БИОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ОКЕАНА

А.Э. Жадан, биологический факультет МГУ

Рыбы в одних частях океана много, а в других совсем нет. Почему?

Планктон: организмы, свободно дрейфующие в толще воды и не способные двигаться против течения

Бентос: совокупность организмов, обитающих на грунте и в грунте дна водоёмов

Фито- растительный

Зоо- животный

Размеры:

Мега- очень крупные

Макро- крупные

Мезо- средние

Микро- мелкие

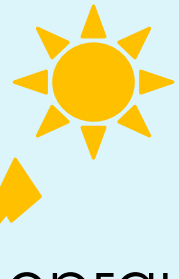
Мейо- мелкие

Нано- очень мелкие

Пико- совсем крохотные

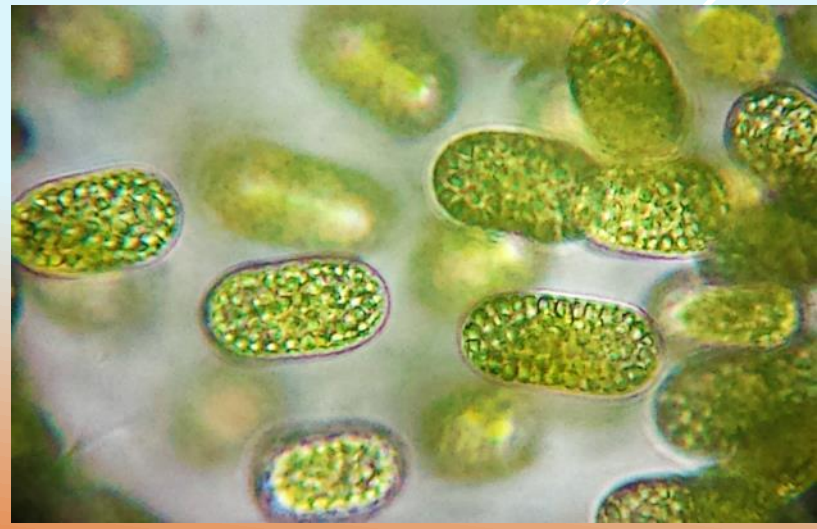
Продуценты: организмы, способные производить органические вещества из неорганических

Фотосинтез:



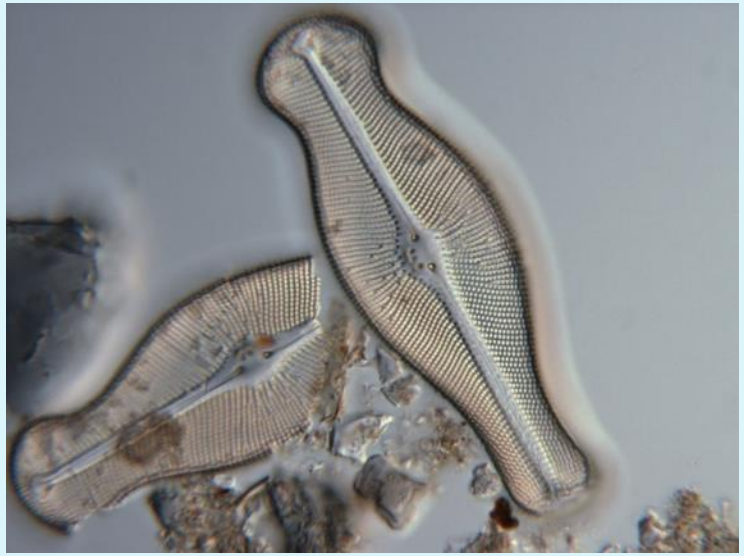
$$CO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{свет}} \text{органическое вещество} + O_2$$

Фотоавтотрофы: высшие растения, водоросли, цианобактерии

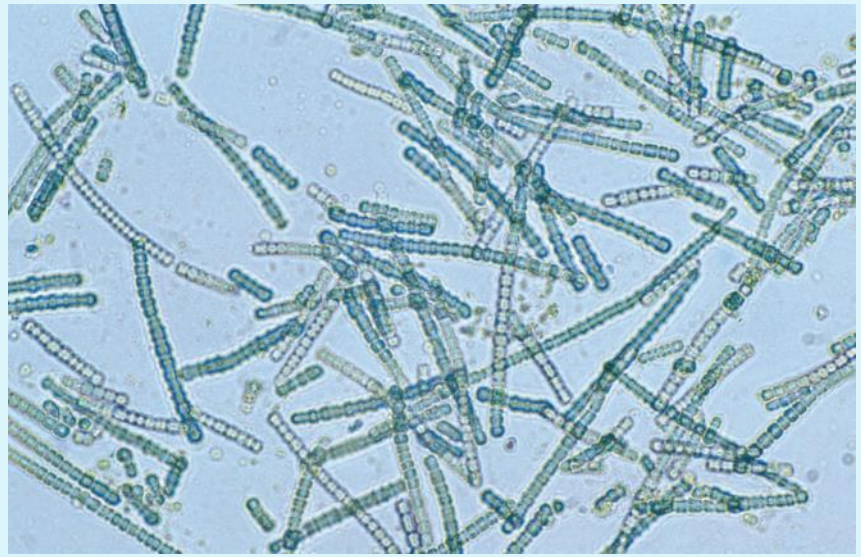


Источники органического вещества в океане

Микрофитобентос



Диатомовые водоросли



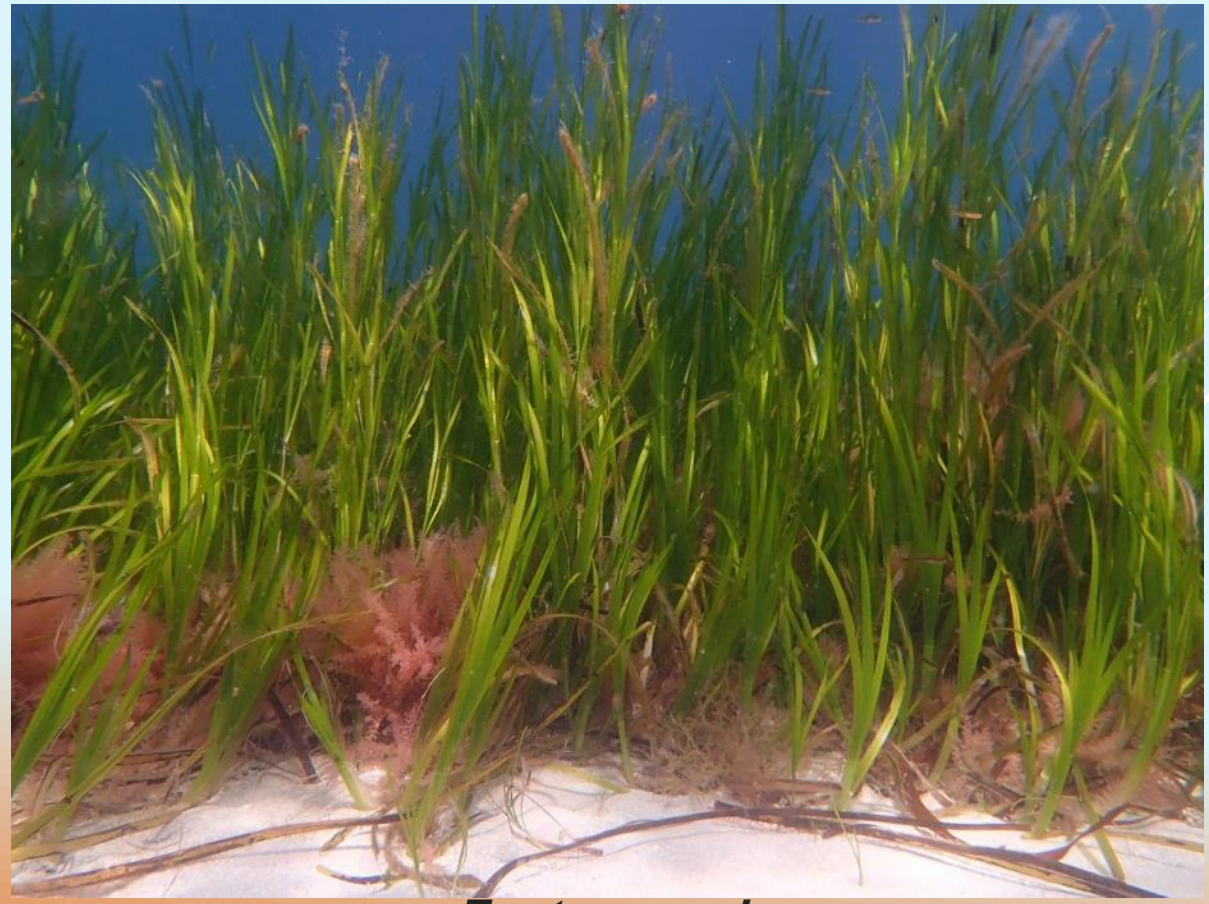
Цианобактерии (сине-зеленые водоросли)

Макрофитобентос
Высшие растения – морская трава

Класс Однодольные
Порядок Alismatales
Семейства: Posidoniaceae, Zosteraceae, Hydrocharitaceae Cymodoceaceae

Морские травы произошли от наземных растений, которые повторно заселили океан 70–100 миллионов лет назад

Posidonia oceanica



Zostera marina

Макрофитобентос
Зеленые водоросли

Ulva lactuca

Caulerpa taxifolia

Макрофитобентос
Бурые водоросли

фукоидные

:

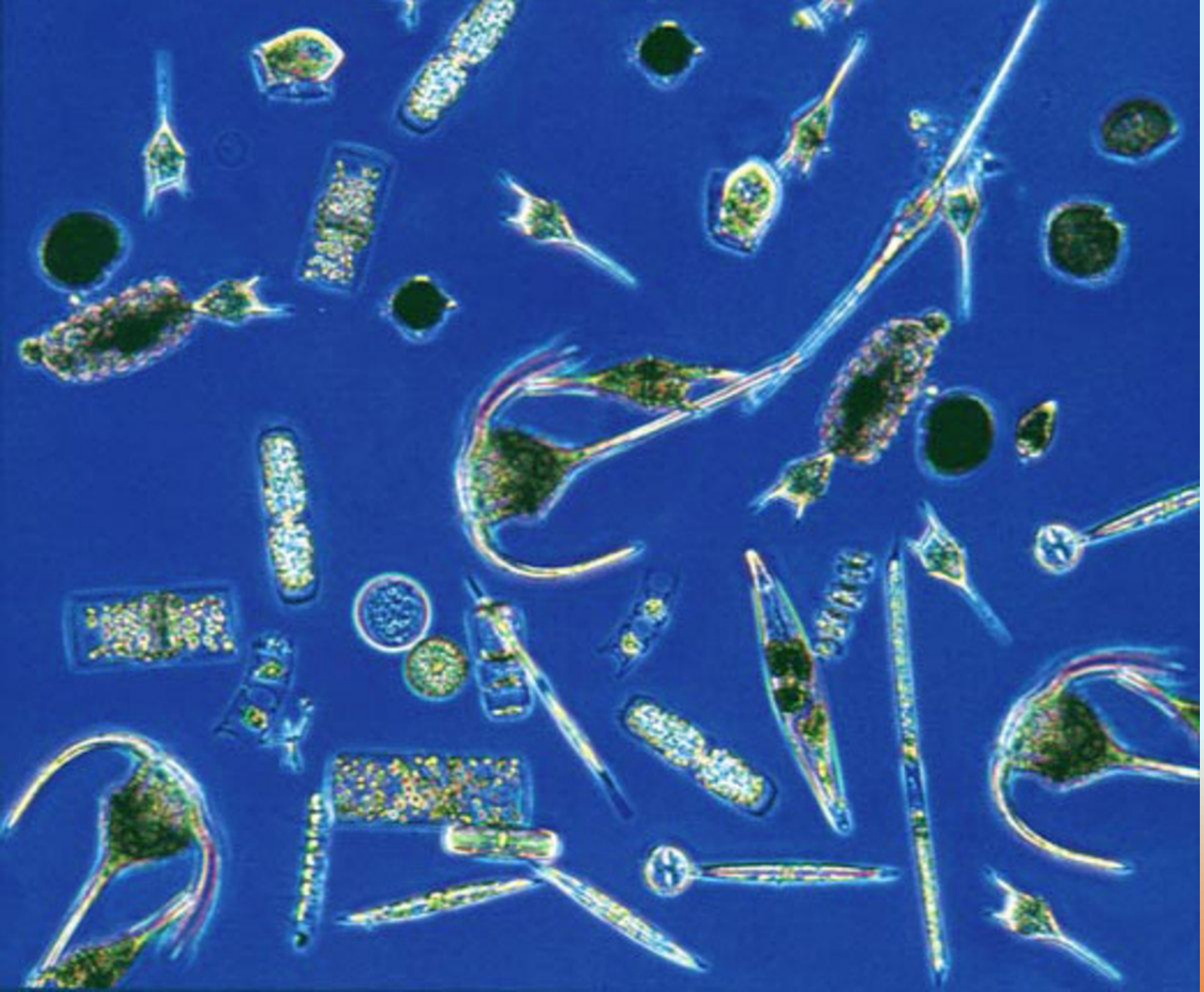
Макрофитобентос

Бурые водоросли

Laminaria

Sargassum

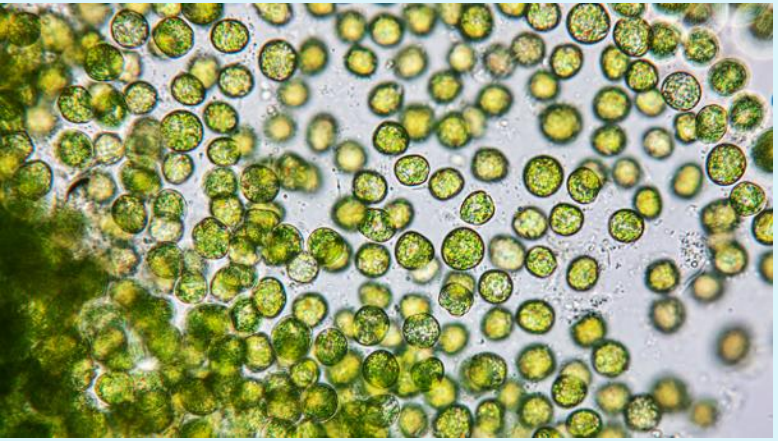
Макрофитобентос
Красные водоросли



Фитопланктон

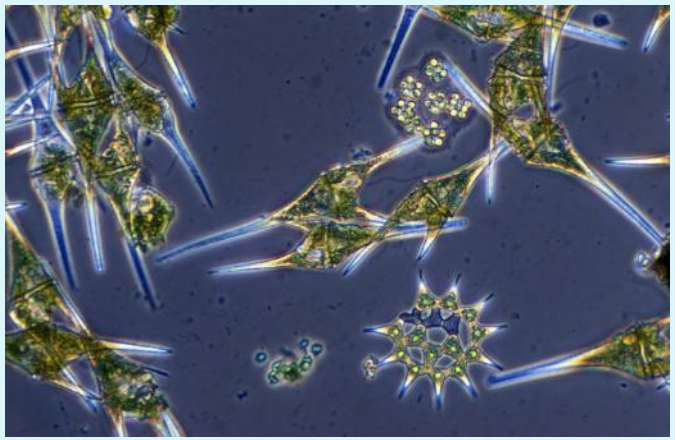
Фитопланктон

Одноклеточные водоросли (часто колониальные)

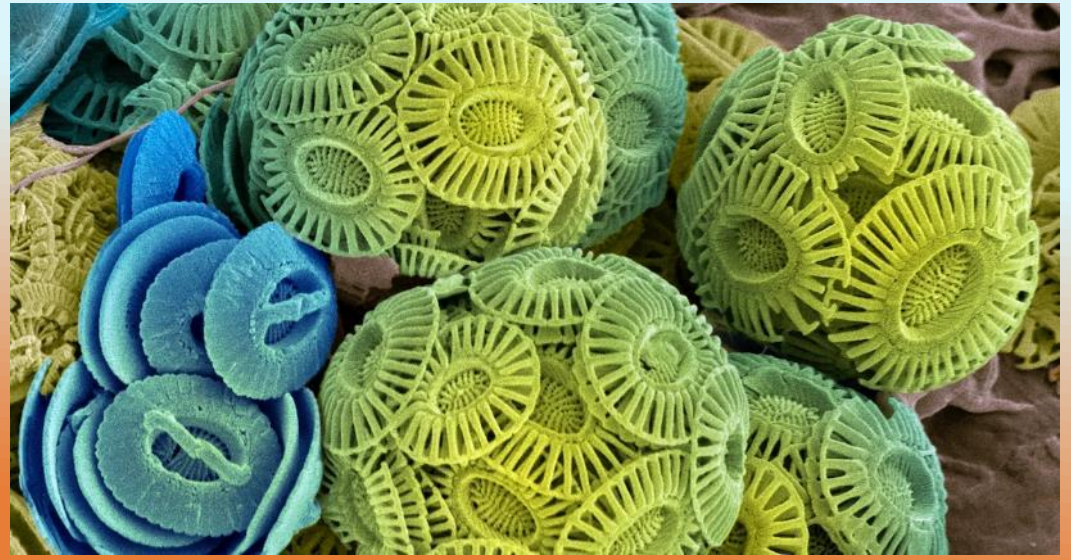


Зеленые (протококковые)

