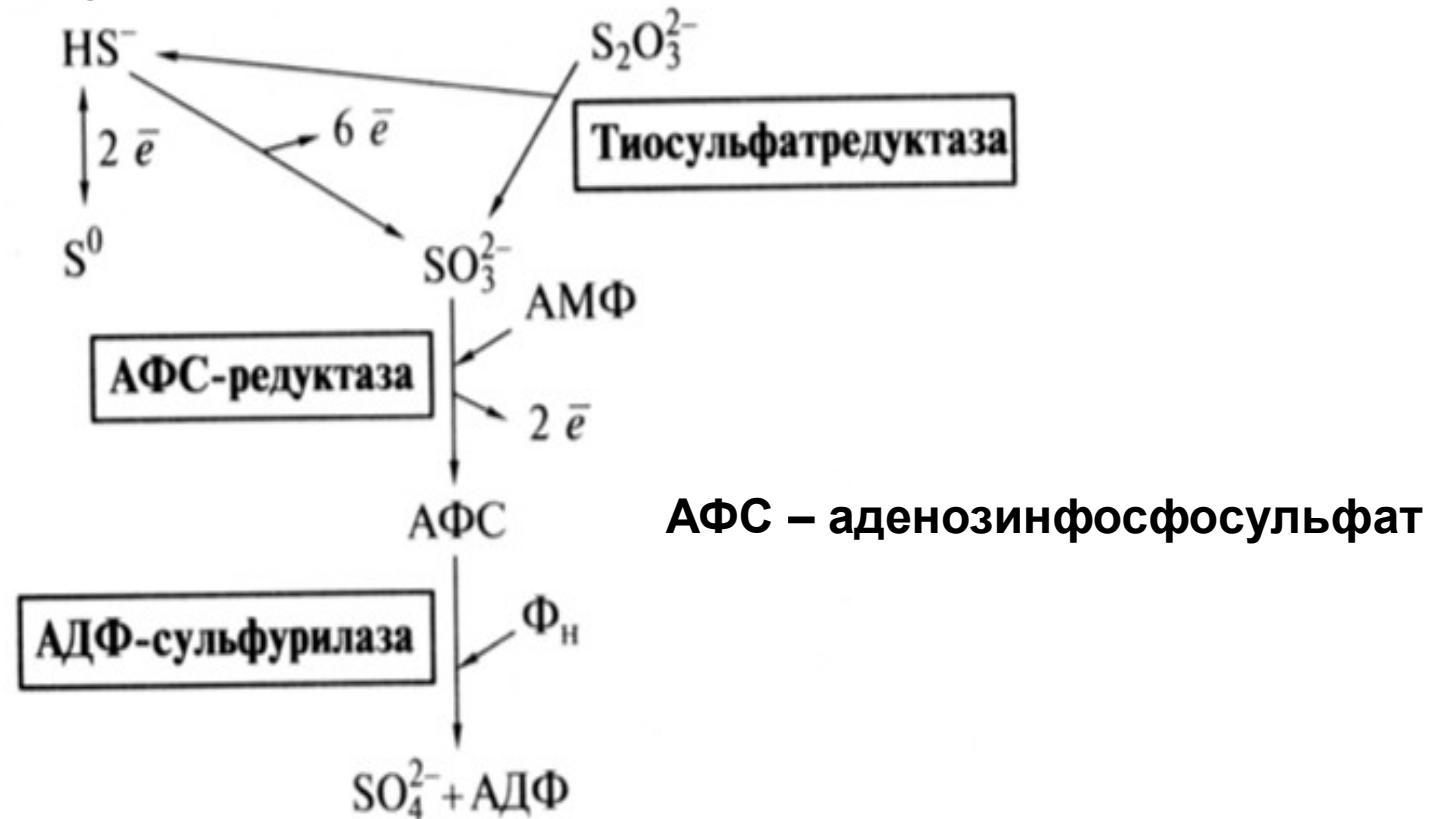
Краткая характеристика фототрофов

Пурпурные серные бактерии			
А. Откладывают серу снаружи			
Спириллы с полярными жгутиками	<i>Ectothiorhodospira</i>	6	Филум B12. Proteobacteria Класс 3. Gammaproteobacteria
Спириллы, экстремальные галофилы	<i>Halorhodospira</i>	3	Там же
Б. Откладывают серу внутри клетки			
1. Нет газовых вакуолей			
Овальные палочки с полярными жгутиками	<i>Chromatium</i>	12	Там же
Диплококки и тетрады, неподвижны	<i>Thiocarpa</i>	3	Там же
Сферические или овальные клетки с полярными жгутиками	<i>Thiocystis</i>	2	Там же
Большие спириллы с полярными жгутиками	<i>Thiospirillum</i>	1	Там же
Маленькие спириллы	<i>Thiorhodovibrio</i>	1	Там же
Крупные палочки-веретеница (1,5 — 1,7 мкм × 16 — 32 мкм)	<i>Rhabdochromatium</i>	1	Там же
2. Есть газовые вакуоли			
Неправильные сферические или овальные клетки, неподвижны	<i>Anaerobacter</i>	4	Там же
Палочки с полярными жгутиками	<i>Lamprobacter</i>	1	Там же
Сферические или овальные клетки с полярными жгутиками	<i>Lamprocystis</i>	1	Там же
Неподвижные палочки, образующие сетку	<i>Thiodictyon</i>	2	Там же
Неподвижные сферические клетки в плоских тетрадах	<i>Thiopredia</i>	1	Там же

