

---

# БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ

---

Мы живём, точно в сне неразгаданном  
На одной из удобных планет

И. Северянин

---

Солнечная энергия вызывает на Земле два круговорота веществ:

1. Большой, наиболее ярко проявляющийся в круговороте воды и циркуляции атмосферы.
2. Малый, или биологический, круговорот.

Оба круговорота взаимосвязаны и представляют единый процесс. Только два химических элемента покидают Землю – водород и гелий. Остальные же остаются в сфере влияния Земли и постоянно участвуют в биосферных циклах рециркуляции.

По оценкам гидросфера совершает круговорот за период от 3000 до 2 млн. лет, земные воды – за 5000 лет, почвенная влага – за 1 год.

---

CO<sub>2</sub> совершает круговорот за 300 лет.

2

Кислород оборачивается за 2000 лет

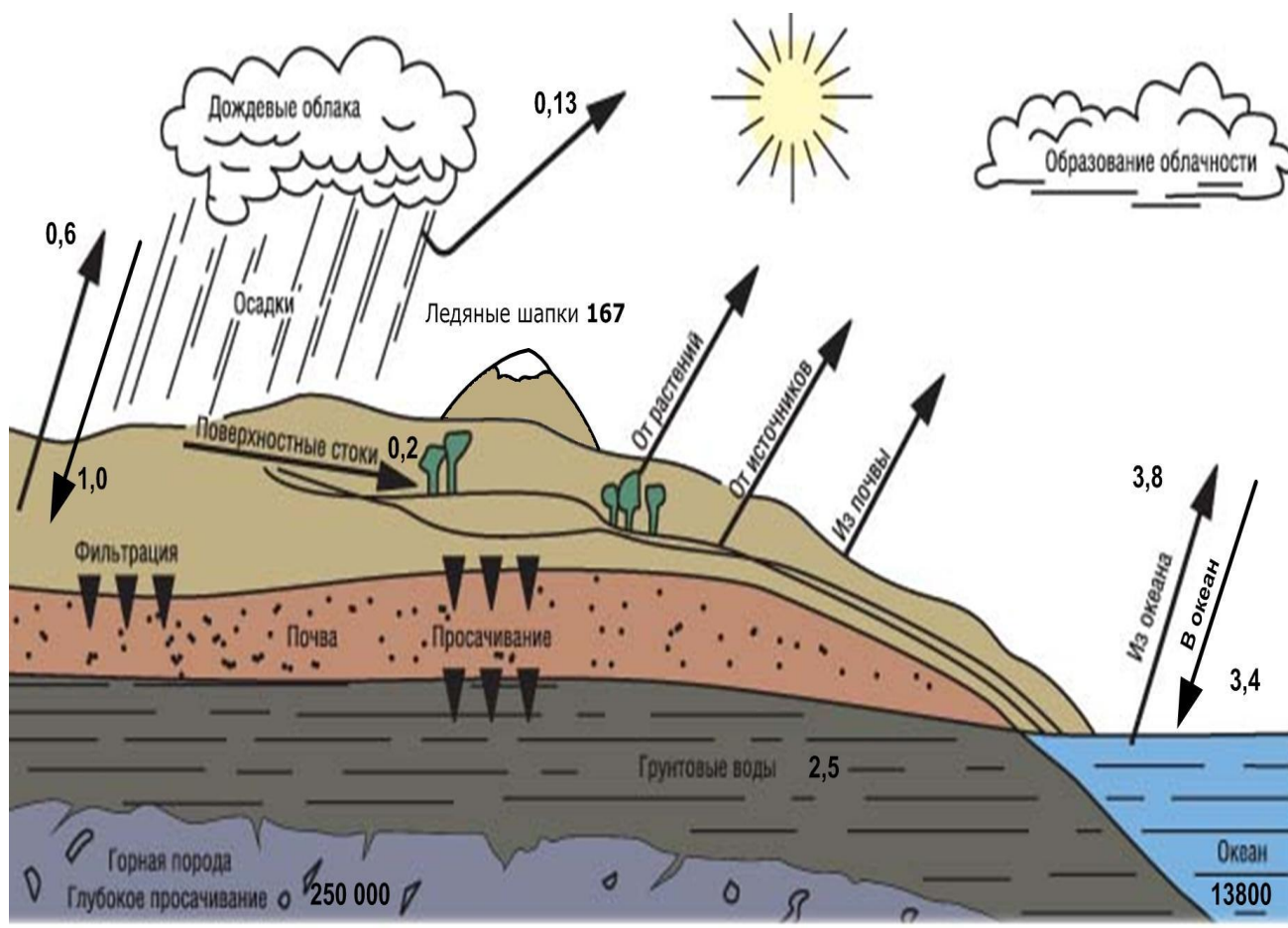
# Основные особенности круговоротов

- Одно из открытий геохимии состоит в том, что движение многих хим. элементов осуществляется циклически (в миграцию вовлекается весь Zn, 10% - C, P, Mn, Cu и др.).