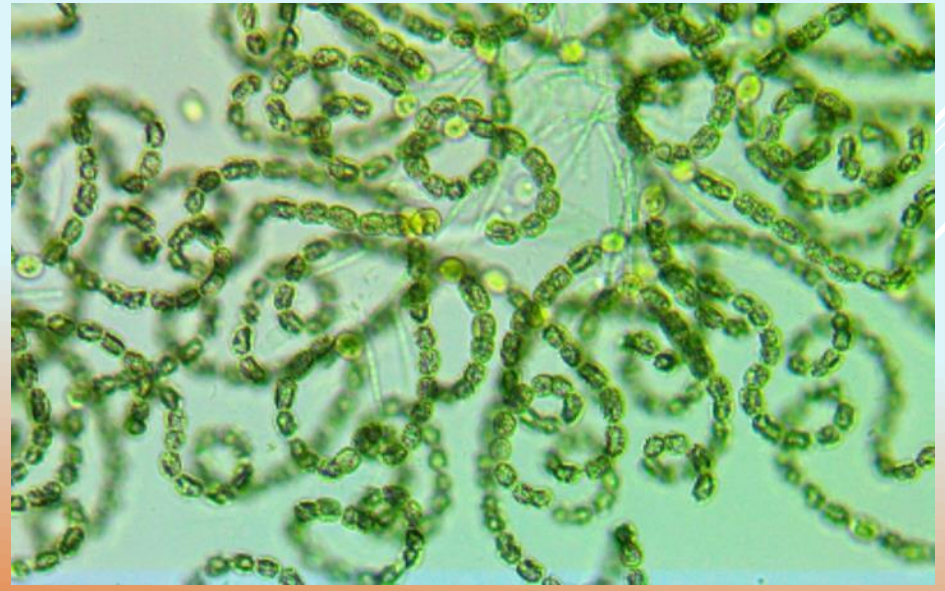
диатомовые



динофлагелляты



кокколитофориды



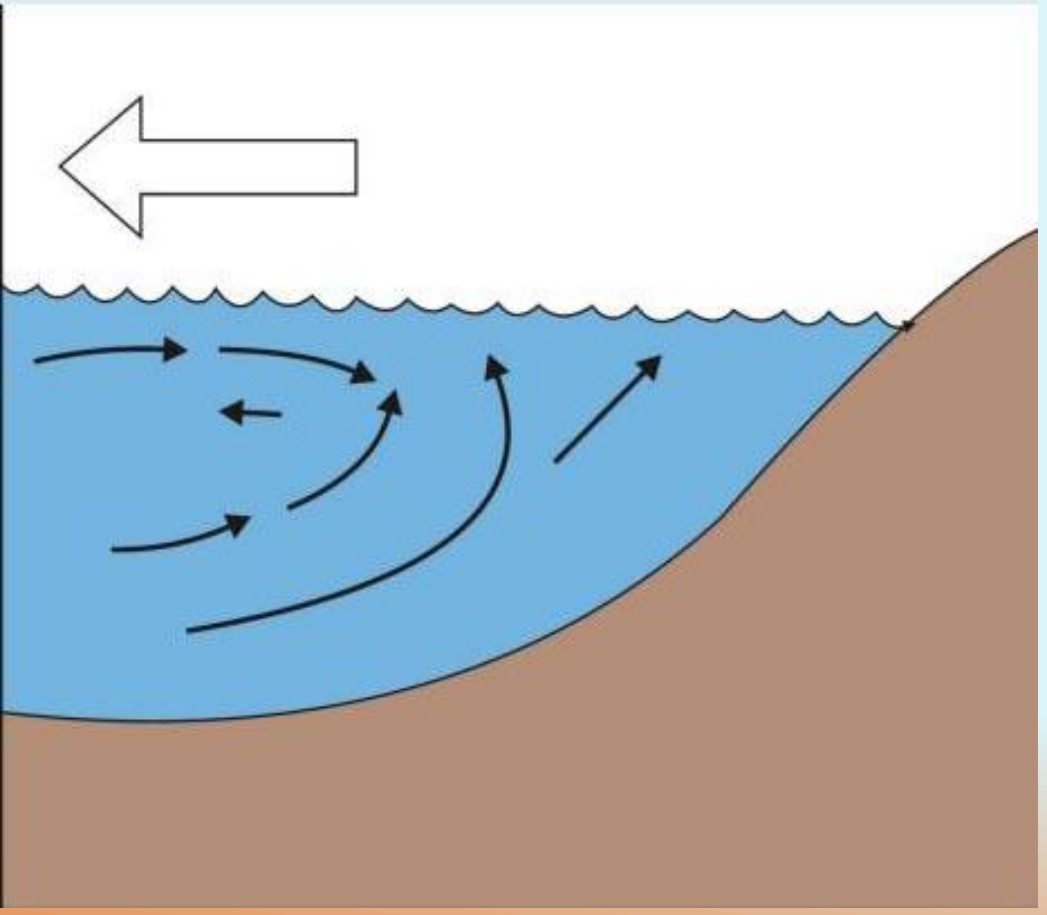
цианобактерии

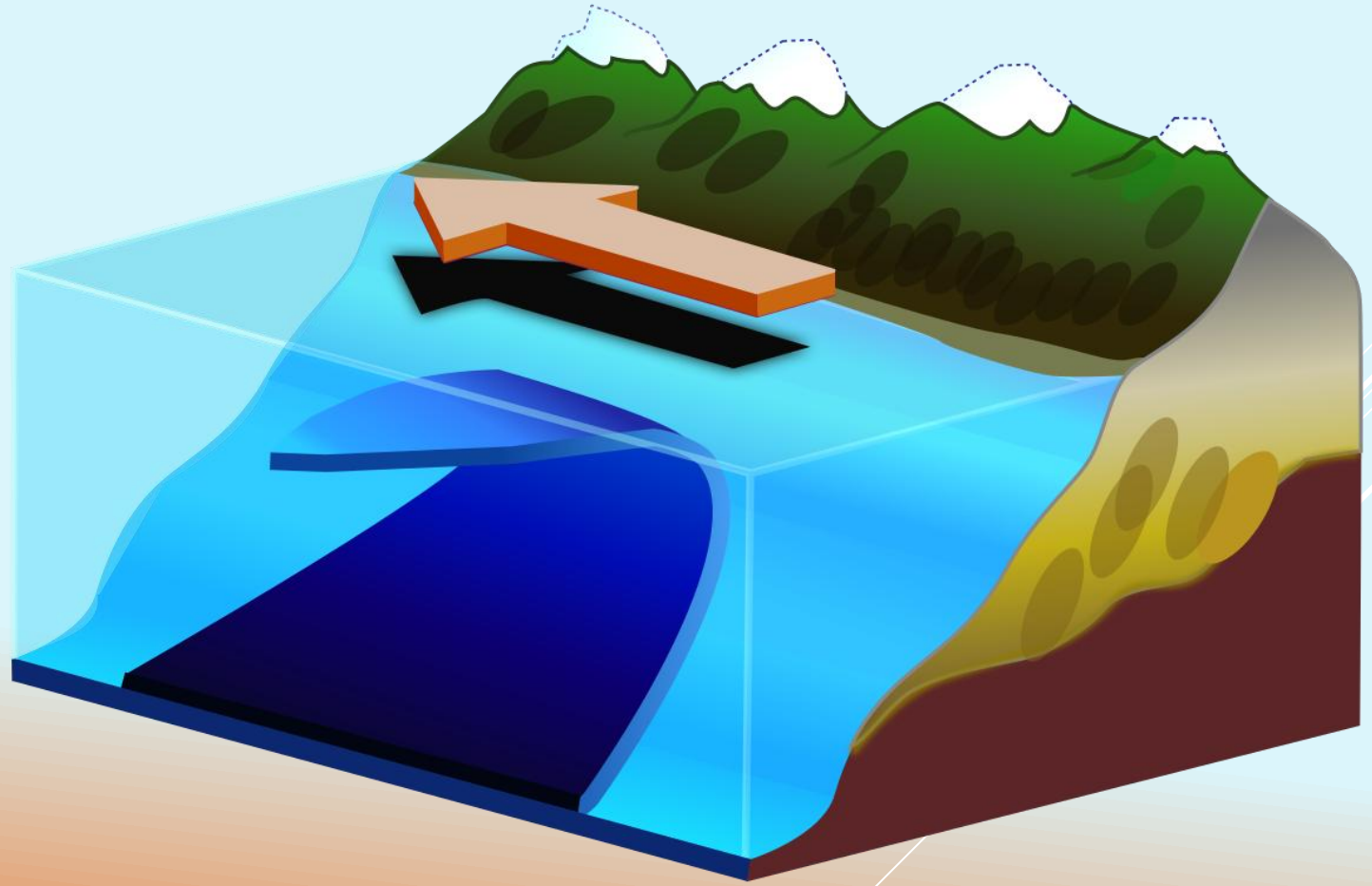
Что нужно для роста фитопланктона?

- Свет - в верхнем слое
- Углекислый газ (CO_2)- везде хватает
- Биогены (азот, фосфор, кремний) - много в глубинных слоях и в прибрежных районах

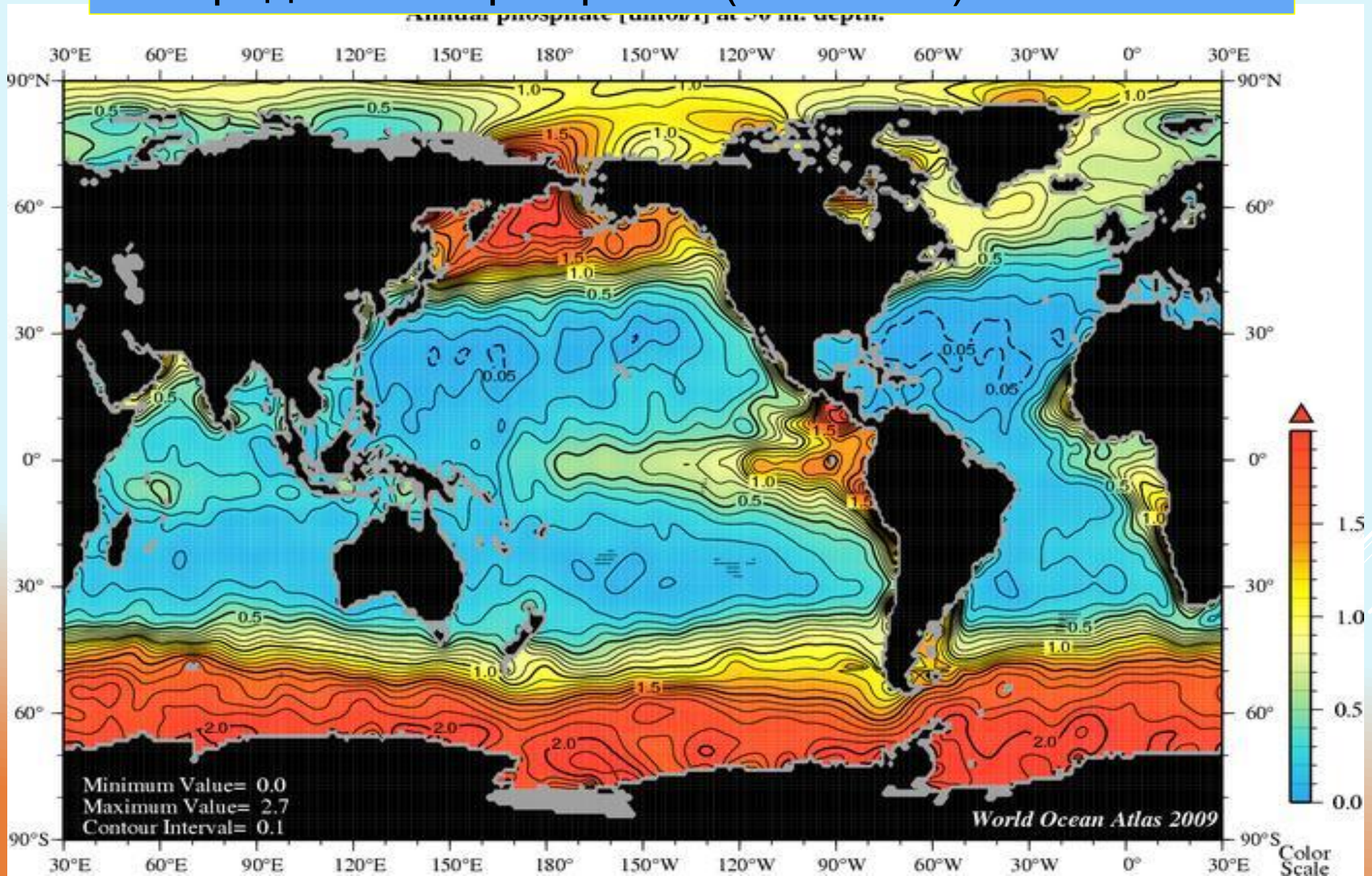
Апвеллинг

Подъём глубинных вод океана к поверхности





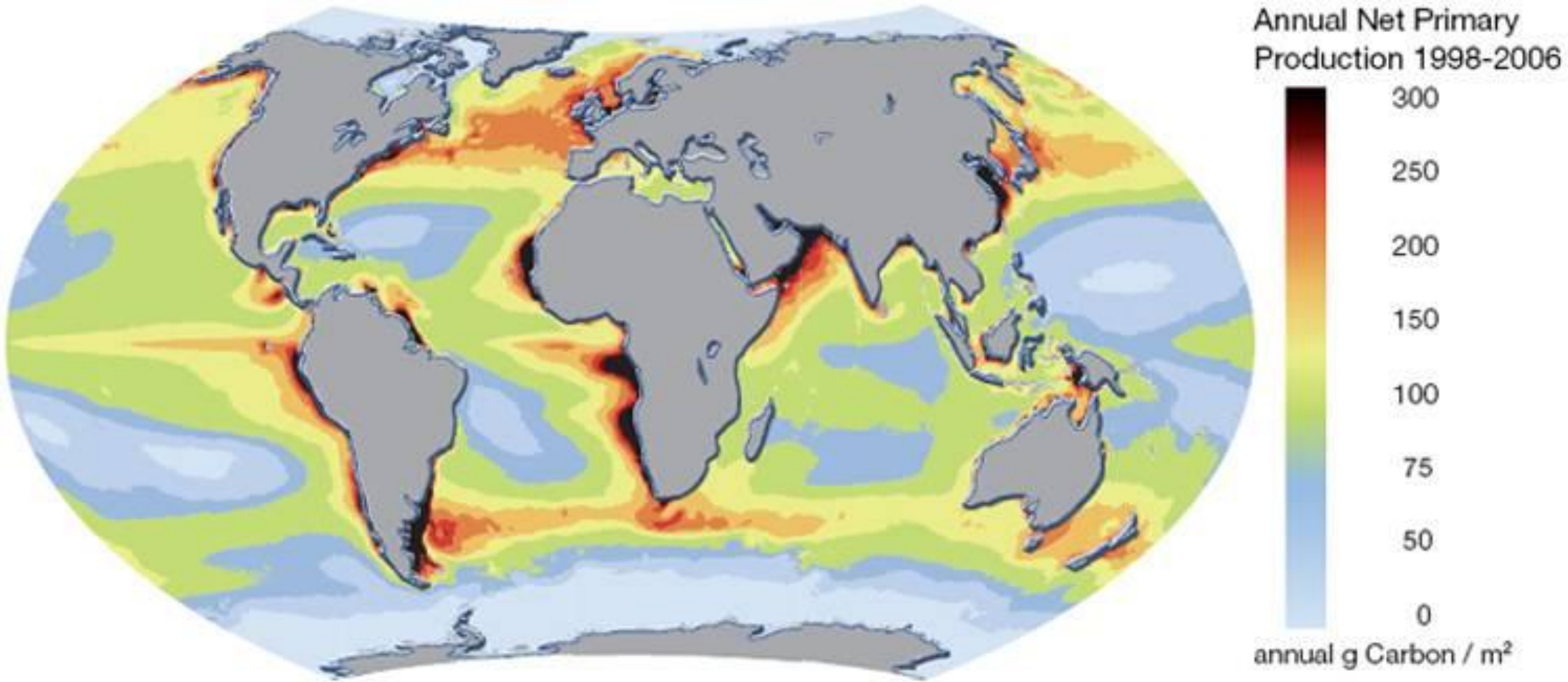
Распределение фосфатов (мкмоль/л) на 50 м



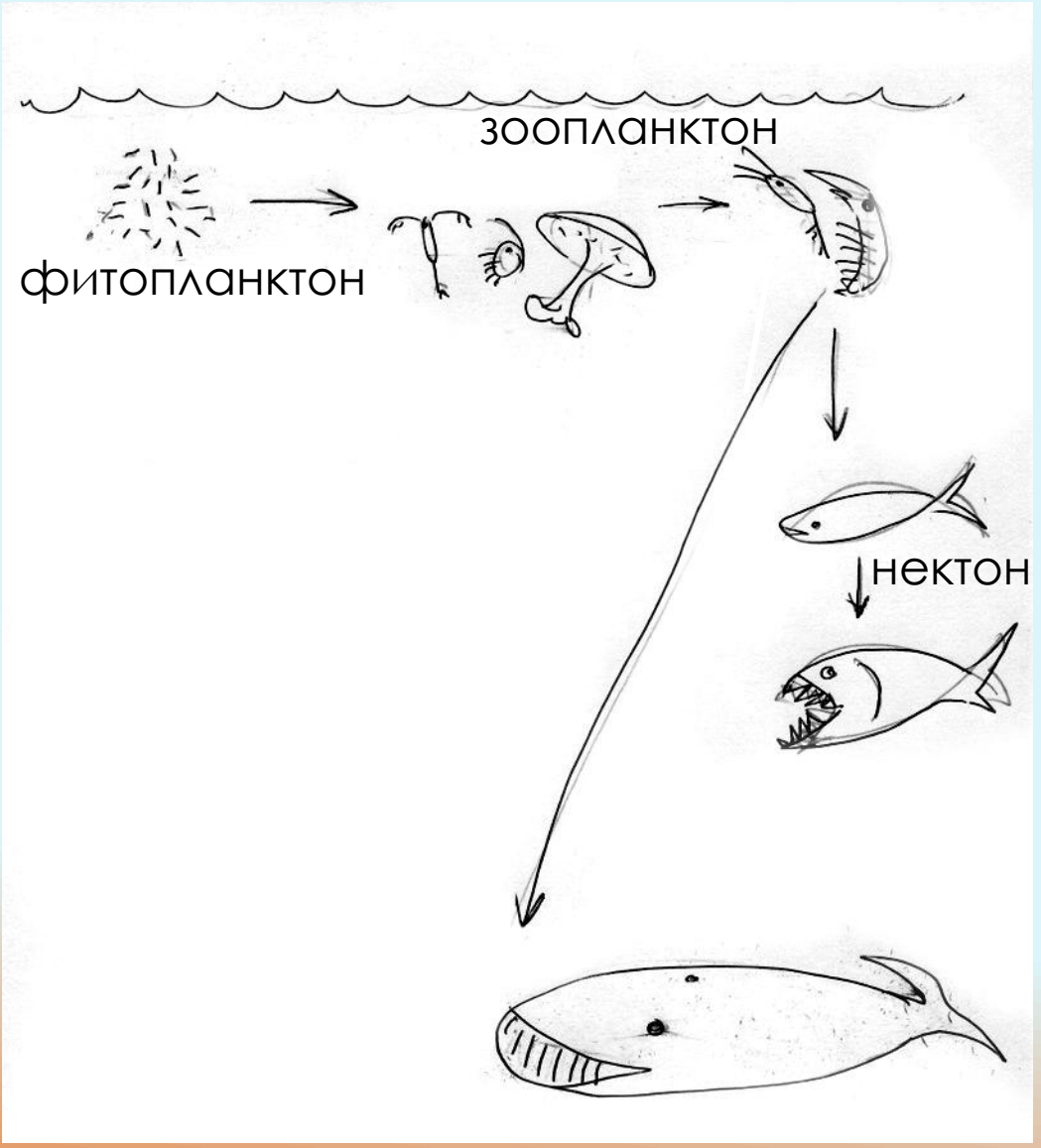
Продуктивность экологической системы –скорость, с которой продуценты усваивают лучистую энергию в процессе фотосинтеза, образуя органическое вещество, которое может быть использовано в качестве пищи

Зоны повышенной продуктивности:

- Прибрежные зоны
- Зоны апвеллингов



Трофические сети в океане

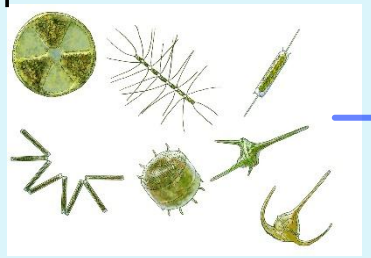


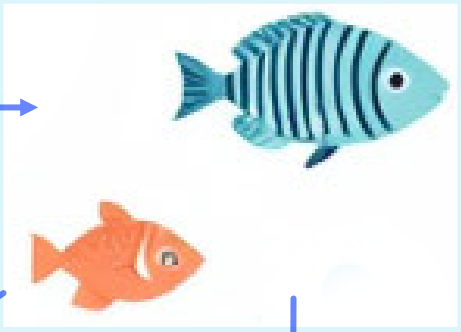
Линейная (пастбищная) трофическая цепь:

(фитопланктон — зоопланктон — нектон)

Нектон: совокупность водных, активно плавающих организмов, обитающих в толще воды и способных противостоять силе течения и самостоятельно перемещаться на значительные расстояния.

Кальмары, рыбы, морские змеи, черепахи, китообразные, ластоногие, пингвины





Линейная пастбищная трофическая цепь

фитопланктон

зоопланктон

нектон

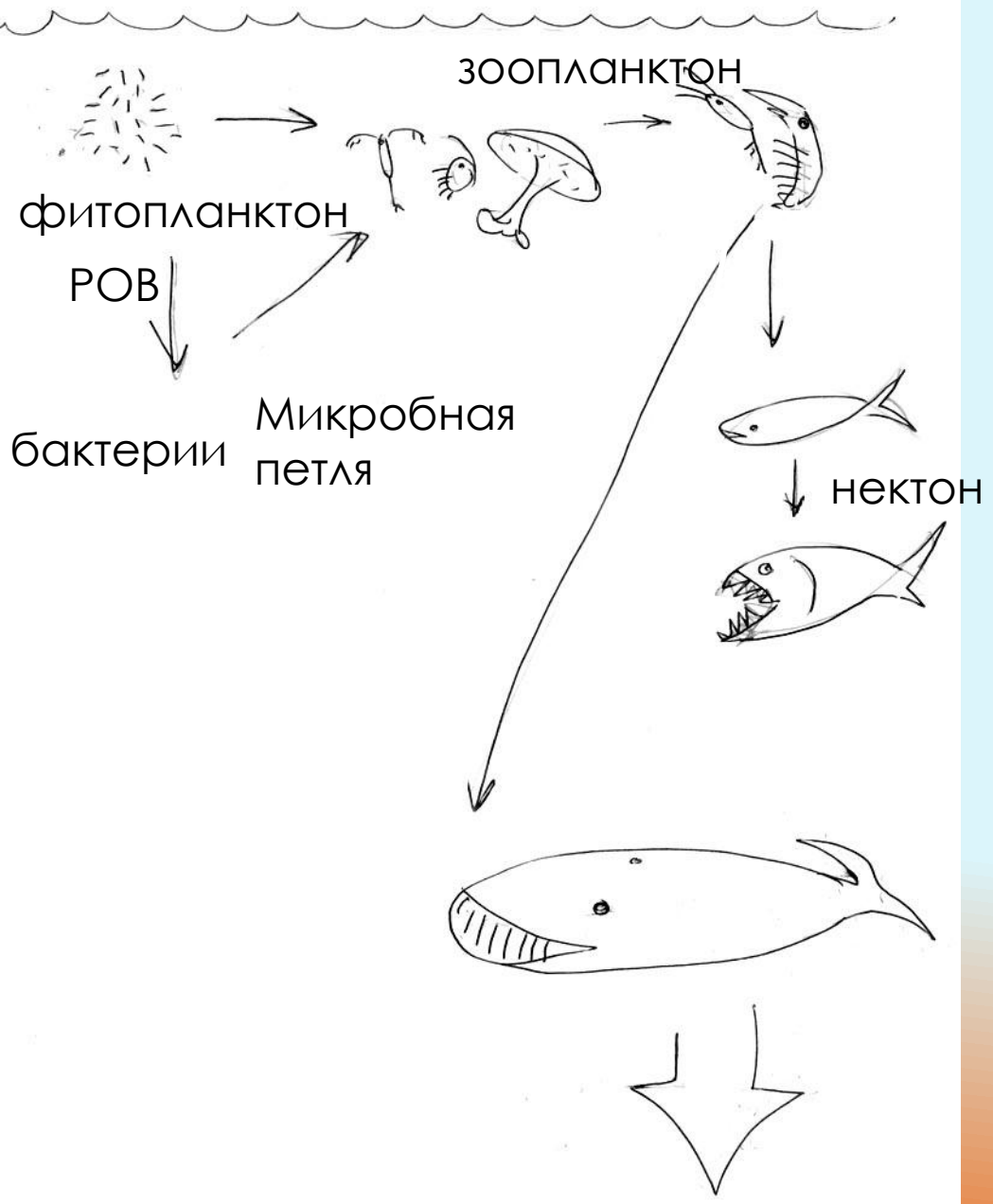
нектон

нектон

нектон

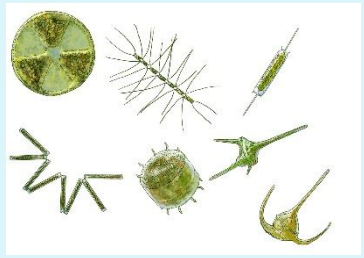
нектон

Трофические сети в океане

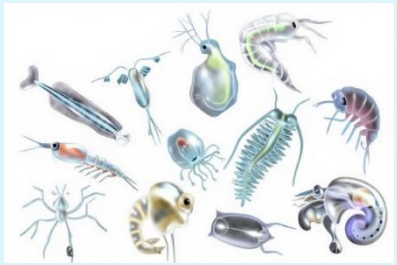


Линейная пастбищная трофическая цепь:
(фитопланктон — зоопланктон — нектон)

Микробная петля: РОВ (растворенное органическое вещество) — бактерии — простейшие



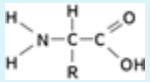
фитопланктон



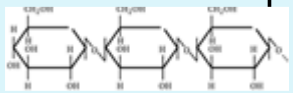
зоопланктон

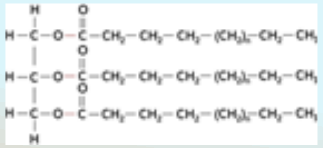
нектон

Линейная пастбищная трофическая цепь

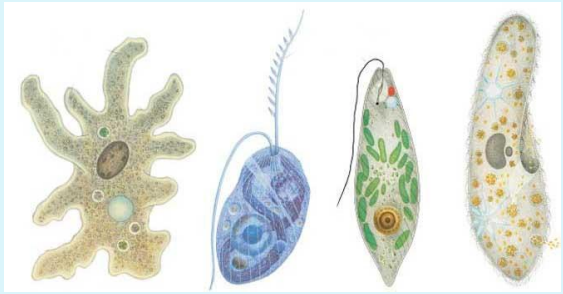


РОВ (растворенное органическое вещество)



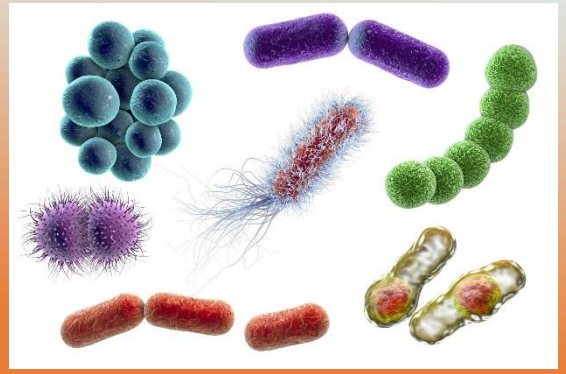


простейшие



Микробная петля

бактерии



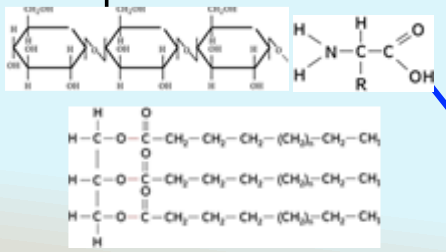
Растворенное органическое вещество (РОВ):
смесь различных органических соединений, которые находятся в растворе в воде.
Это органические кислоты, аминокислоты, углеводы, протеины, жиры и другие органические вещества.