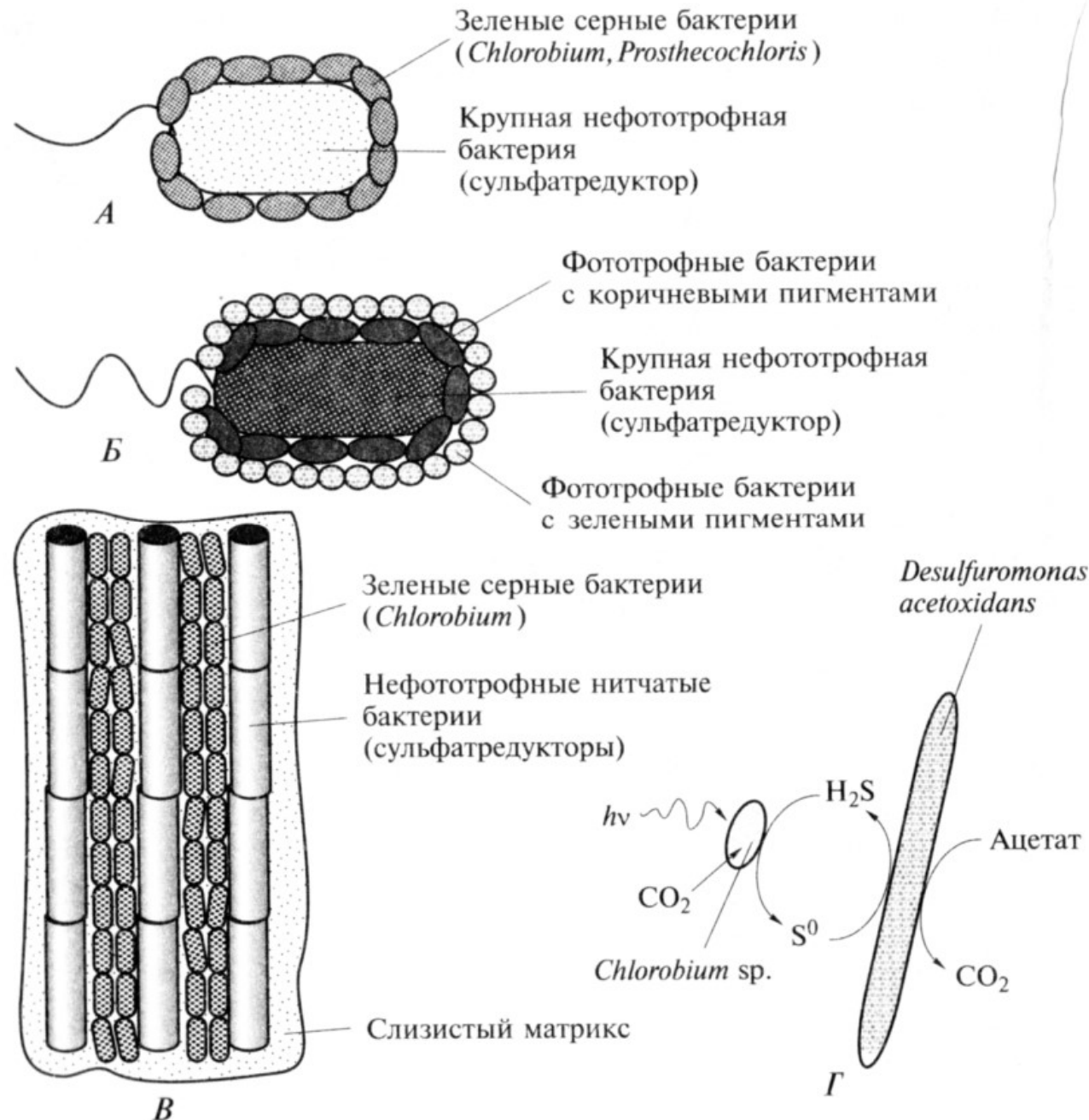
Краткая характеристика фототрофов

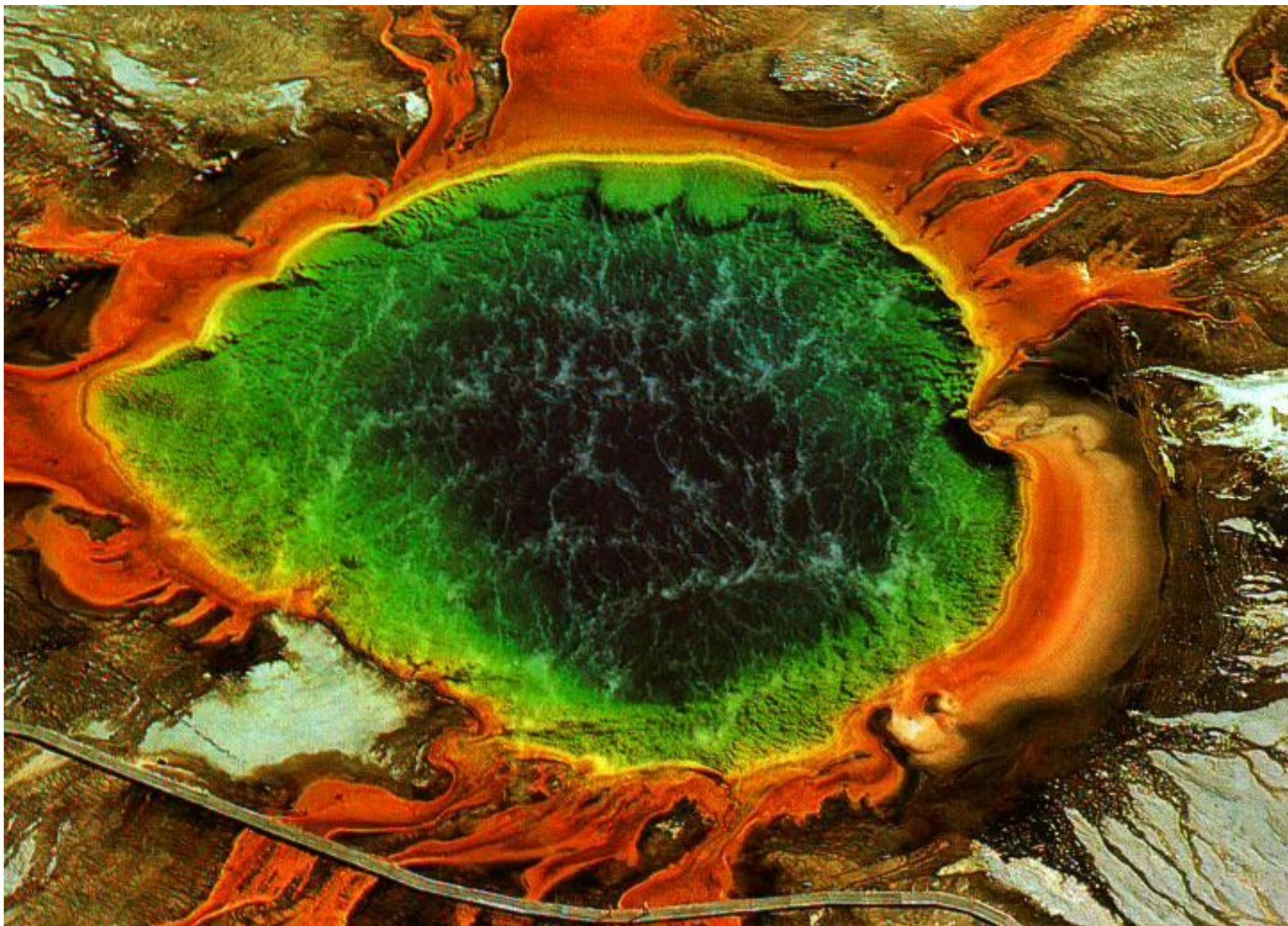
Характеристики	Род	Число видов	Систематическое положение
Зеленые бактерии			
1. Нет газовых вакуолей			
Неподвижные прямые или изогнутые палочки	<i>Chlorobium</i>	6	Филум B11. Chlorobi Класс 1. Chlorobia
Сферические клетки с простеками	<i>Prochlorococcus</i>	2	Там же
Нитчатые скользящие	<i>Chloroflexus</i>	2	Филум B6. Chloroflexi Класс 1. Chloroflexi
Нитчатые скользящие, оранжевого цвета	<i>Heliothrix</i>	1	Там же