- Человек – мощный геологический фактор.
- Деятельность человека: миграция Pb в 15 раз больше естествен. уровня; SO<sub>2</sub> в 1,4 раза и т.д.
- Различают 3 вида круговоротов:
  1. газообразные элементы,
  2. вода,
  3. твёрдые вещества.
- Саморегуляция по типу отрицательной обратной связи (газы, глобальный масштаб).
- Из 100 хим. элементов 30-40 требуется живым организмам.
- Резервный фонд:
  1. атмосфера или гидросфера,
  2. земная кора.

# Круговорот воды в природе

КОЛИЧЕСТВО ВОДЫ В ГЕОГРАММАХ

(1 геог=10<sup>20</sup> г)



## ПРОЦЕССЫ В КРУГОВОРОТЕ ВОДЫ

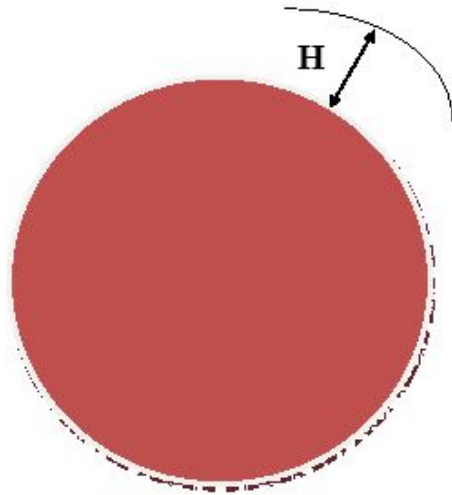
Перехват

Инфильтрация

Транспирация

Сток

# Распределение воды по Земному шару



H	
Мировой океан	- 2700 м (96%)
Ледники	- 100 м (3,4%)
Подземные воды	- 15 м (0,5%)
Пресные воды	- 0,4 м (0,1%)
Атмосферная влага	- 0,03 м (0,01%)

Если льды Антарктиды равномерно распределить по земному шару, Земля окажется под 85 м слоем льда  
Площадь льда составляет 11% площади суши

Эверест: 8.848 м

ОКЕАНЫ:

**МАТЕРИКИ**

Тихий

Атлантический

Индийский

Северный  
Ледовитый

179

92

76

15

млн кв.км

150 млн кв.км

707

330

285

17

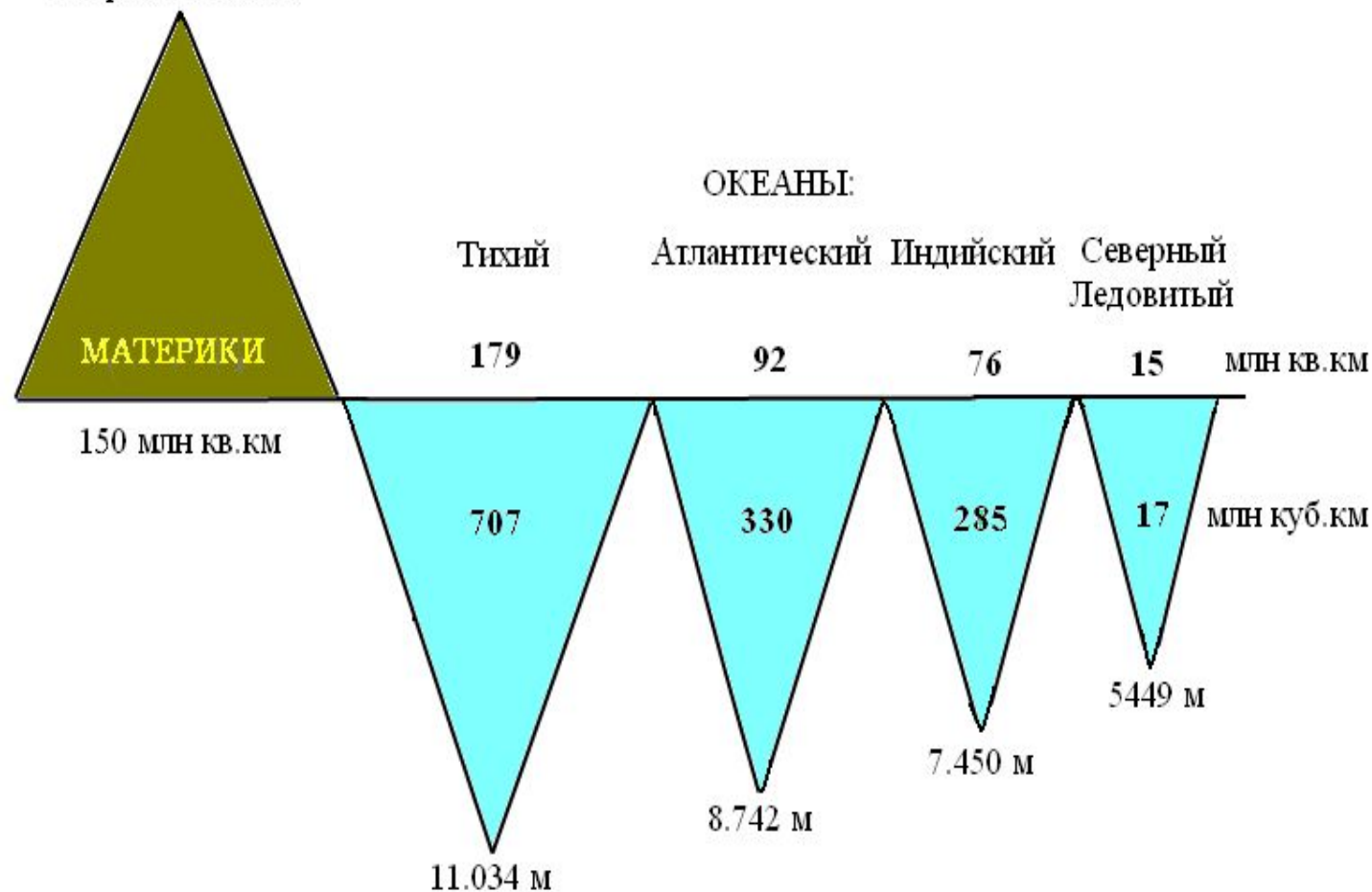
млн куб.км

11.034 м

8.742 м

7.450 м

5449 м



# Некоторые показатели воды

Солесодержание (г/л)	Природные объекты
≈ 0,064	озеро Байкал
≤ 1	Пресные воды
6 – 7	Животноводство
12 - 14	Каспийское море
15	Верблюды
18	Чёрное море
35	Мировой океан Красное море – 42 Финский залив - 10
240	озеро Тус (Хакасия)
270	Мёртвое море