Микробная петля

фитопланктон

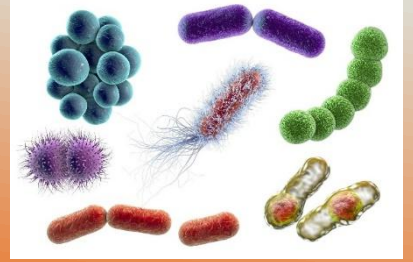
зоопланктон

РОВ (растворенное органическое вещество)



простейшие

бактерии



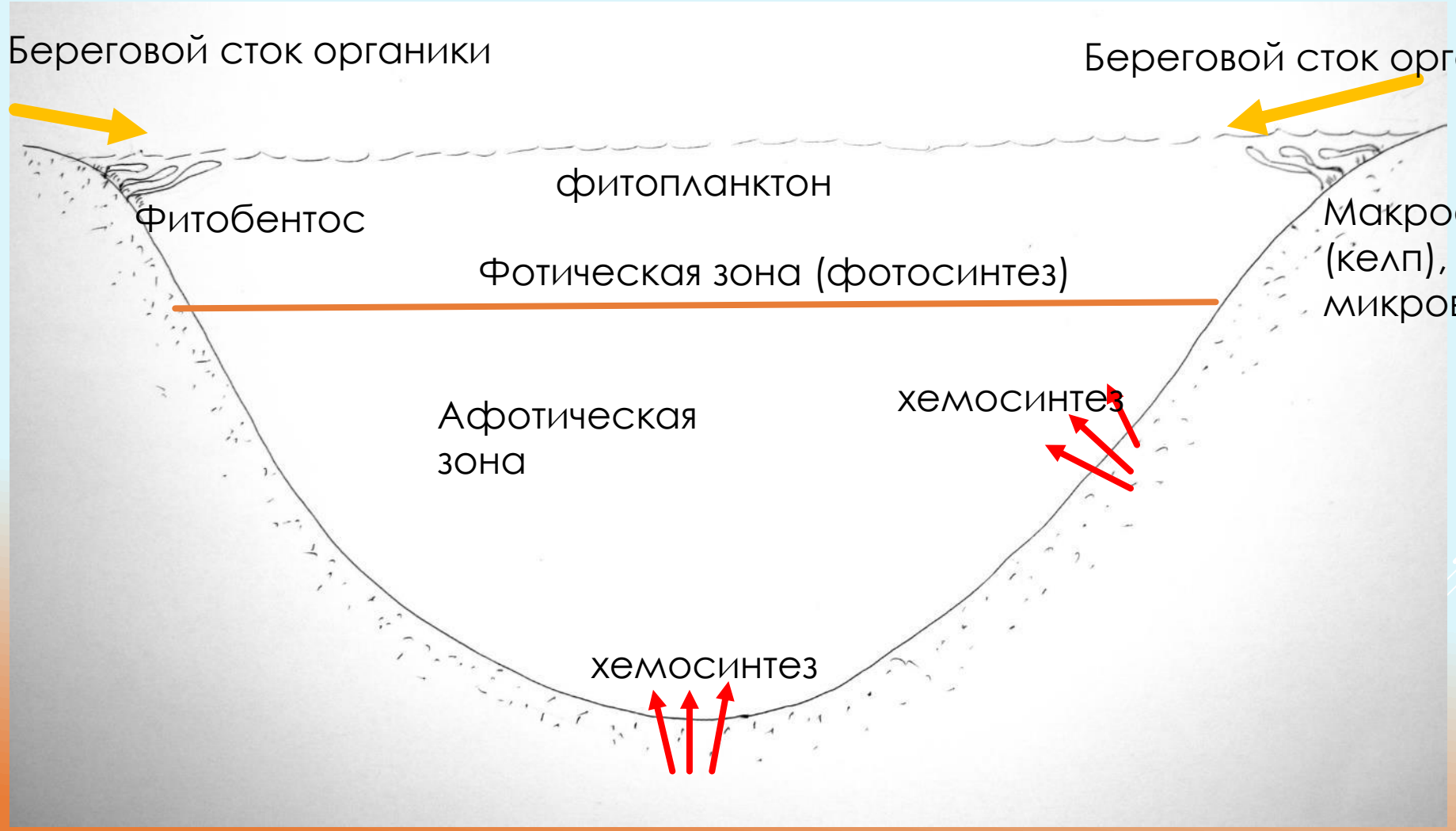
- Замыкает цикл в поверхностных водах, сохраняя ресурсы в системе
- Ускоряет круговорот питательных веществ (N, P, Fe)
- Поддерживает продуктивность в «пустынных» олиготрофных водах. Здесь микробная петля становится доминирующим путем потока энергии
- Создает «стартовую площадку» для пищевой цепи
- Часть бактерий и простейших включается в «морской снег» (агломераты, которые тонут)

Итак, апвеллинг и прибрежный сток создают "оазисы" продуктивности в фотической зоне

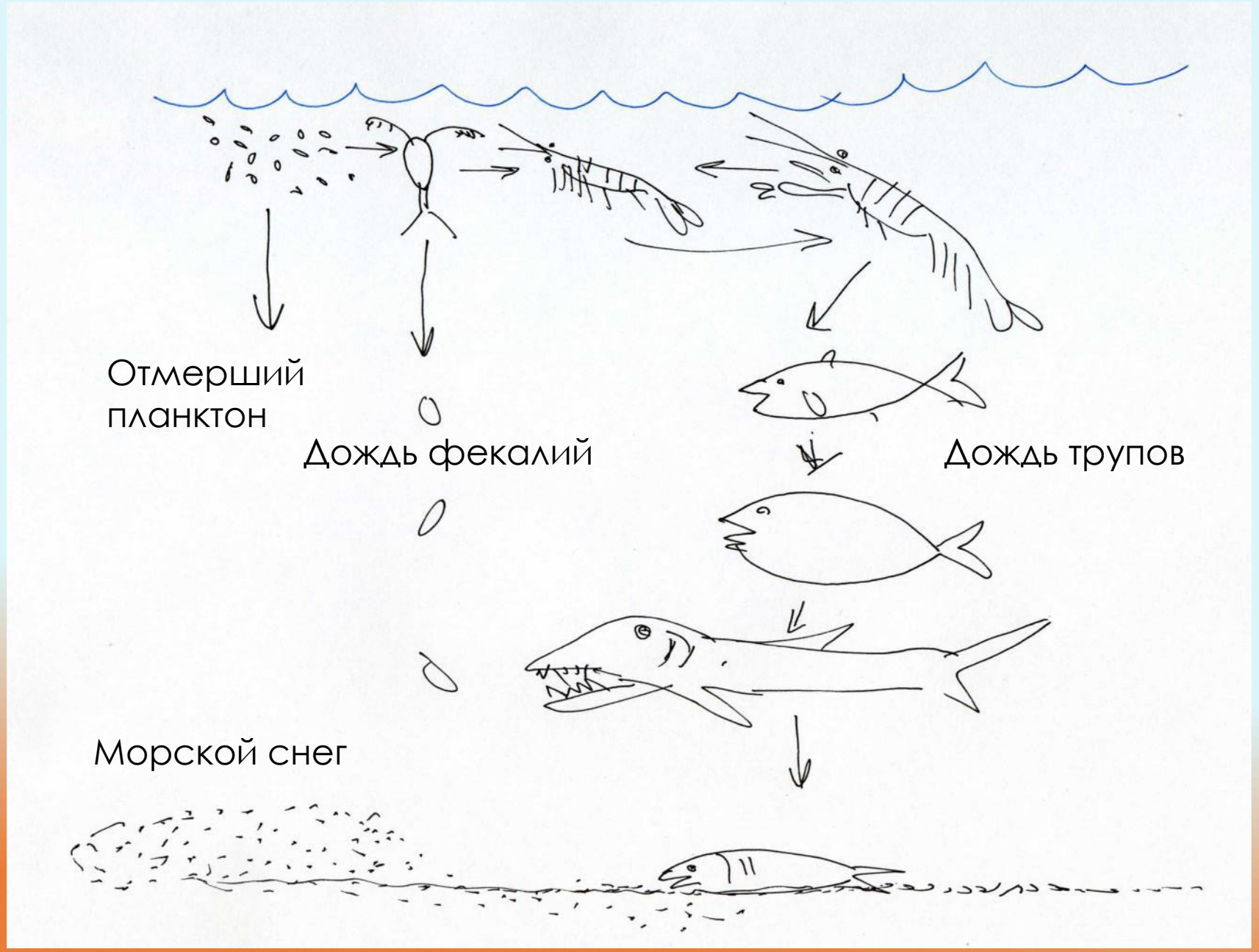
Рыбы в одних частях океана много, а в других совсем нет. Теперь понятно, почему?

Но что является источником жизни в вечной темноте, куда не проникает свет? Там действуют другие принципы...

Источники органического вещества в океане



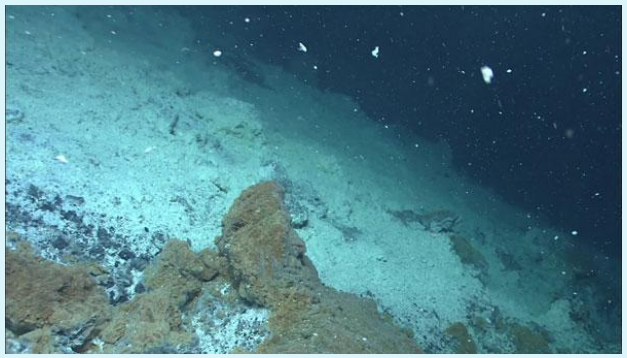
Жизнь на дне океана: источники органики



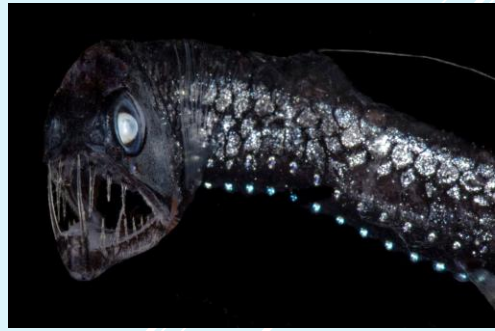
Морской снег

Медленно тонущие частицы органики: слизь, останки планктона, экскременты, пыльца, микропластик

Детритные пищевые цепи



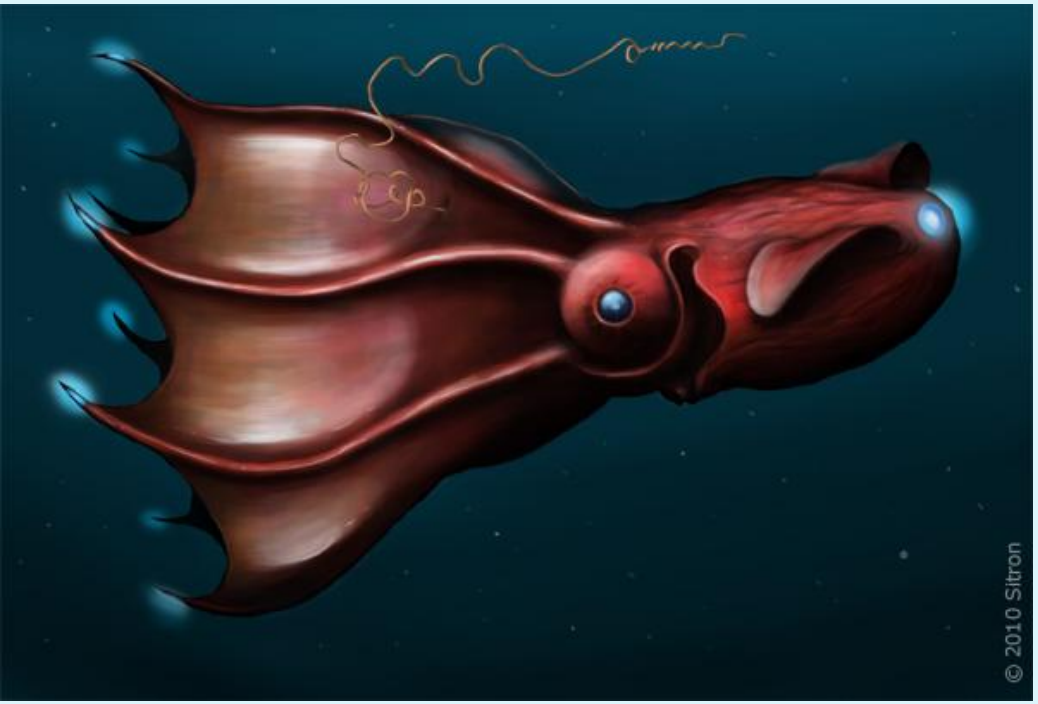
Морской снег → Фильтраторы → Хищники

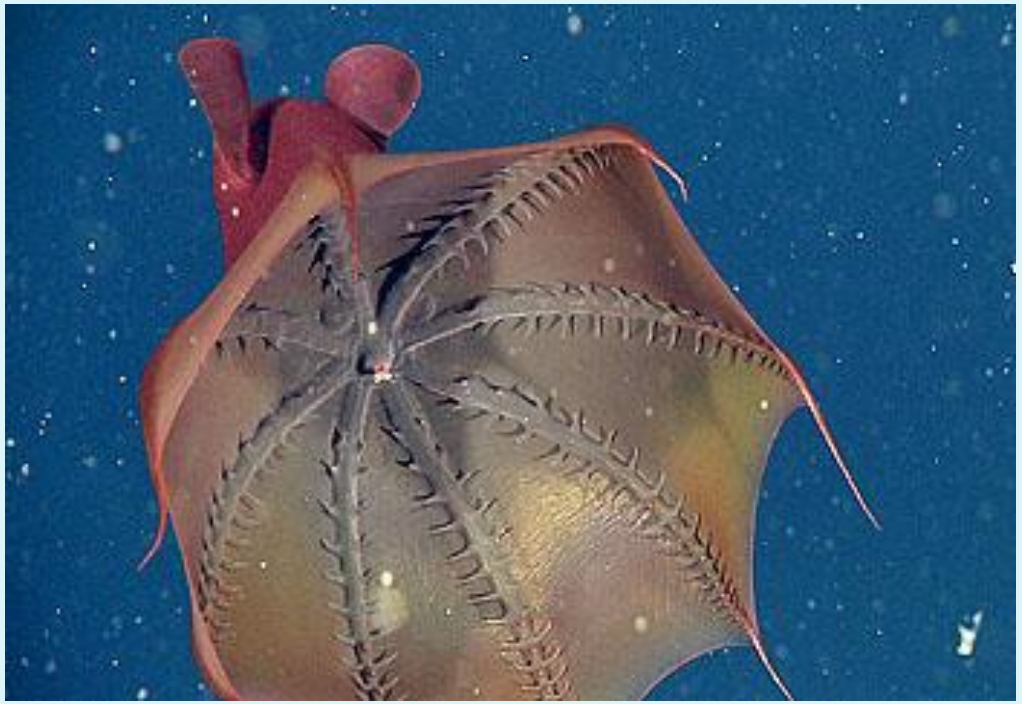


Донный осадок (седимент) → Собиратели → Хищники

Донный осадок (седимент) → Грунтоеды → Хищники

Адский кальмар-вампир





Питается морским снегом

Order: Vampyromorphida
Suborder: Vampyromorphina
Family: Vampyroteuthidae
Genus: ***Vampyroteuthis***
Vampyroteuthis infernalis

Глубоководные сообщества на тушах китов

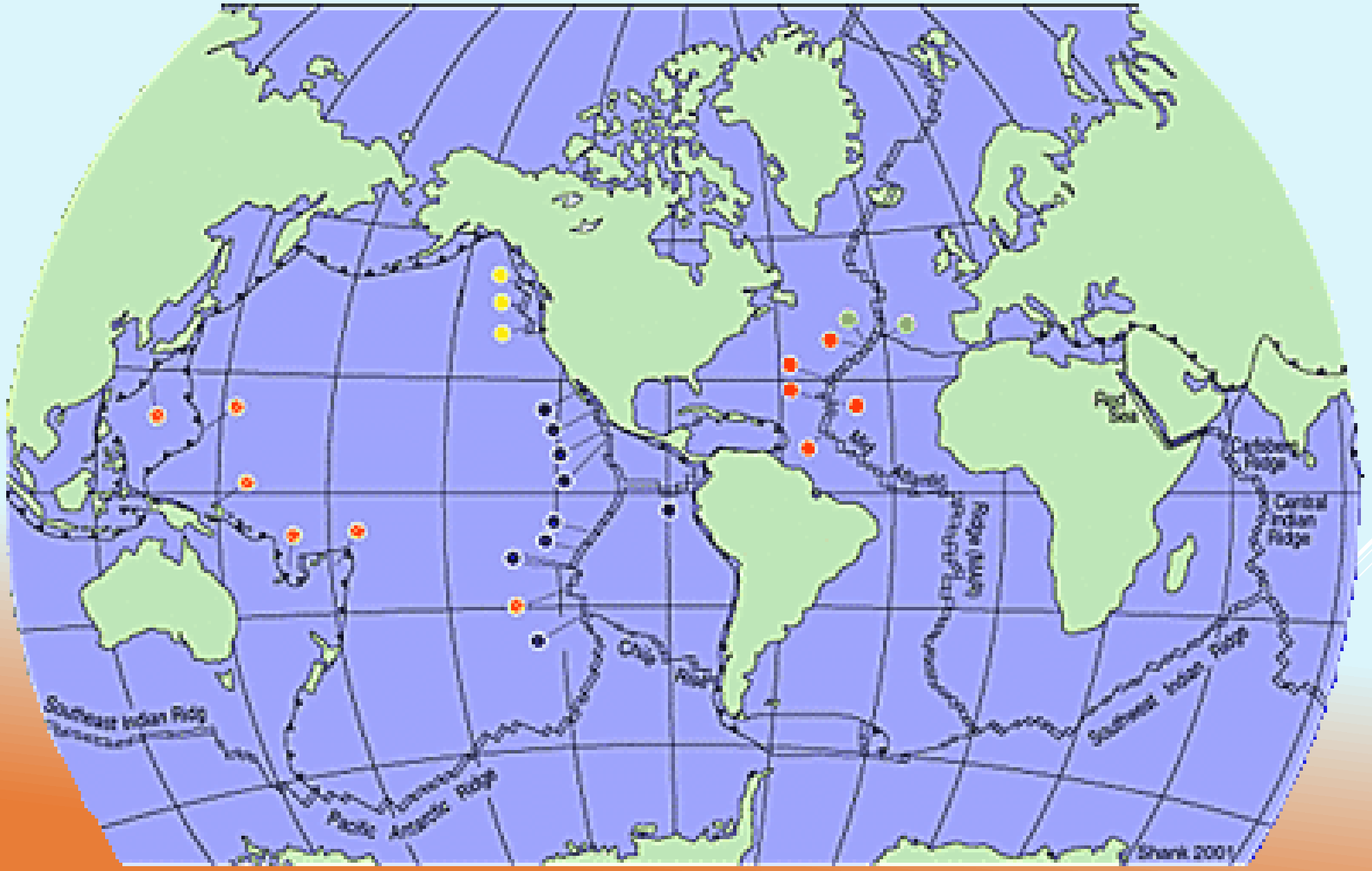
Вариант детритной пищевой цепи

Osedax (zombie worms)
Черви-костоеды

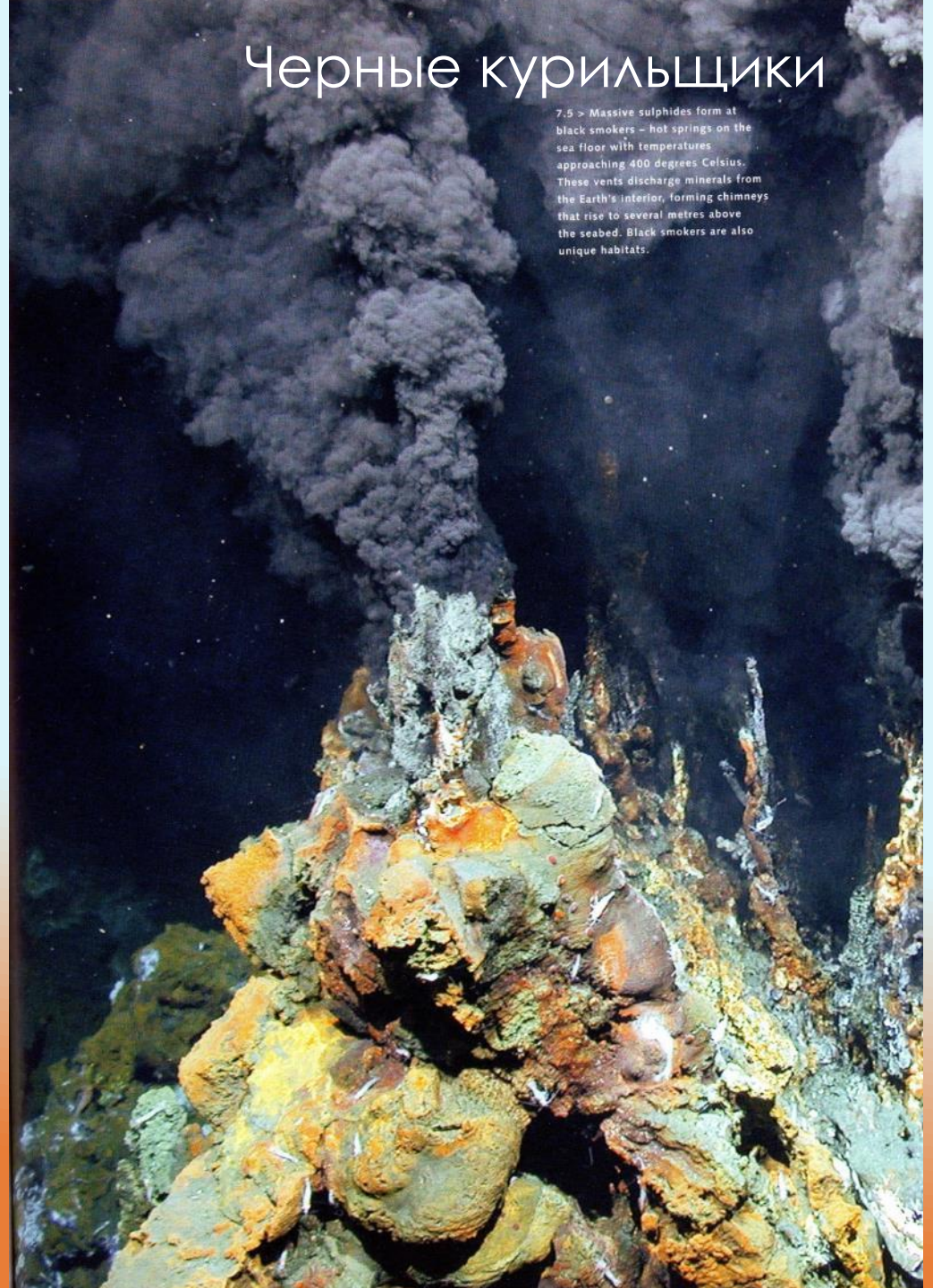
Гидротермы

Открытие гидротерм и гидротермальных сообществ - выдающееся открытие в океанологии XX века.
Первые прямые наблюдения: подводный обитаемый аппарат «Алвин», февраль 1977
Woods Hole Oceanographic Institution