Нитчатые скользящие, имеют большой диаметр (2 — 5 мкм)	<i>Oscillochloris</i>	1	Там же
2. Есть газовые вакуоли			
Внешние неподвижные палочки, образующие сеть	<i>Pelodictyon</i>	4	Филум B11. Chlorobi Класс 1. Chlorobia
Сферические клетки с простеками	<i>Ancalochloris</i>	1	Там же
Скользящие палочки	<i>Chloroherpeton</i>	1	Там же
Нитчатые скользящие, имеют большой диаметр (2 — 2,5 мкм)	<i>Chloronema</i>	1	Филум B6. Chloroflexi Класс 1. Chloroflexi
Гелиобактерии			
Палочки, скользящие или с полярными жгутиками	<i>Heliobacterium</i>	3	Филум B13. Firmicutes Класс 1. Clostridia
Палочки-перитрихи	<i>Heliobacillus</i>	1	Там же
Палочки в агрегатах, обладающих общей подвижностью	<i>Heliophilum</i>	1	Там же

Путь окисления соединений серы у фототрофных прокариот



Устойчивые симбиозы с участием фототрофных м/о





Национальный парк Йеллоустон, штат Вайоминг, США

Строматолиты

Название произошло от сочетания греческих слов
stroma — «подстилка» и **litos** — «камень»



Докембрийский строматолит



Строматолит кембрийского периода



Современные строматолиты. Западная Австралия



Ectothiorhodospira



Science 2008, V.321, P.967