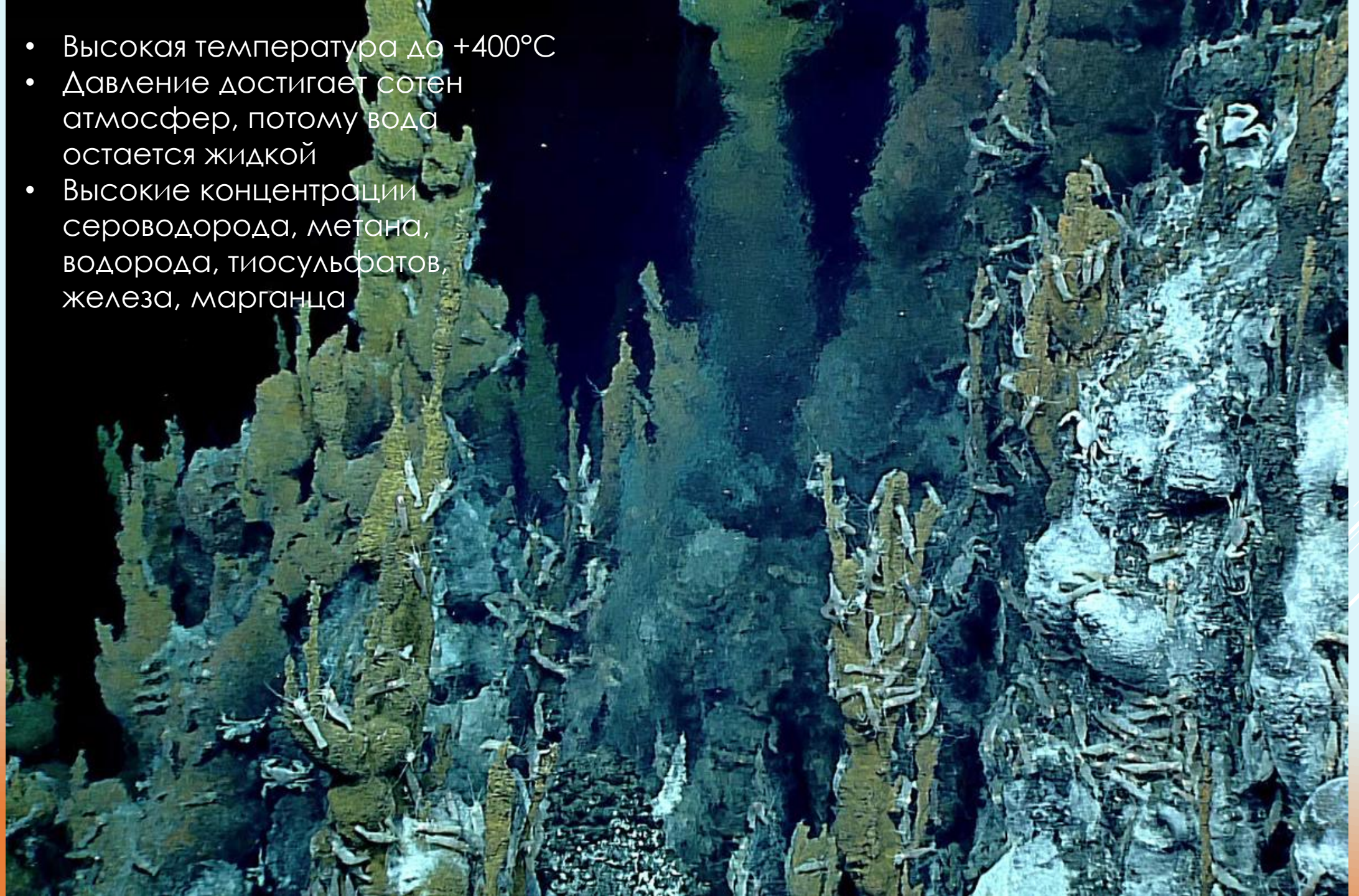
География гидротермов



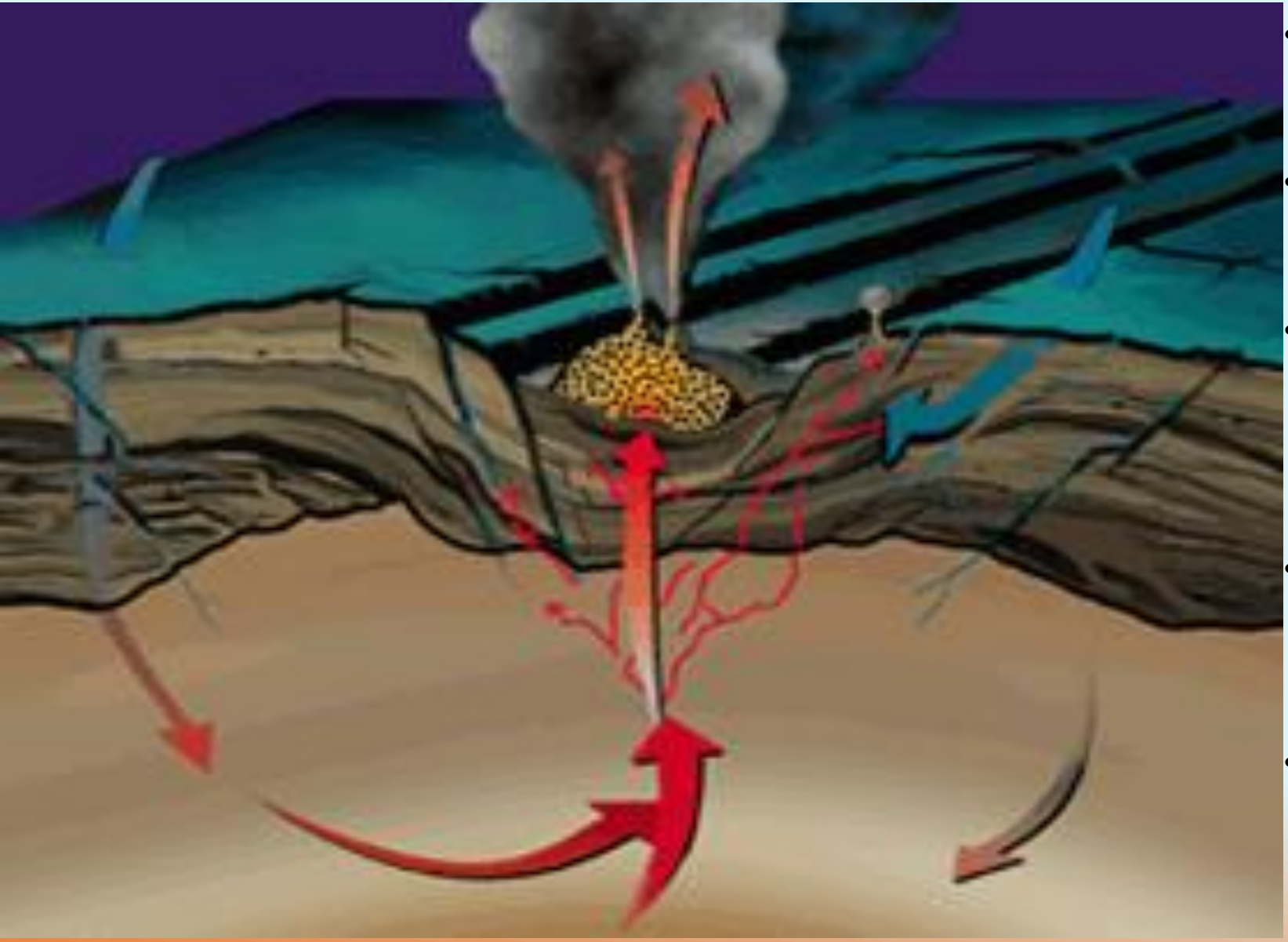
Черные курильщики



Белые курильщики



- Высокая температура до +400°С
- Давление достигает сотен атмосфер, потому вода остается жидкой
- Высокие концентрации сероводорода, метана, водорода, тиосульфатов, железа, марганца



- Срединно-океанические хребты, где расходятся тектонические плиты
- Вода просачивается по трещинам в океанической коре и встречается с магмой
- Горячая, химически агрессивная вода растворяет металлы и минералы из базальта: серу, медь, цинк, железо, свинец, барий
- Нагреваясь, вода устремляется вверх по трещинам, вырываясь на дно мощным горячим фонтаном - гидротермальным источником
- При смешивании температура резко падает, меняется кислотность (pH), и растворенное вещество больше выпадает в осадок - так образуются трубы

Источники органического вещества в океане

Хемосинтез:

Не зависит от энергии Солнца

сероводород, сера, метан, аммиак, водород, тиосульфаты, железо, марганец и др.

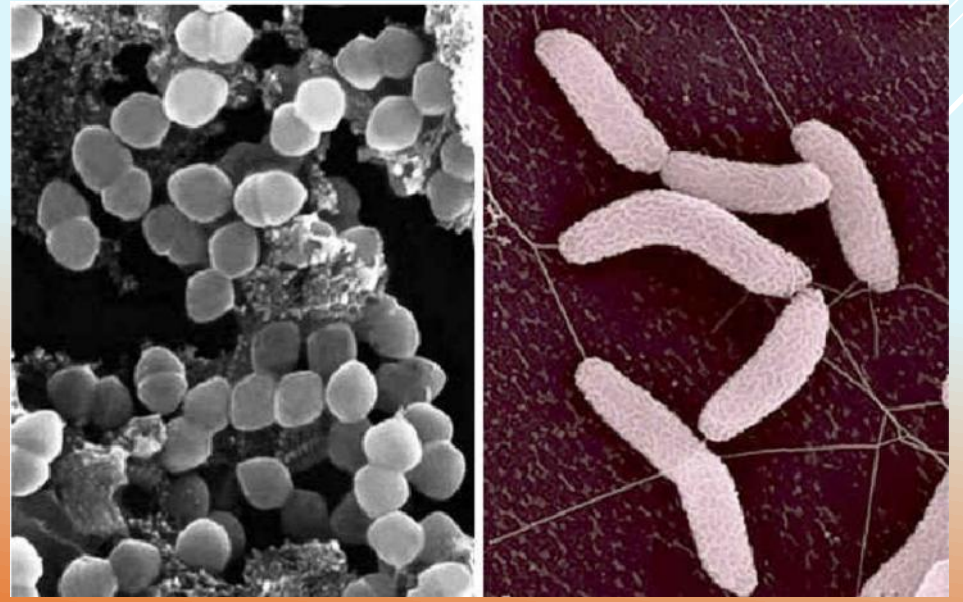
восстановленное вещество → окисленное вещество

энергия химической реакции

CO_2 → органическое вещество

сера, серная кислота, азотная кислота, соединения металлов, CO_2, H_2O и др.

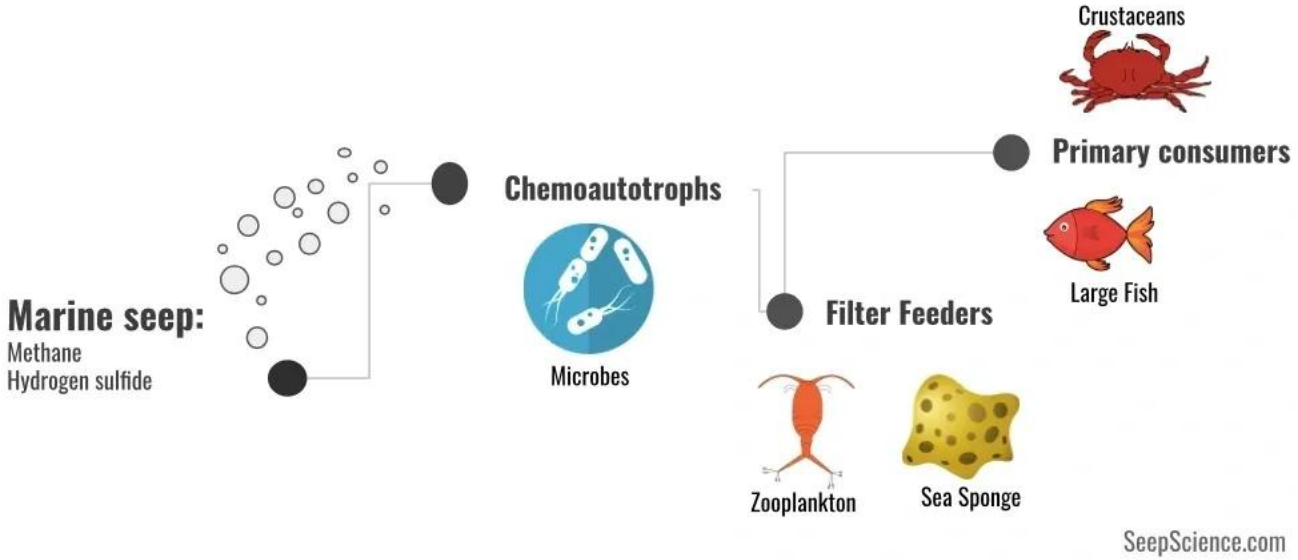
Хемоавтотрофы: серобактерии, железобактерии, метанобактерии, нитрифицирующие бактерии и др.

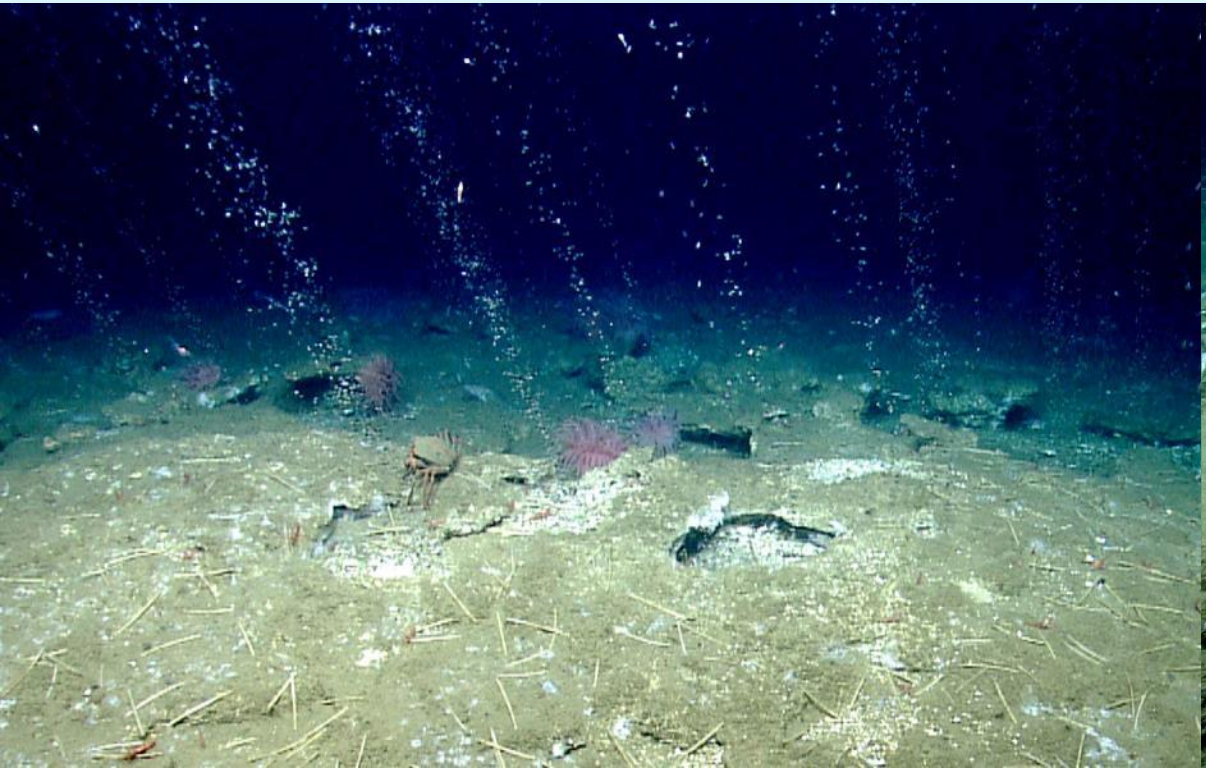


Vestimentifera
Riftia pachyptila

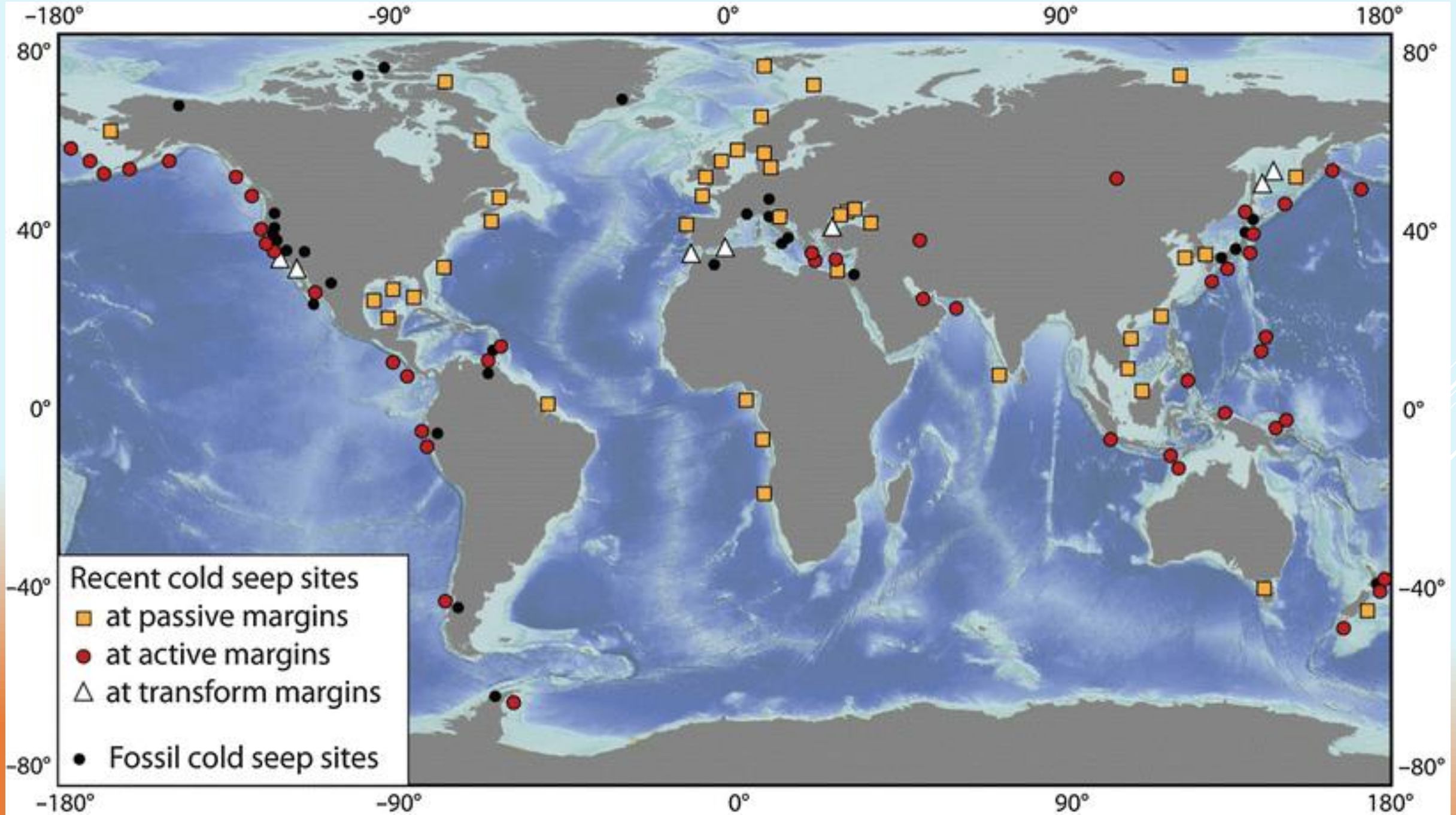
Холодные высачивания (сипы)

Чаще метан или сероводород





География холодных высачиваний

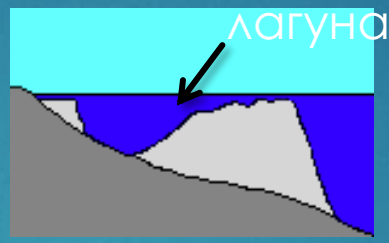


Коралловые экосистемы. Животные-строители в океане

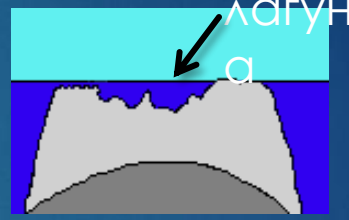
Рифы: известковые* геологические структуры биогенного происхождения

1. Береговые рифы

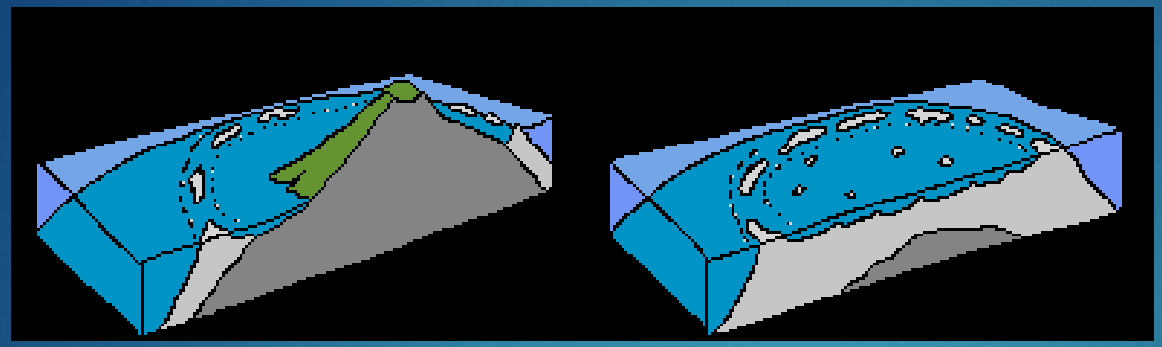
2. Барьерные рифы

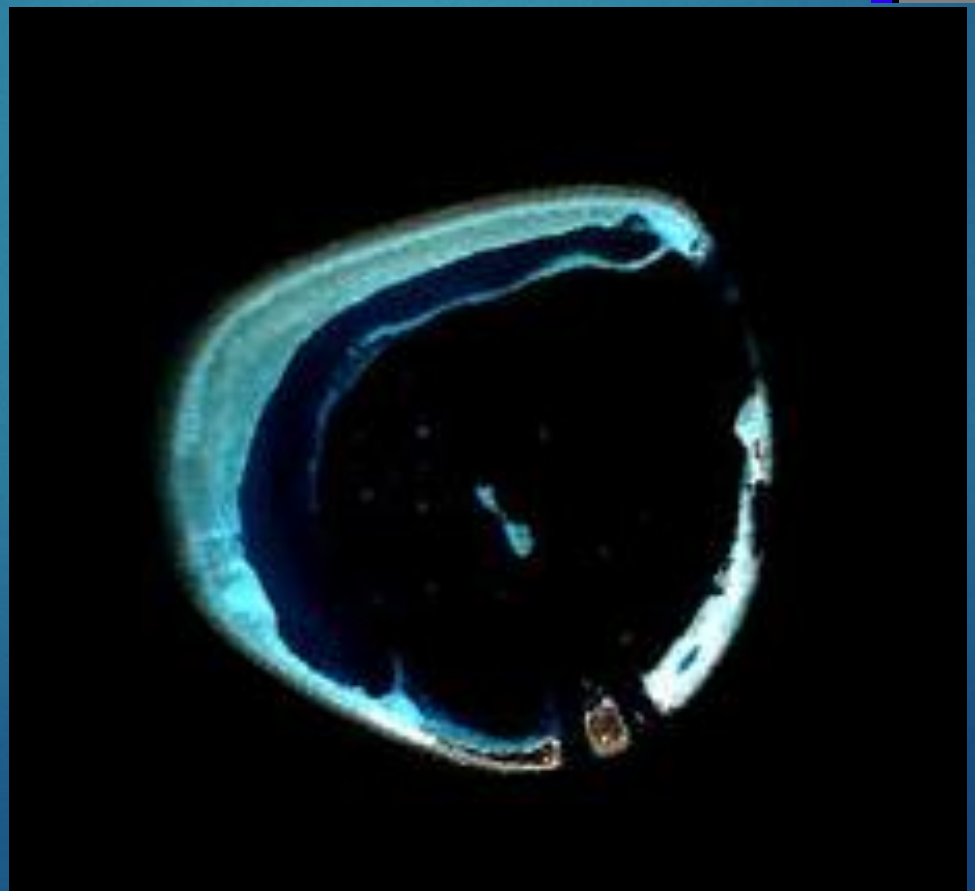


3. Атоллы

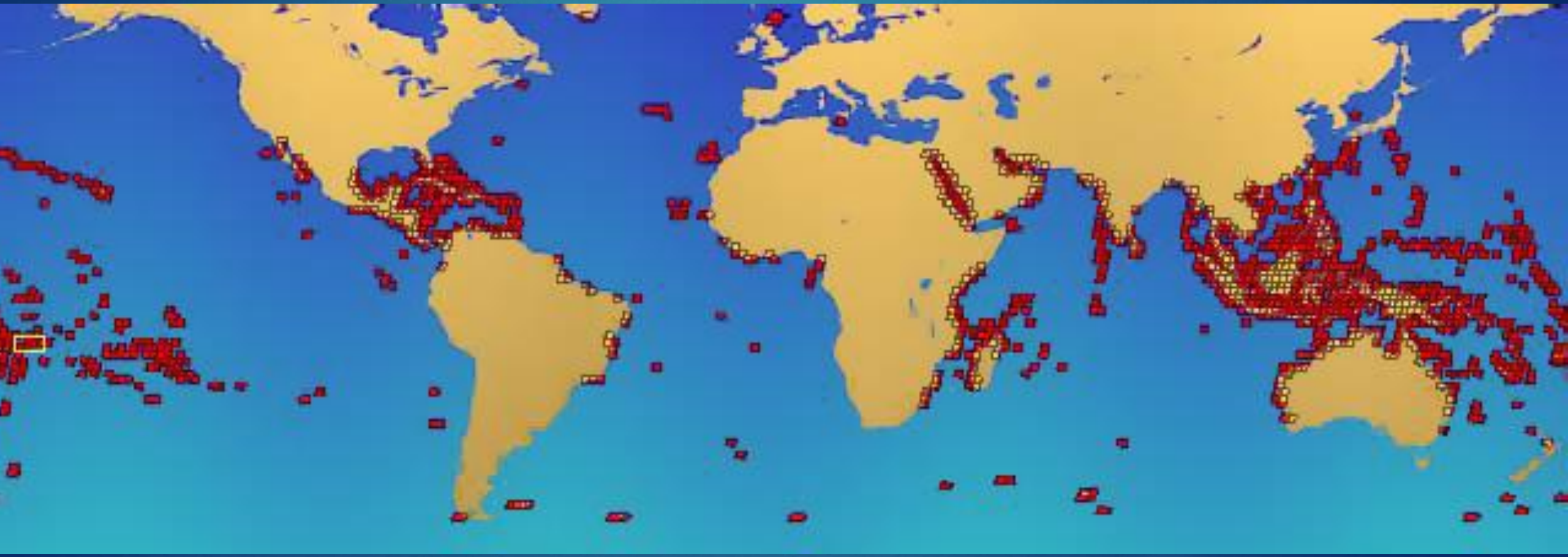


Атоллы





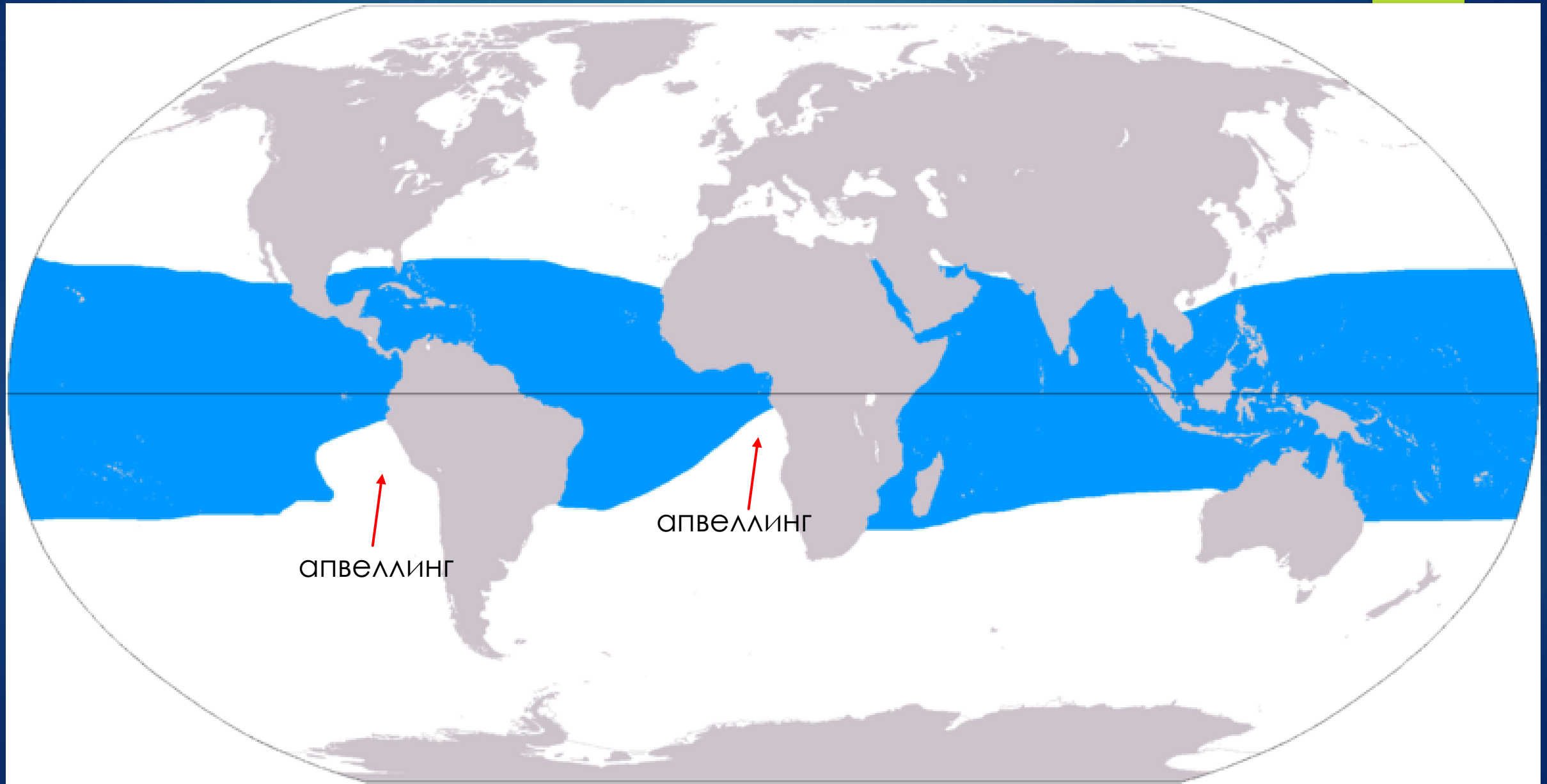
Географическое распространение коралловых рифов



Рифы мира

Желтый – атоллы, зеленый – барьерные, красный - береговые

Изотерма 20 °С



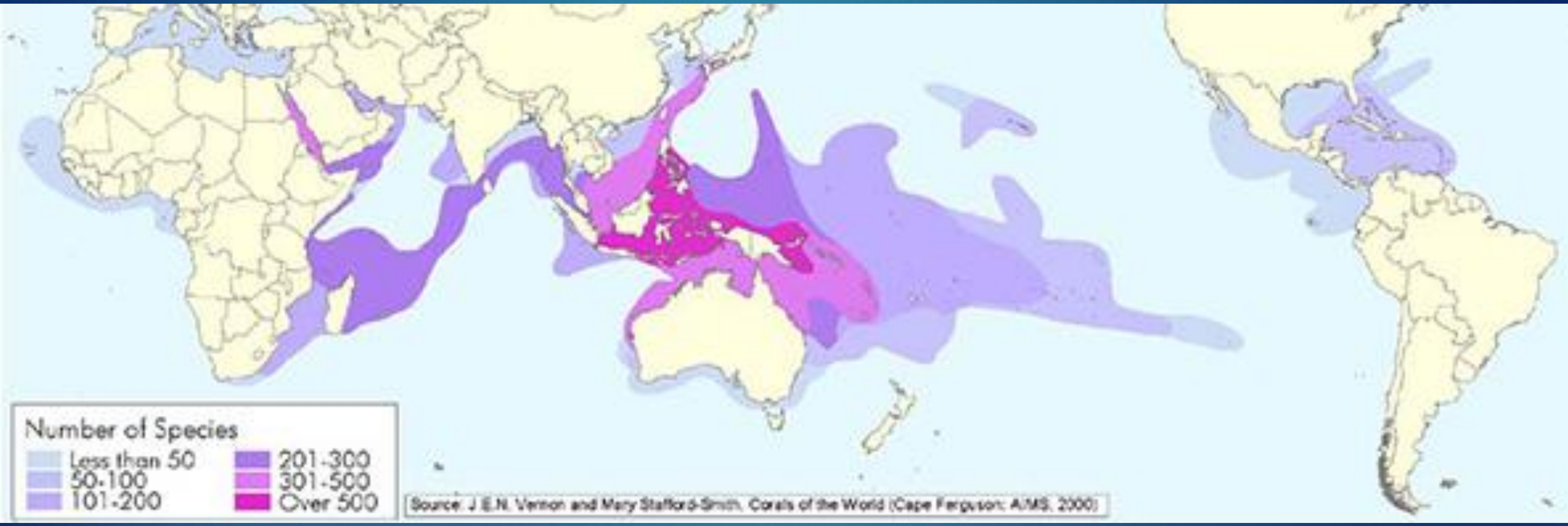
Коралловый риф

Коралловый риф

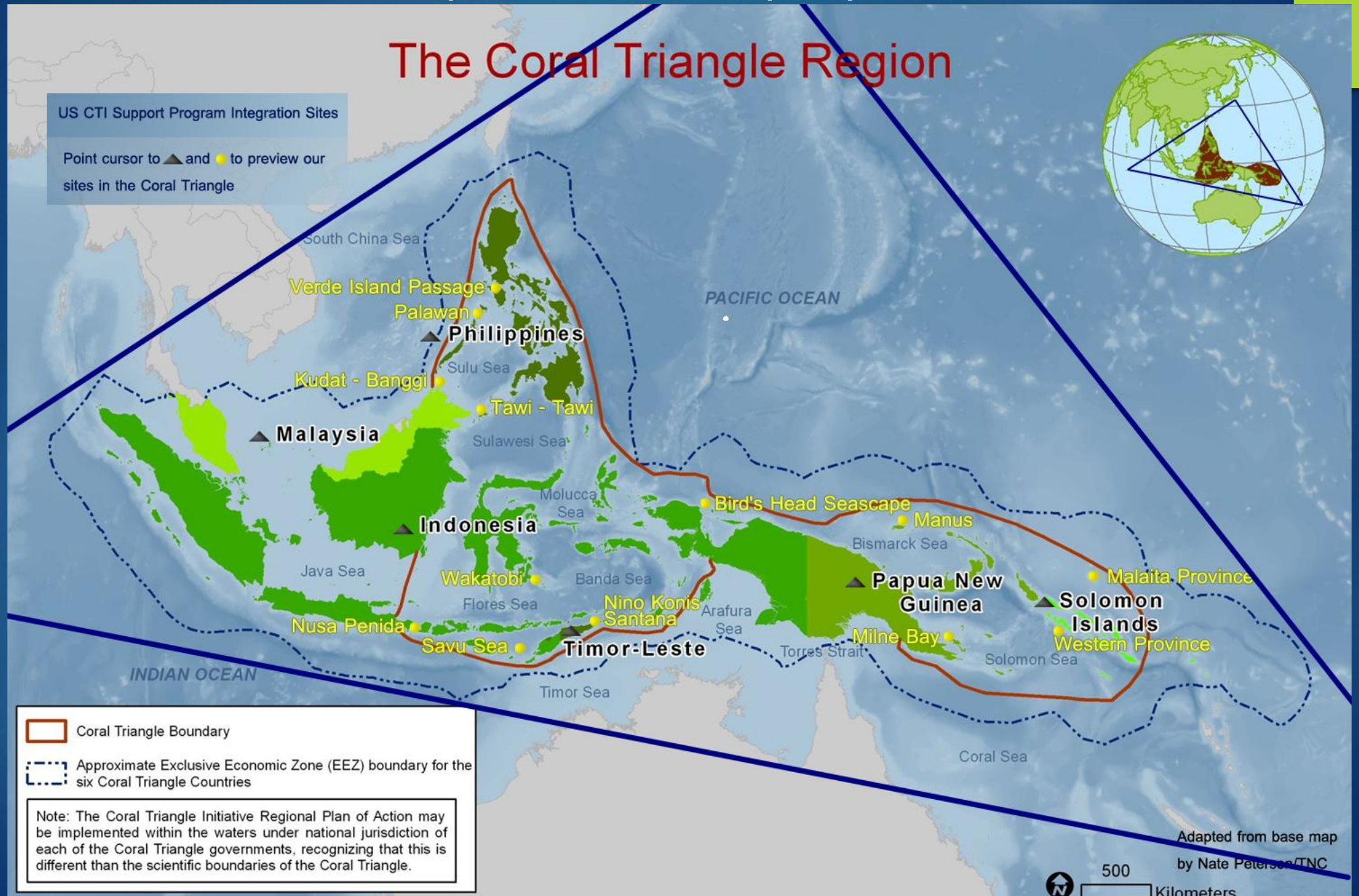
Коралловые рифы - оазисы жизни среди пустыни океана (Ч.Дарвин)

- 0.1 - 0.2% площади океанского дна, более 25% по числу видов
- Одни из наиболее сложных по составу и продуктивных экосистем на Земле (продукция в сотни раз больше, чем в окружающей пелагиали)
- Ландшафт образующие сообщества. Толщина кораллового известняка достигает 2 км

Биоразнообразие в океане



Коралловый треугольник

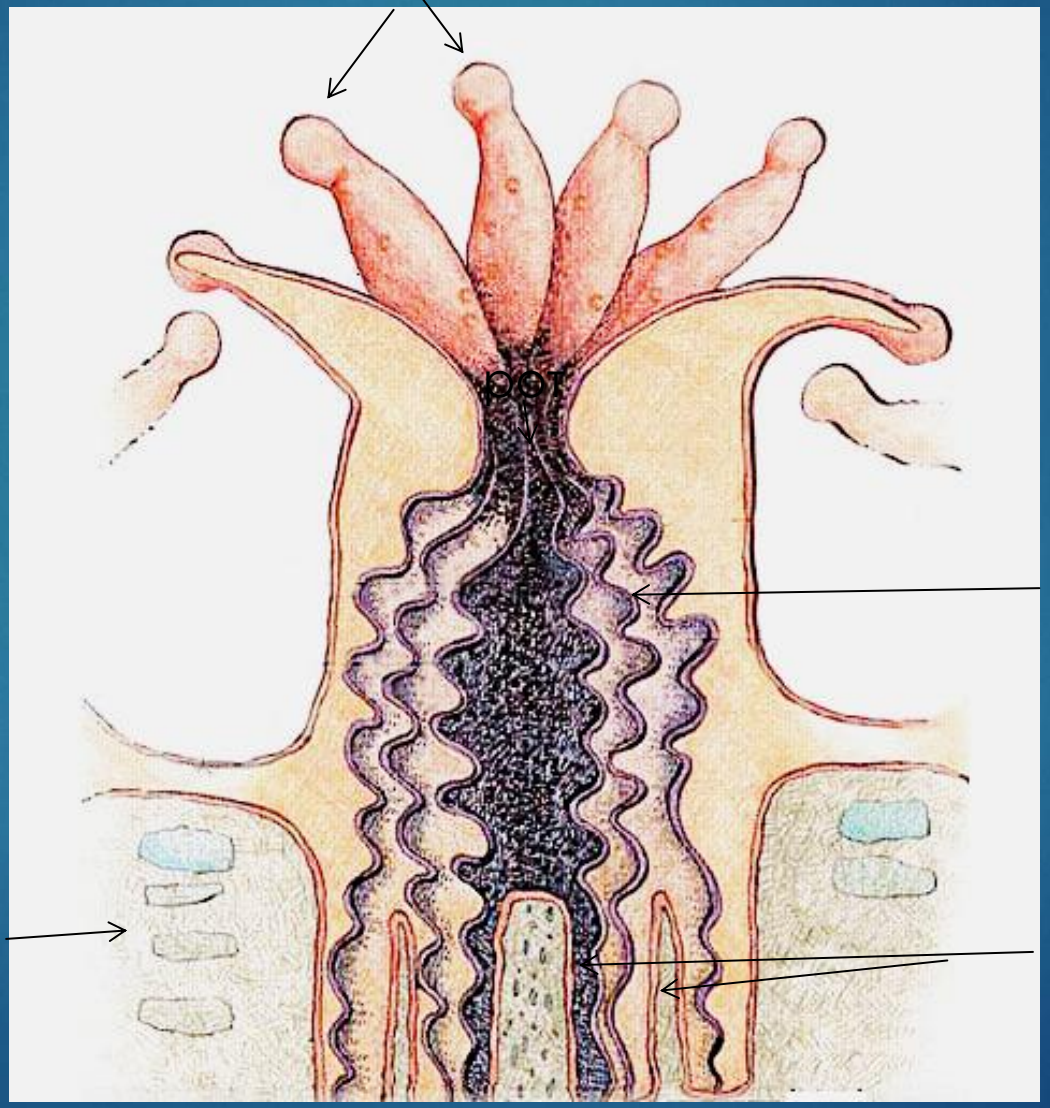


Строители коралловых рифов

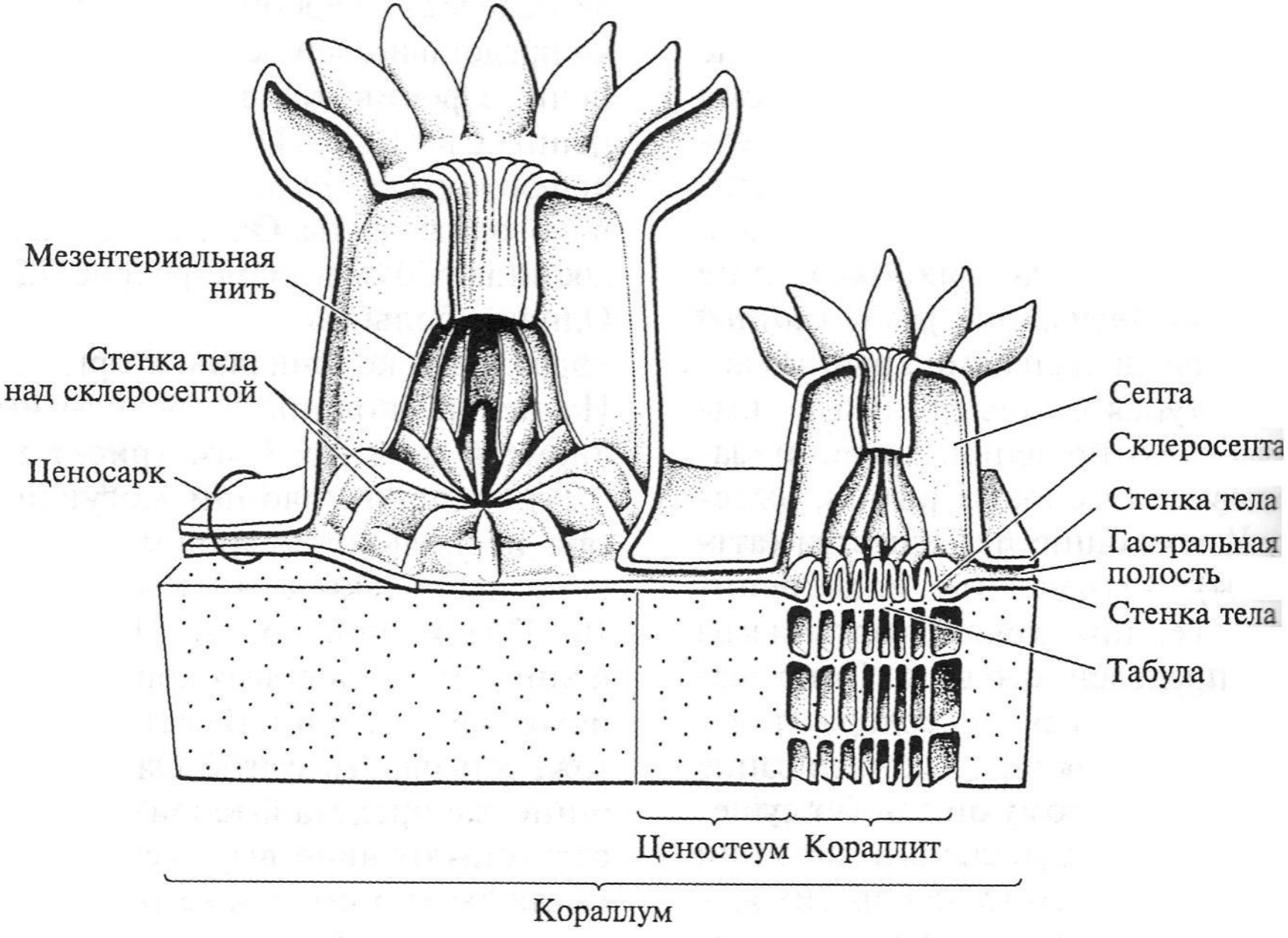
Тип Стрекающие: Cnidaria
Класс Anthozoa: Коралловые полипы
Подкласс Шестилучевые кораллы : Hexacorallia
Отряд Мадрепоровые кораллы: Scleractinia (Madreporaria)
800 видов, 110 родов

http://www.coralcoe.org.au

Схема строения кораллового полипа



Участок колонии, вид в разрезе



Коралловые полипы

А.Семенов

Форма коралловых колоний - ветвистые


Столовые кораллы


А.Семенов

Форма коралловых колоний - массивные

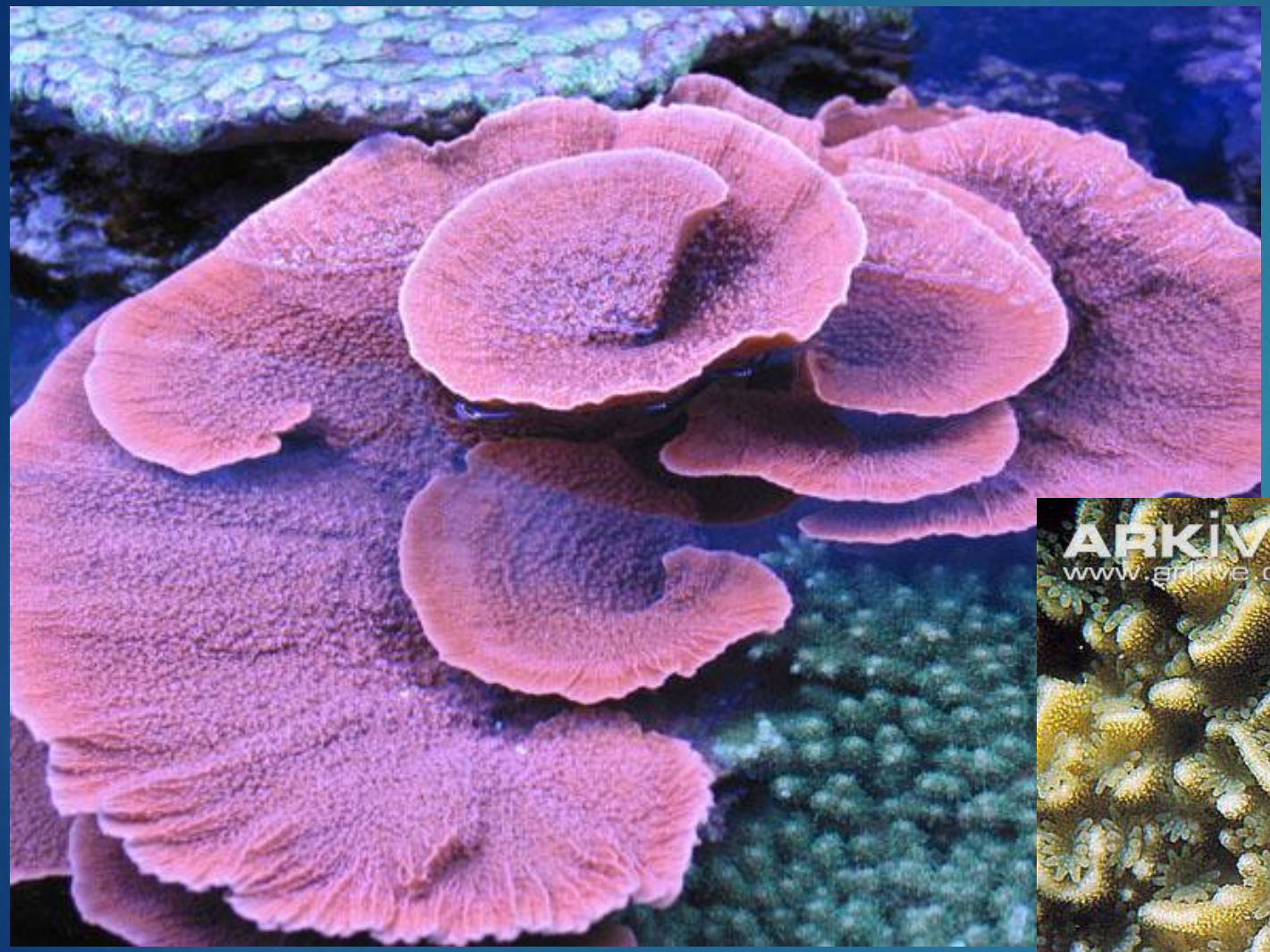
Форма коралловых колоний - массивные

Коралловые головы

Кораллы-мозговики

А.Семенов

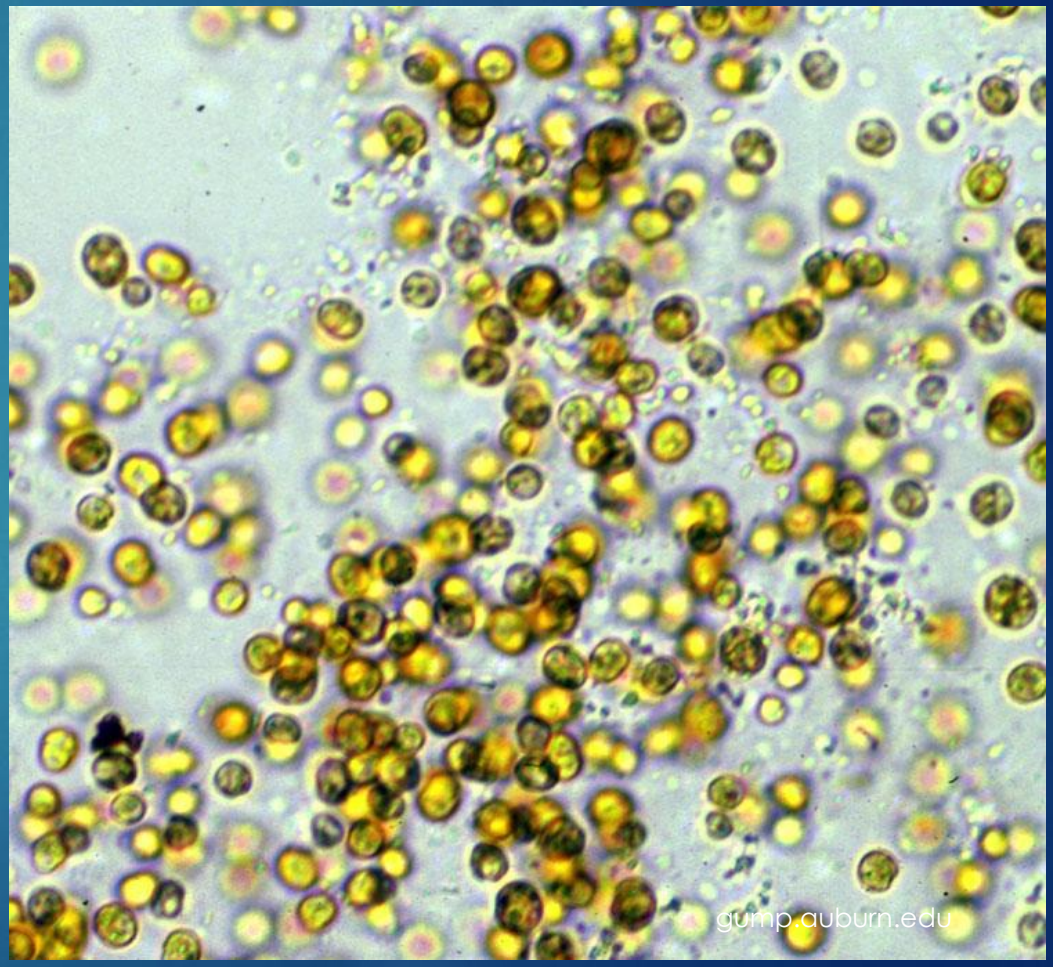
Форма коралловых колоний - пластинчатые



Способы питания кораллов:

- Автотрофное (за счет фотосинтеза симбиотических водорослей)
- Поглощение растворенных органических веществ
- Фильтрация
- Хищничество

Симбиоз с зооксантеллами



Зооксантеллы:

- Относятся к типу Dinoflagellata, который входит в группу Alveaolata (также включает инфузорий и споровиков)
- В основном свободноживущие планктонные организмы, есть также паразиты
- В симбиотические отношения вступают виды рода ***Symbiodinium***, реже ***Amphidinium.*** Они же могут быть и свободноживущими. Кораллы получают их либо от материнского организма, либо из окружающей среды.
- Обеспечивают хозяина углеводородами (глицерин, глюкоза, аминокислоты, жиры), получают взамен углекислый газ, аммоний, нитраты, фосфаты

Биохимические процессы, происходящие в клетках кораллов-рифостроителей

- Дыхание (все живые организмы*):

Органическое вещество + $O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O$ + энергия

- Фотосинтез (растения, на свету):

$CO_2 + H_2O \longrightarrow$ органическое вещество + O_2

- Образование извести - кальцификация (кораллы и другие герматипные организмы:

$$Ca(HCO_3)_2 \rightleftharpoons CaCO_3\downarrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

Обесцвечивание (bleaching)

Обесцвечивание (bleaching)

1998, 2010, 2016–2020, 2023-сейчас

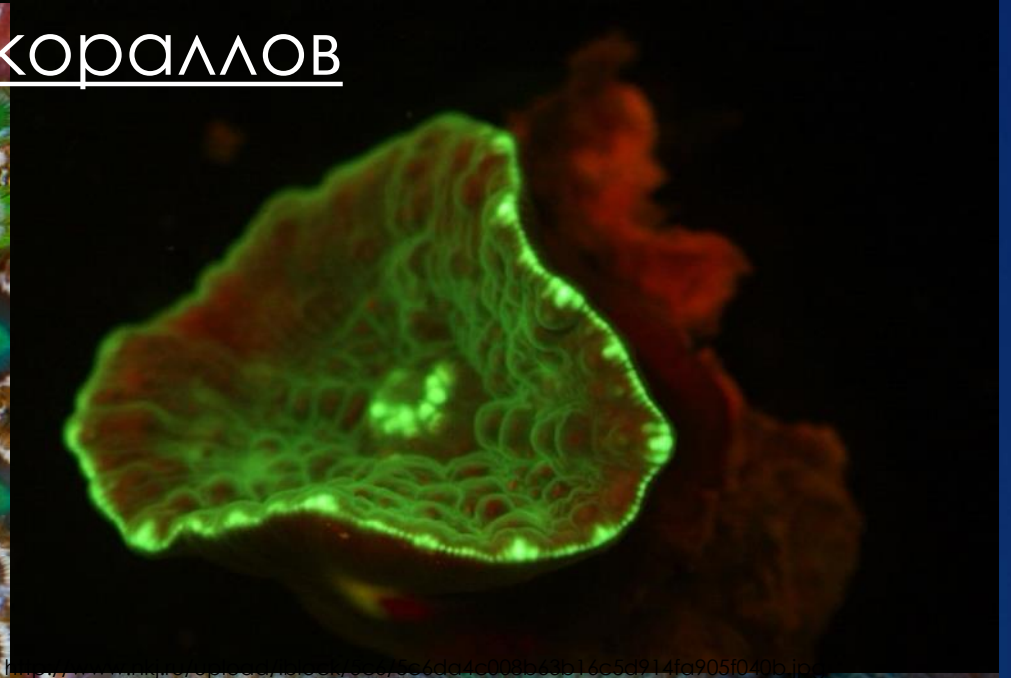
Большой барьерный риф, 2016

http://www.globalcoralbleaching.org

http://www.globalcoralbleaching.org

Цветные белки кораллов

А.Семенов

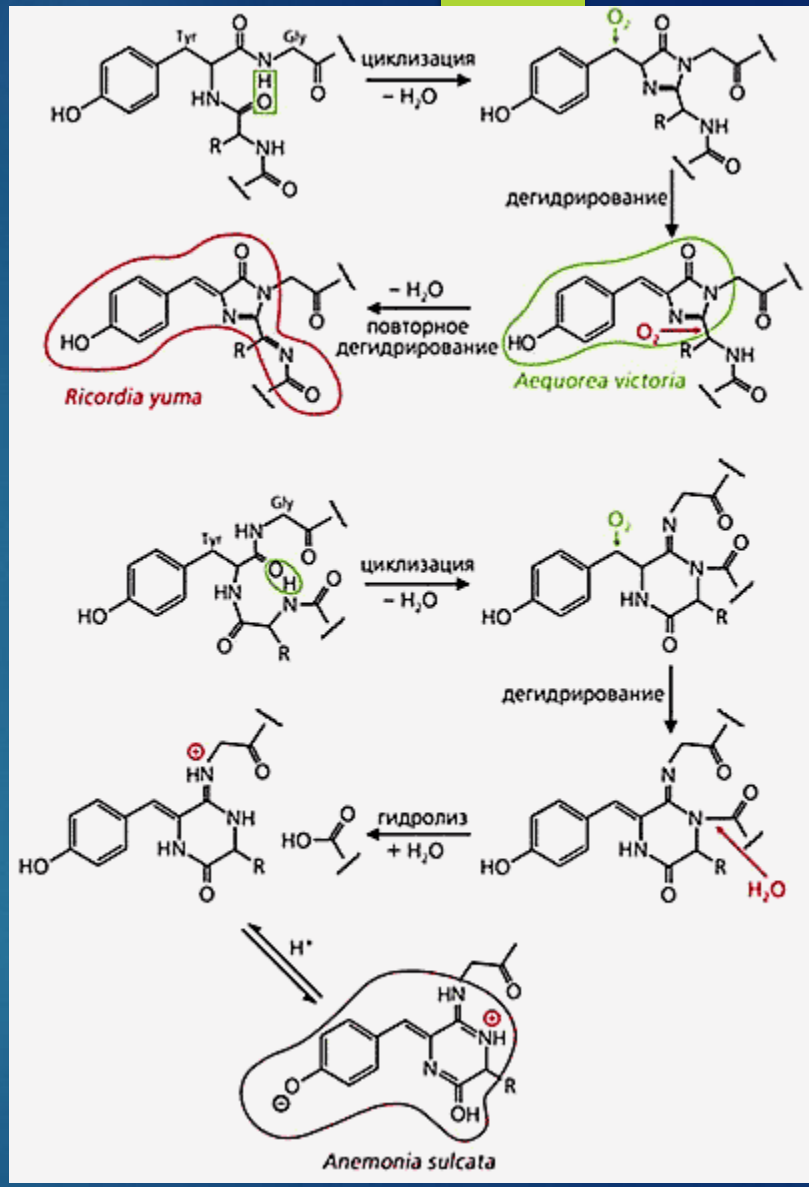


http://www.nkj.ru/upload/iblock/e34/e34620da3a55d628e1c4d77a20bb37e7.jpg

А.Семенов

Клонировано уже более 200 генов GFP(green fluorescent protein)-подобных белков из разных видов несветящихся кораллов. Большинство этих белков ответственно за цветную флуоресценцию всего животного или отдельных участков тела. Другие - за пурпурную или голубую окраску.

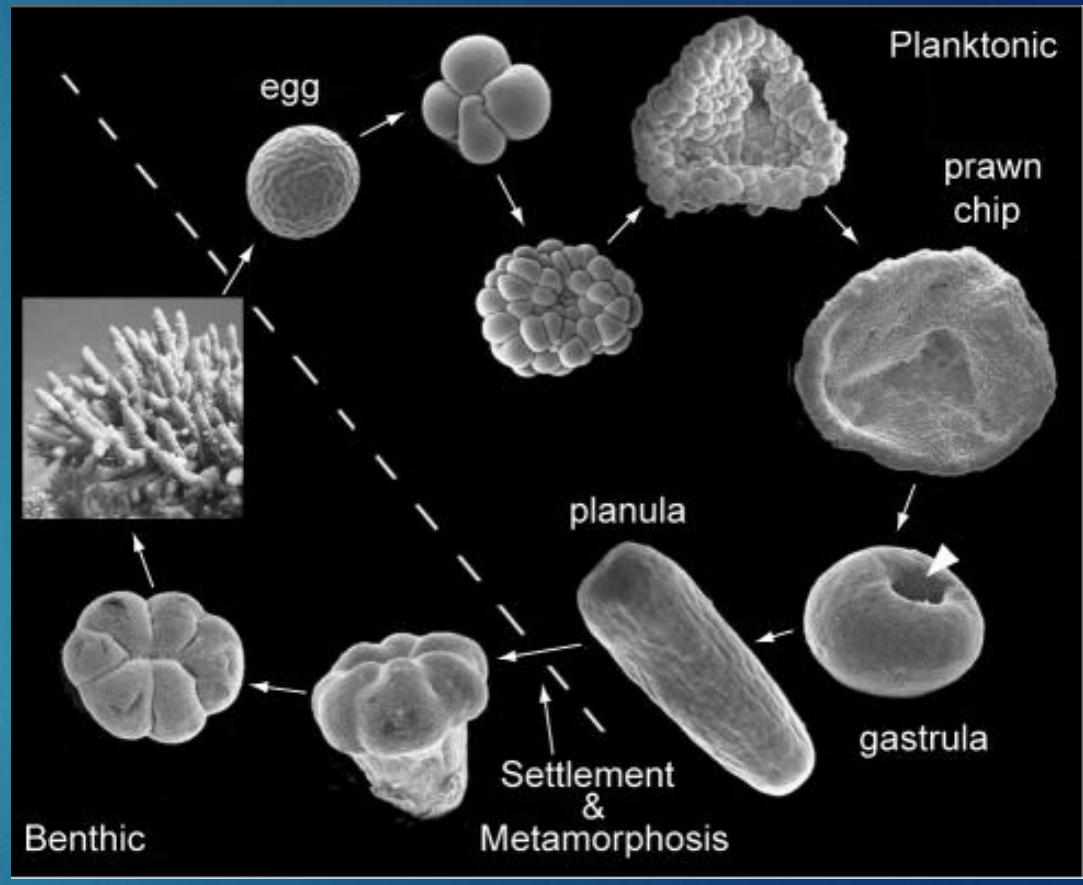
Считается, что цветные белки служат экраном, который предотвращает чрезмерную активацию фотосинтеза у зооксантелл при слишком ярком свете.
Возможно, одна из функций цветной флуоресценции глубоководных видов кораллов - преобразование ультрафиолетового и фиолетово-синего света глубин в более длинноволновый, делающий возможным фотосинтез симбионтов.



Формирование хромофорных групп в молекулах двух флуоресцирующих белков (вверху) и одного цветного белка

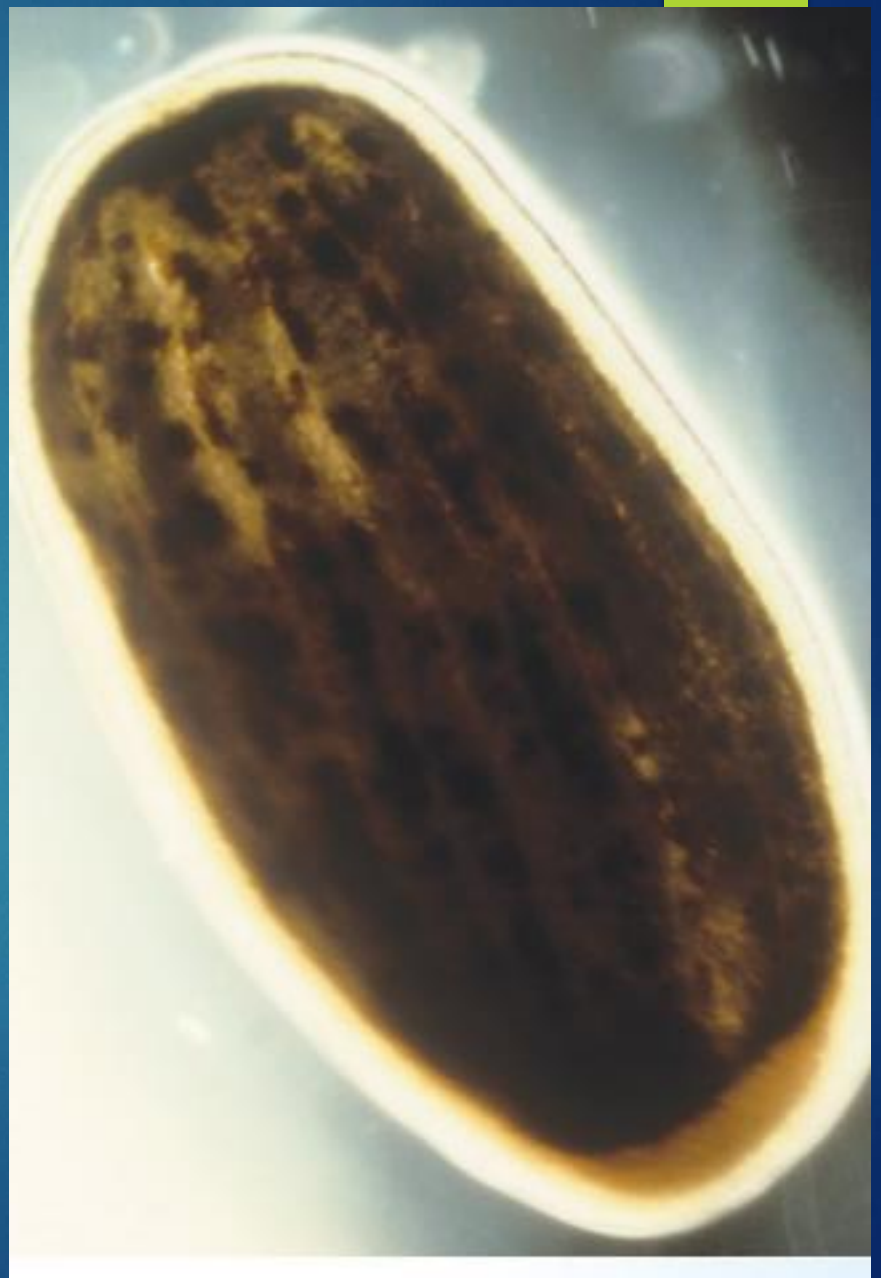
Размножение кораллов

- Большинство гермафродиты, есть раздельнополые
- Половые продукты выметывают в воду
- Оплодотворение в толще воды, реже в теле материнской особи
- Свободноплавающая личинка – планула
- Оседает на твердый субстрат



Жизненный цикл коралла *Acropora millepora*
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3204972/

Личинка кораллов - планула



Условия для роста кораллов:

Температура - +26-27°С (+18-29°С)

Освещенность – высокая

Вода – чистая, прозрачная, с активной гидродинамикой

Глубина - 0-50 (100) м

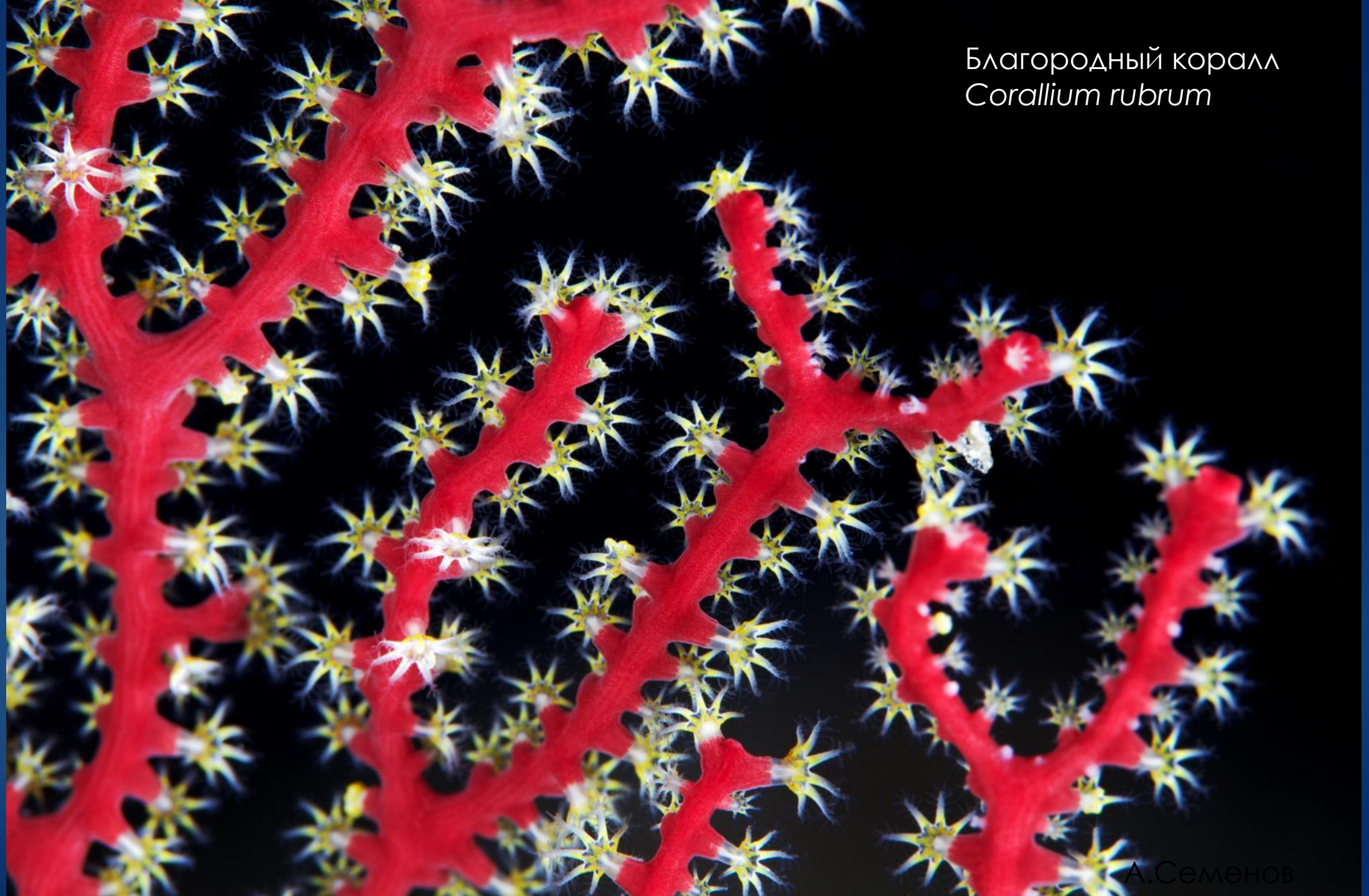
Соленость - океаническая (33-35 ‰)

Биоразнообразие на коралловых рифах

- Практически все типы животных
- Бактерии, грибы, водоросли, простейшие
- Около четверти по числу видов от всей биоты океана
- Рыбы
- Черепахи
- Дельфины
- Губки
- Асцидии
- Плоские черви, круглые черви, кольчатые черви
- Иглокожие – морские лилии, ежи, звезды, голотурии
- Моллюски – двустворчатые, брюхоногие, головоногие
- Ракообразные - креветки, крабы, отшельники, лангусты и др.

Одиночные кораллы

Мягкие кораллы



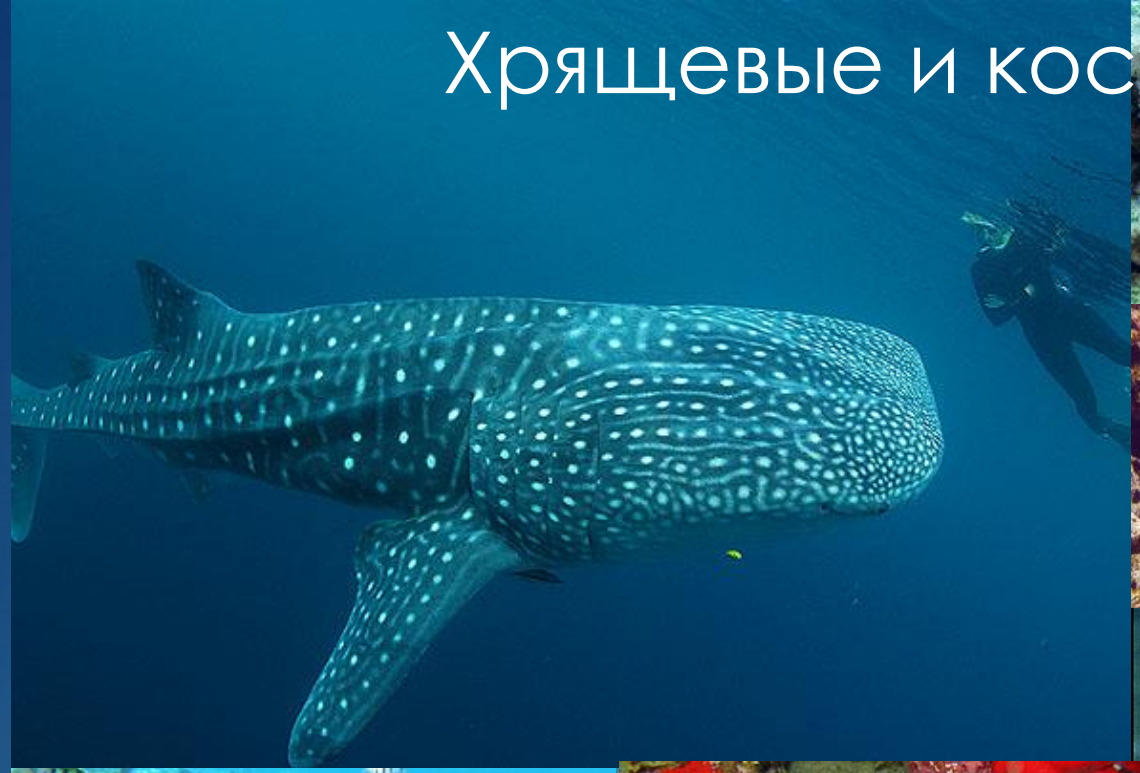
Благородный коралл
Corallium rubrum

А.Семенов

Моллюски, иглокожие

Десятиногие ракообразные

Хрящевые и костные рыбы











Рыбы

Другие организмы, образующие известняк

- Известковые водоросли
- Простейшие с известковыми домиками - фораминиферы
- Губки
- Мшанки
- Гидроидные полипы
- Моллюски – двустворчатые и брюхоногие
- Многощетинковые черви с известковой трубкой

Тридакна

А.Семенов

Тридакна

Коралловый гребешок

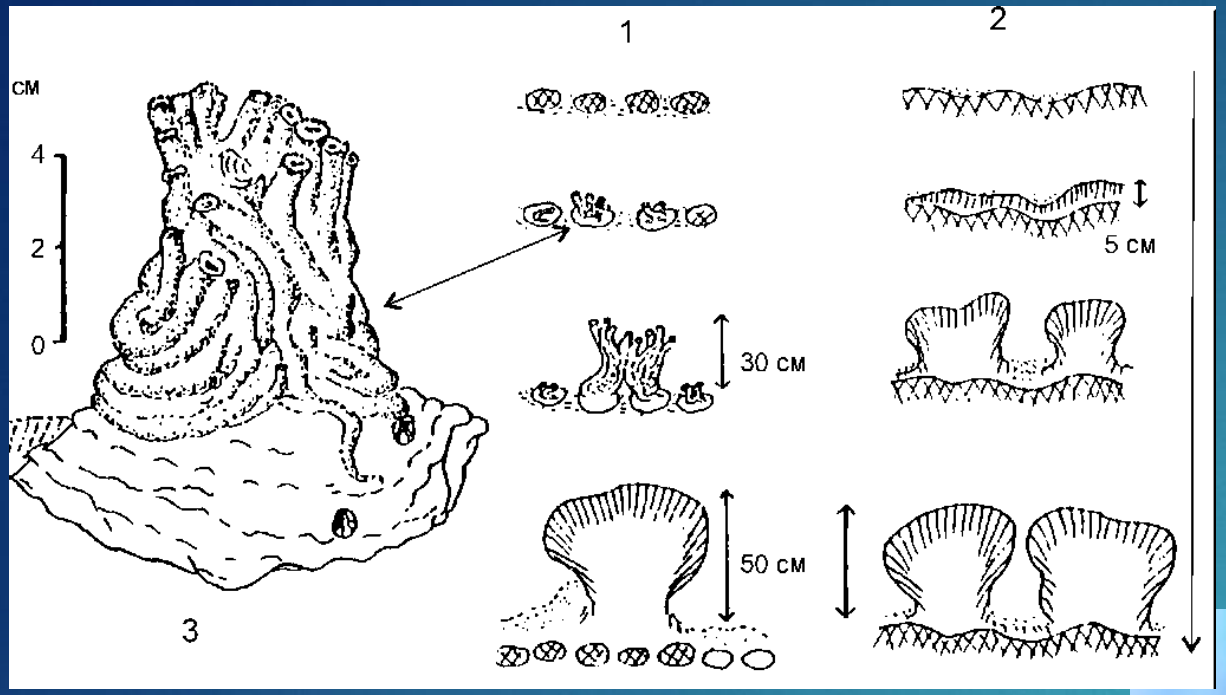
А.Семенов

Брюхоногие моллюски Vermetidae

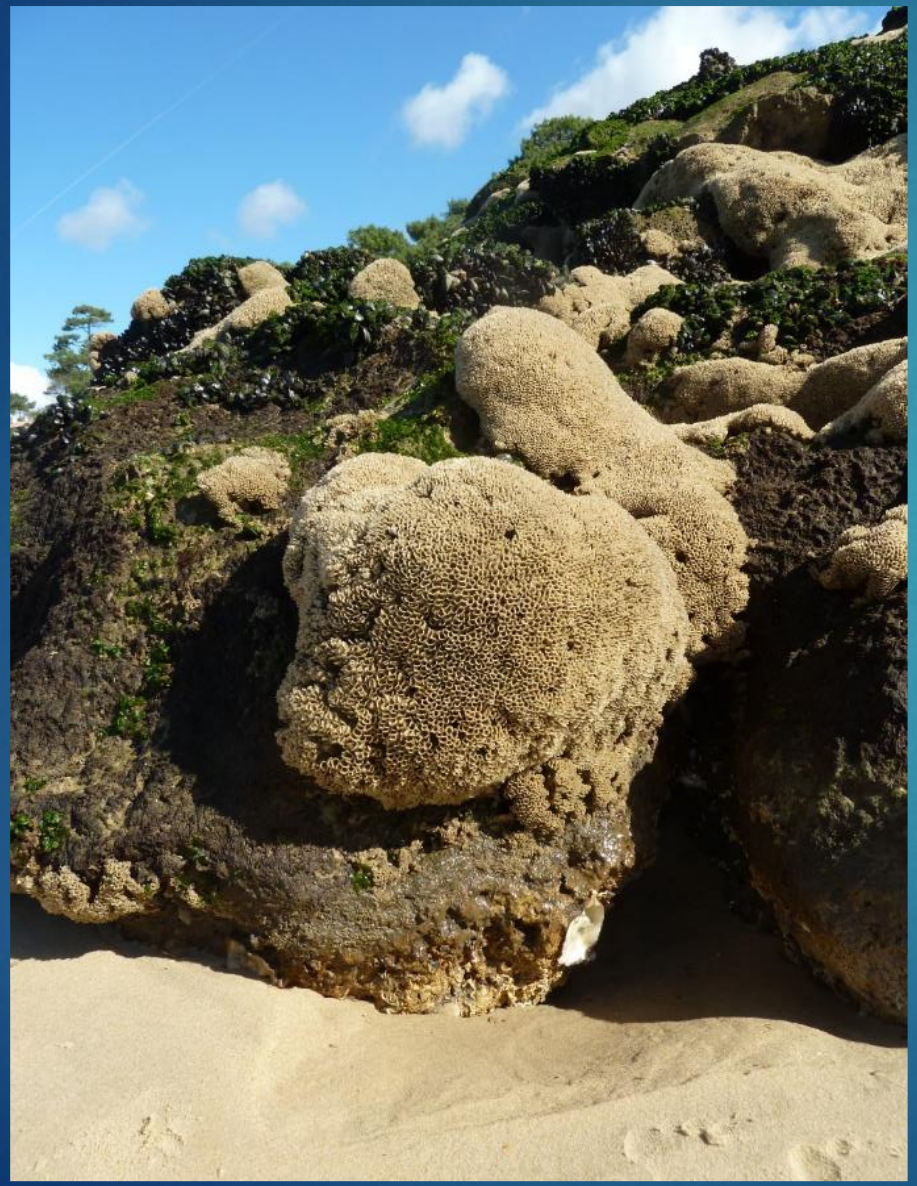
А.Семенов

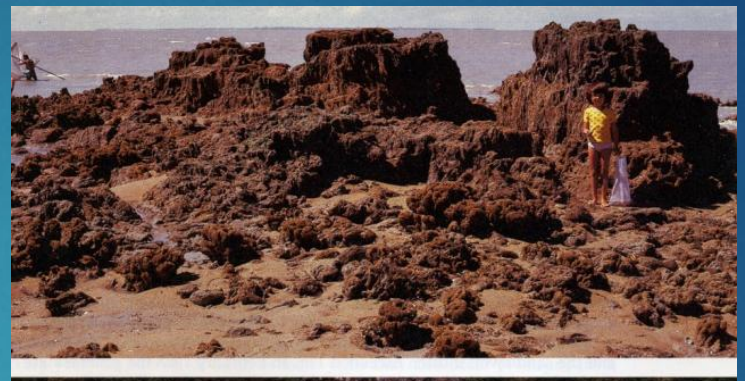
Многощетинковые черви сем. Serpulidae с известковой трубкой

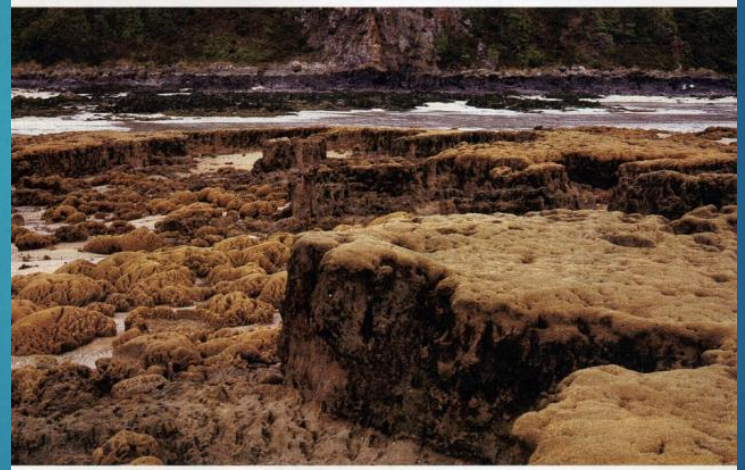
Многощетинковые черви семейства Sabellariidae с песчанистой трубкой

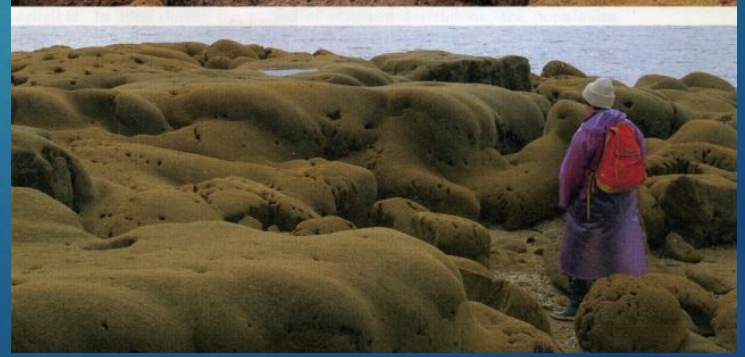


Сабелляриидные рифы









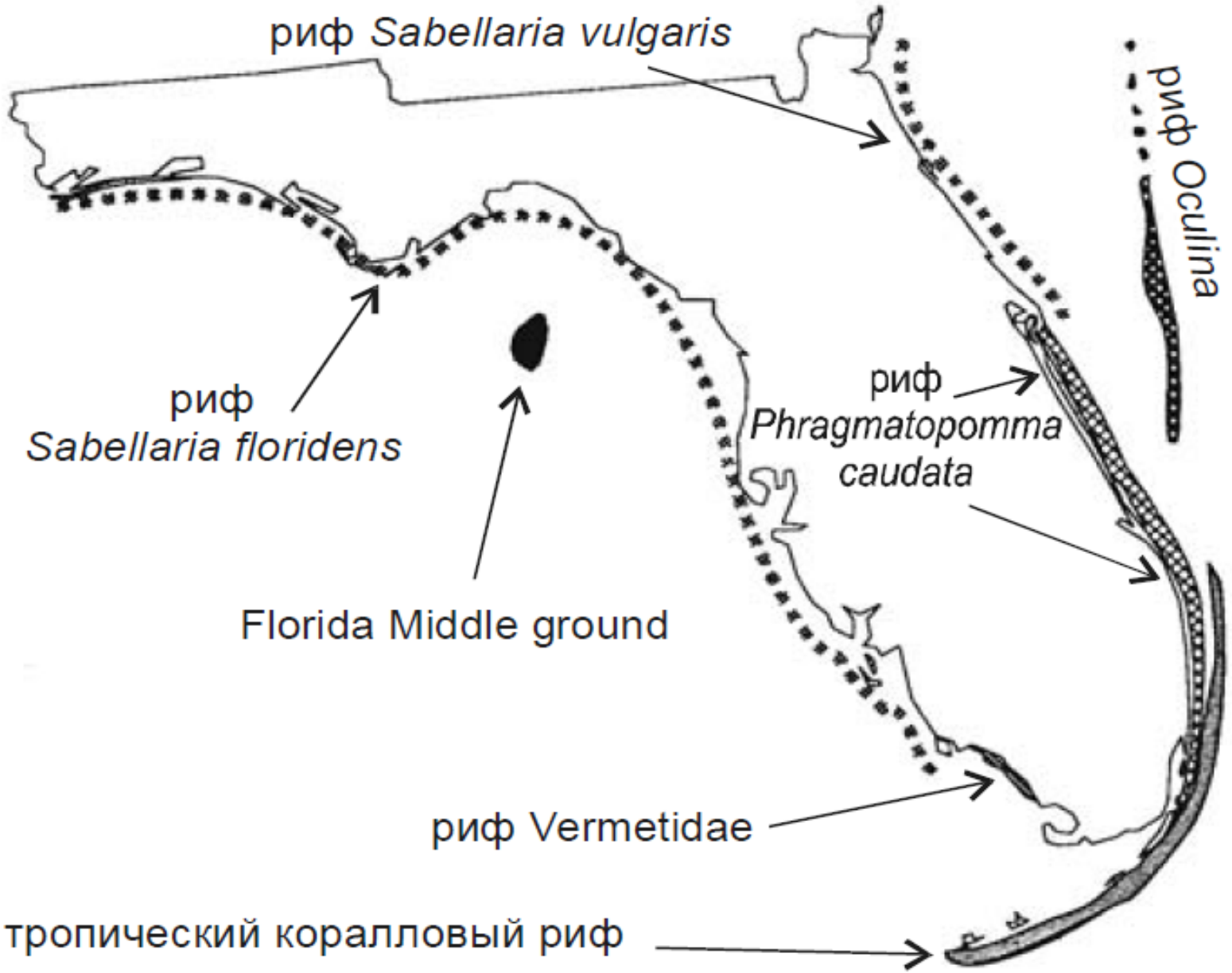


Рис. 3.55. Распределение рифов у берегов Флориды. По Perry (1992).

Глубоководные коралловые рифы

- 40-4000 м, все океаны
- Кораллы без симбиотических водорослей
- Менее массивные, медленно растущие
- Меньше видовое разнообразие

http://www.ecololife.ru/images/books/274/zhirkov-137.jpg

Глубоководные коралловые рифы

http://ocean.si.edu/deep-sea-corals

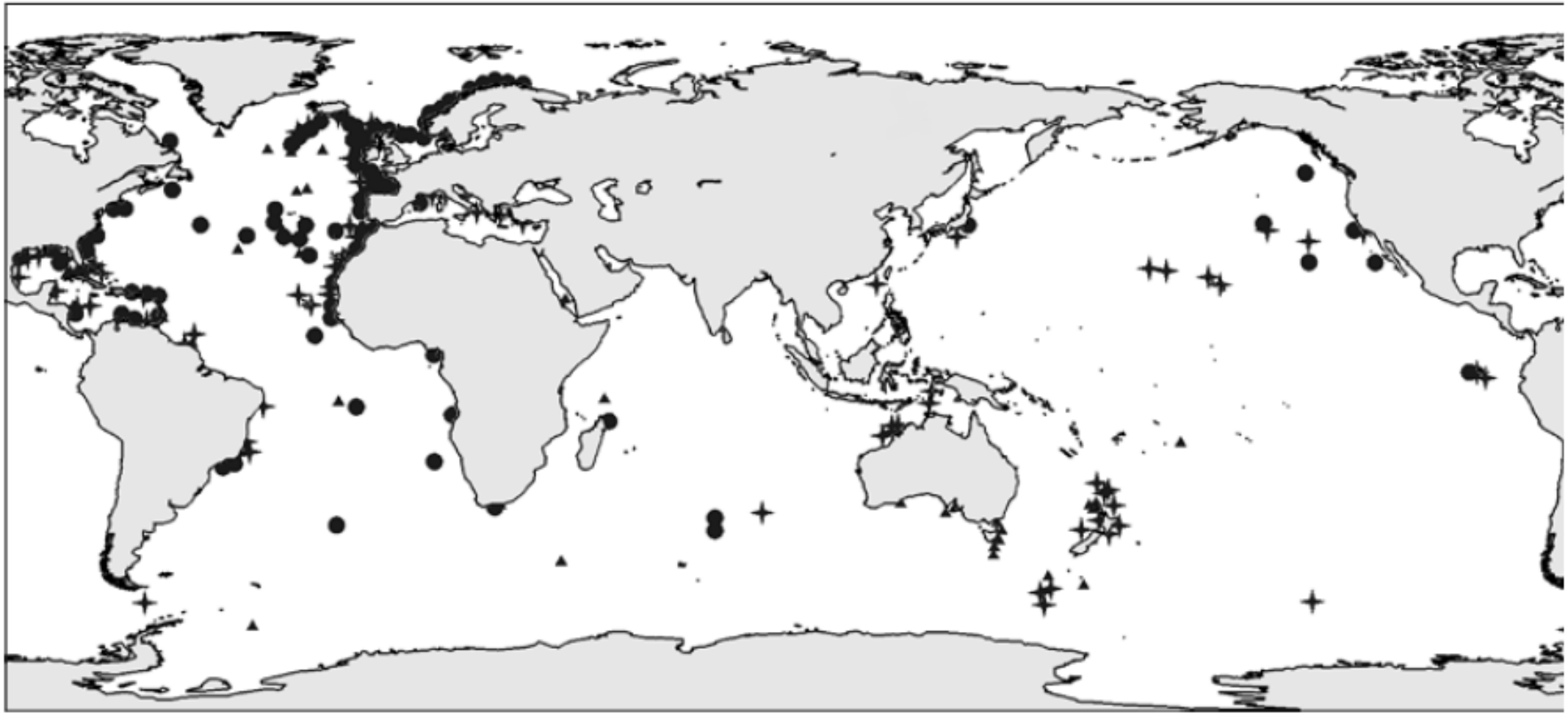


Рис. 3.70. Распространение глубоководных коралловых рифов.

По Carins, Stanley (1981); Mikelsen et al. (1982); Sumida et al. (2004); Freiwald et al. (2004). Карта отражает современный уровень знаний. Многие районы изучены ещё крайне недостаточно, особенно тропические и субтропические. Несомненно, что глубоководные коралловые рифы распространены гораздо шире.

Из: Жирков, 2010

Рифы в прошлом Земли

- Известны с докембрия (> 500 млн лет назад)
- В разные геологические периоды рифы исчезали и появлялись
- Были образованы разными организмами

- Прокариоты (сине-зеленые водоросли)
- Археоциаты (родственники губок)
- Губки, кораллы (табуляты и ругозы), иглокожие (цистоидеи), мшанки, брахиоподы
- Двустворчатые моллюски (рудисты)
- Известковые водоросли

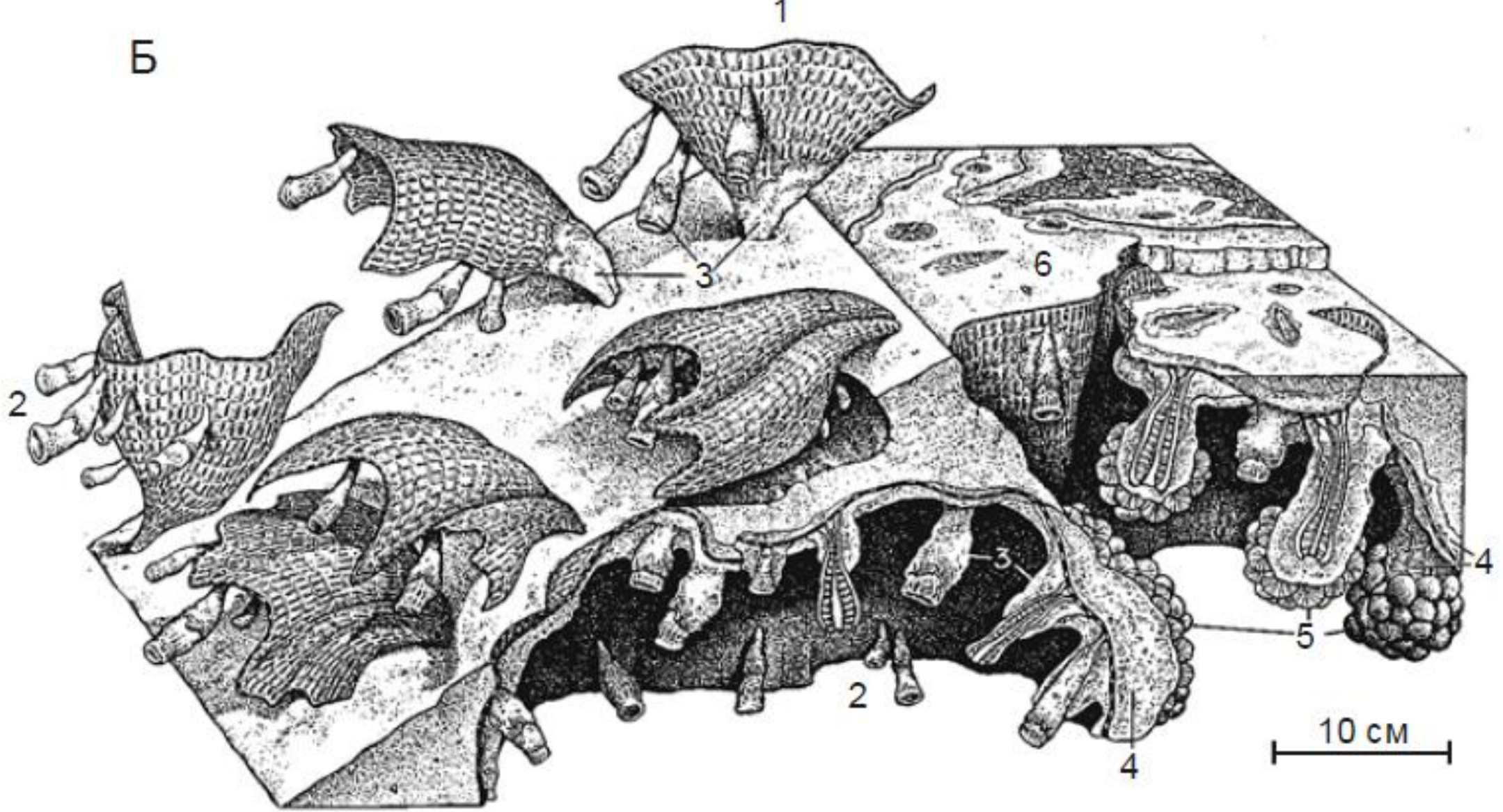


Рис. 3. 66. Реконструкция рифов поздней перми (260 млн. лет назад) .

Б. 1 — мшанки (*Polypora* sp.; *Goniopora* sp.); 2 — губки; 3 — инкрустирующая водоросль *Archaeolithoporella*; 4 — отложения микробионтов; 5 — ботриодные выросты; 6 — осадок. The Capitan Reef, Техас и Нью-Мексико. По Wood (1998).

Из: Жирков, 2010

Значение коралловых рифов для человека:

- Место обитания и откорма промысловых рыб и беспозвоночных
- Защита берегов от разрушений прибоем и штормами
- Кораблекрушения
- Источник кислорода
- Источник лекарственных веществ
- Туристический бизнес
- Чистый доход от использования рифов > $375 миллиардов в год

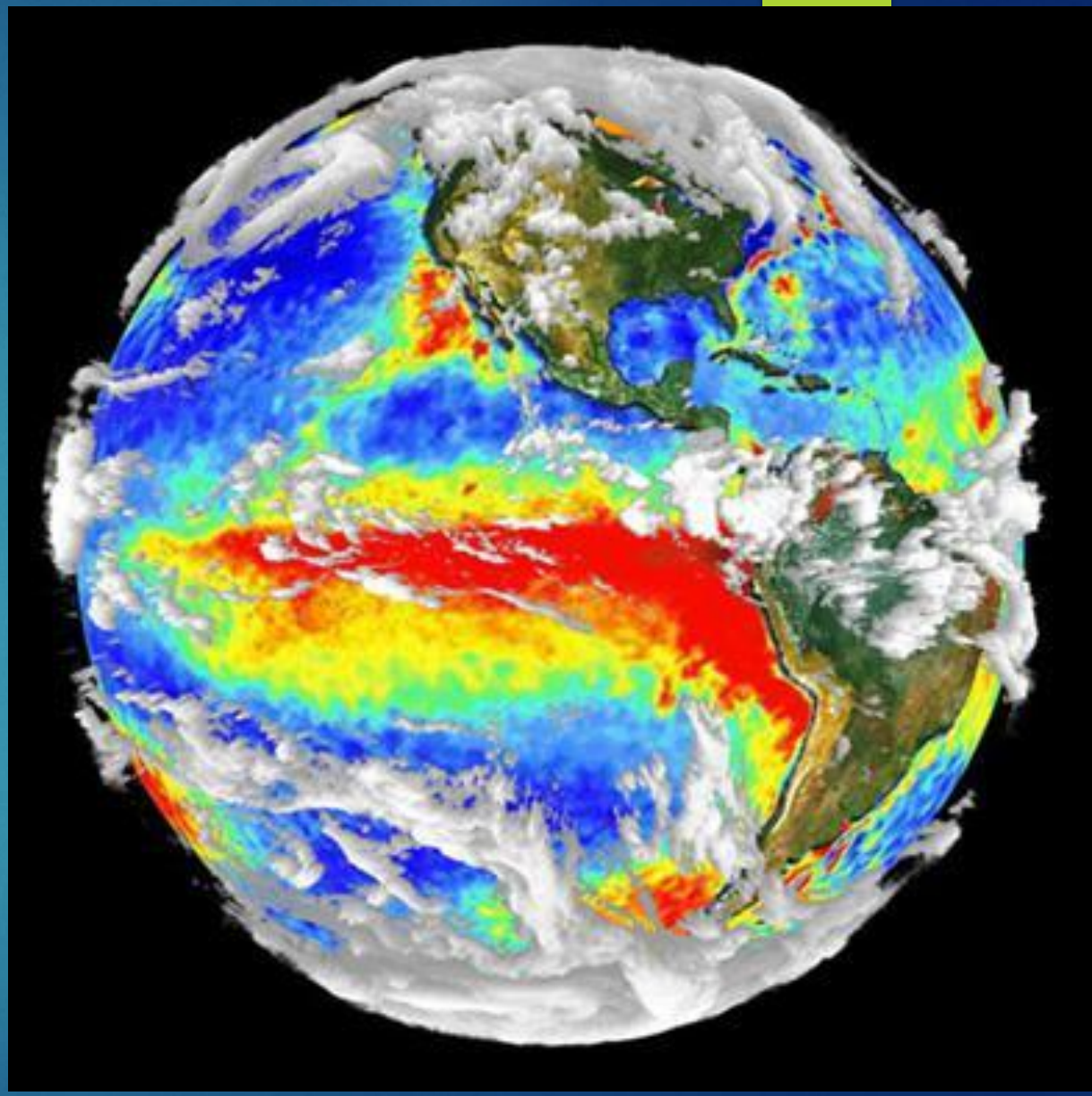
Угрозы коралловым рифам:

>80 % коралловых рифов под угрозой исчезновения

- Землетрясения, ураганы и цунами
- Потепление океана
- Закисление океана
- Загрязнение океана (эвтрофикация, заиление, ядовитые вещества)
- Распреснение воды
- Бактериальные инфекции
- Физическое разрушение (добыча известняка, морское строительство, атомные испытания, рыболовство, якоря, дайверы)

Catlin Seaview Survey

Южная осцилляция (англ. El Niño/La Niña Southern Oscillation, ENSO) — колебание температуры поверхностного слоя воды в экваториальной части Тихого океана, имеющее заметное влияние на климат. Эль-Ниньо — фаза Южной осцилляции, в которой область нагретых приповерхностных вод смещается к востоку. При этом прекращаются пассаты, замедляется апвеллинг в восточной части Тихого океана.
Противоположная фаза осцилляции называется Ла-Нинья.



Acanthaster planci «терновый венец»

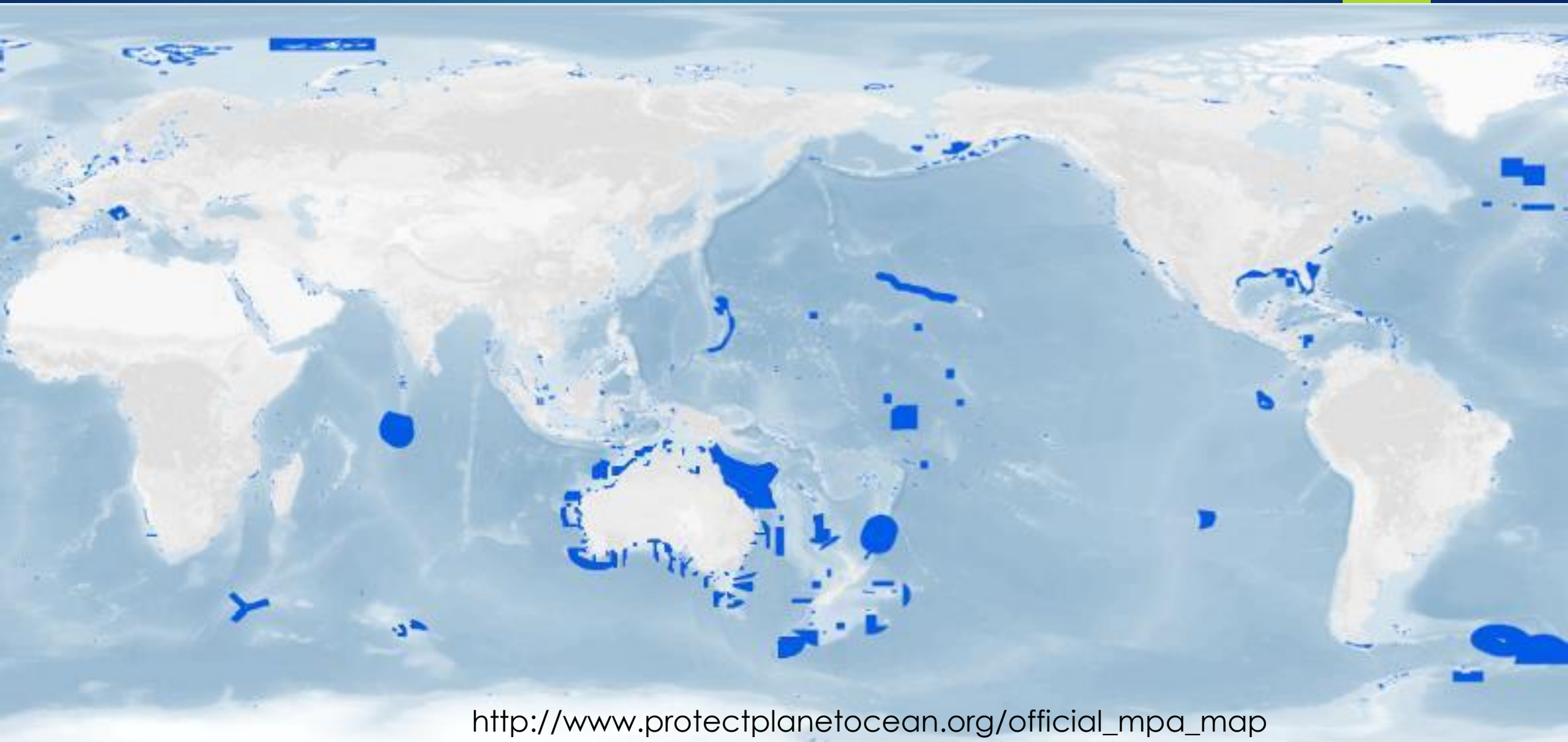
http://forum.diveplanet.ru/upload/iblock/93b/Acanthaster_planci-2.jpg

https://wiki.qut.edu.au/pages/viewpage.action?pageId=201176970

Восстановление рифов

- Охранные мероприятия
- Уменьшение выбросов парниковых газов и загрязнения океана
- Установка бетонных конструкций – искусственных рифов
- Металлические конструкции, через которые пропускают слабый электрический ток, чтобы они покрылись известью – метод Biorock
- Выращивание колоний из фрагментов на искусственных конструкциях или на естественном рифе
- Сбор личинок кораллов, выращивание молоди и перенос на естественные или искусственные рифы
- Борьба с *Acanthaster planci*

Морские охраняемые природные акватории (МОПА), морские охраняемые районы (МОР), marine protected areas (MPA)

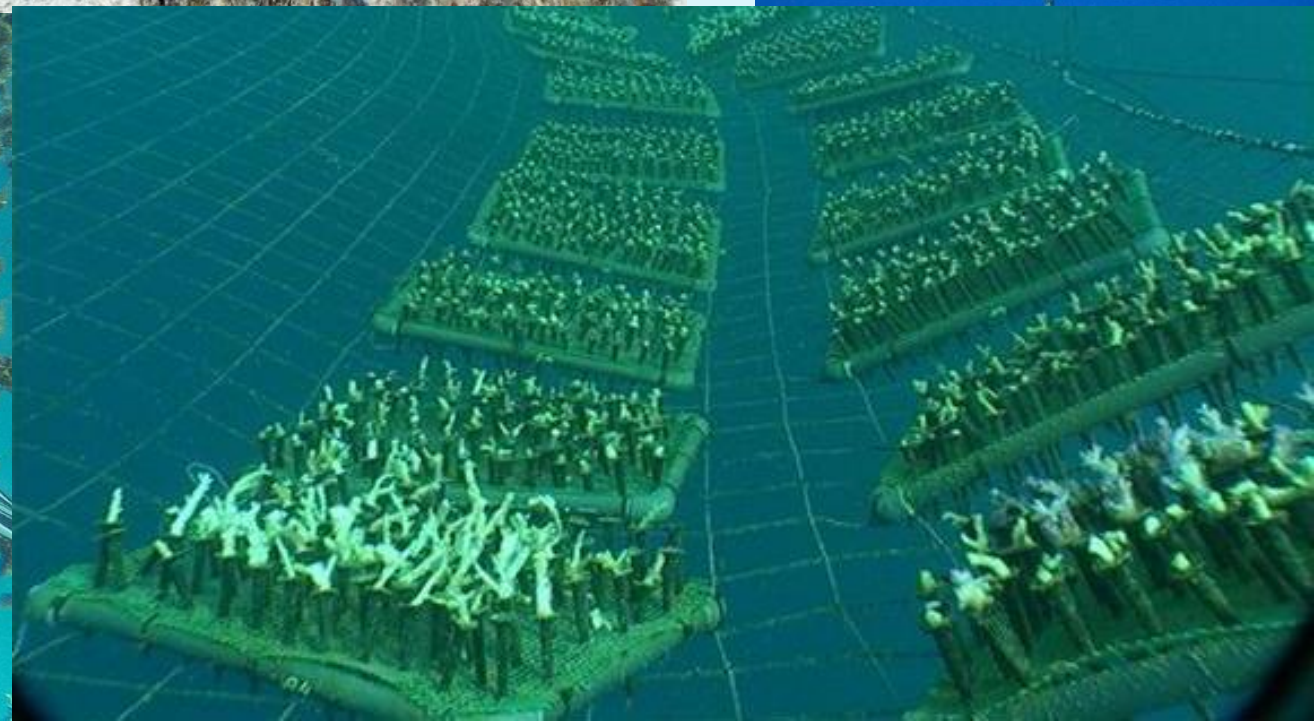


http://www.protectplanetocean.org/official_mpa_map

Искусственные рифы

http://www.alertdiver.com/Biorock_Electric_Reefs


reef builders



Борьба с *Acanthaster planci*

Charonia tritonis – естественный враг