**Бактериологические и паразитологические**

**Неорганические вещества и тяжёлые металлы**

**Радиологические**

**Органолептические**



**Берега Мёртвого моря лежат на 392 м ниже уровня океана**

---

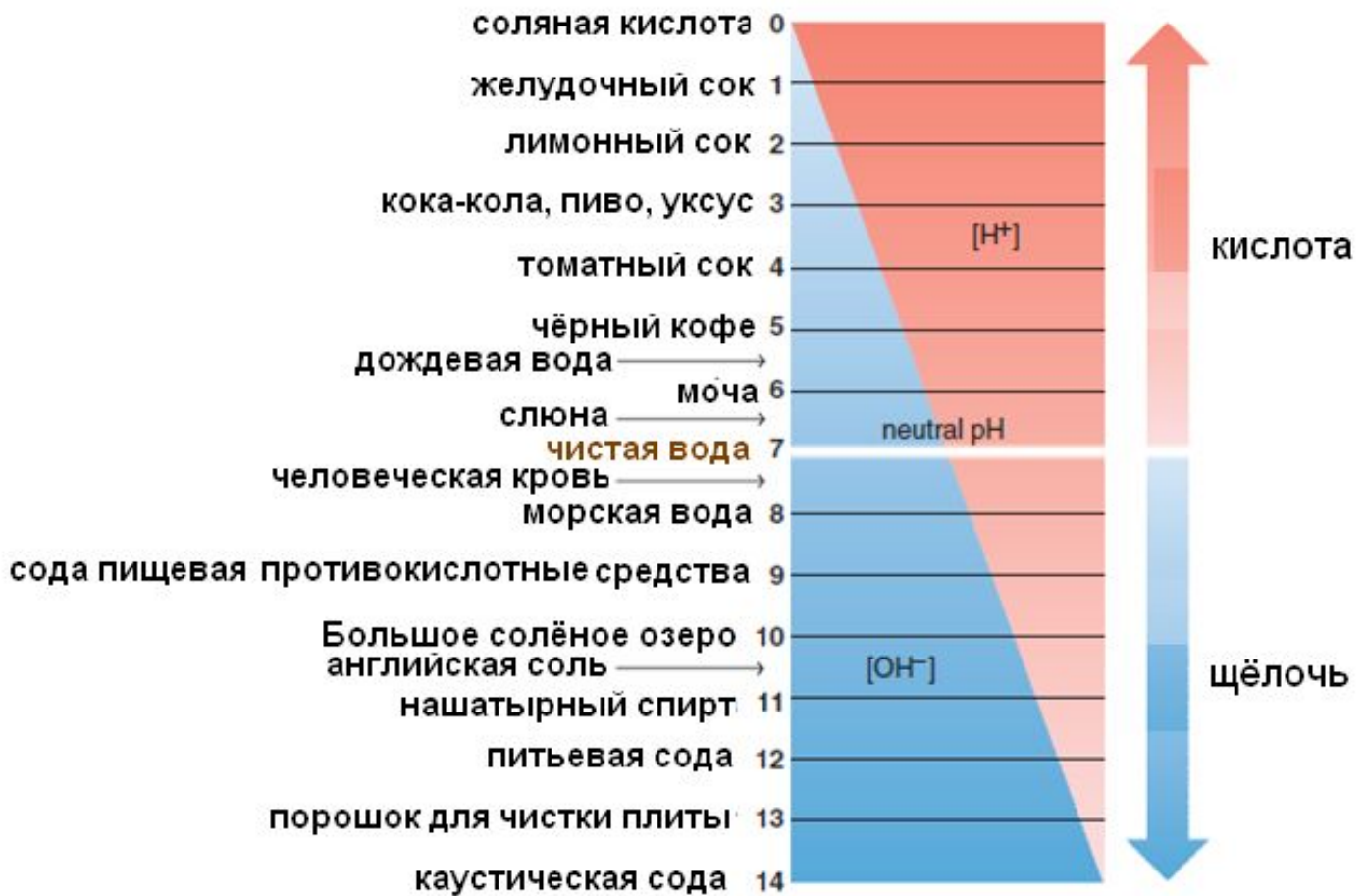




Уровень Мёртвого моря лежит на 410 метров ниже  
уровня Мирового океана



# Водородный показатель воды (pH)



pH - характеризует концентрацию водородных ионов в растворе, т.е. степень его щёлочности или кислотности

# Методы очистки воды

Улучшающие органолептические свойства  
(осветление и обесцвечивание – коагуляция,  
отстаивание, фильтрация и дезодорация - запах)

Эпидемиологическая безопасность: хлорирование, озонирование [флокуляция], электроимпульсная обработка, ультрафиолетовое облучение, аэрация [O<sub>2</sub>]

Кондиционирование подземных вод: умягчение [Ca, Mg], обессоливание и опреснение, дегазация, обезжелезивание и деманганация [Mn], фторирование и обесфторирование, обескремнивание [Si] и др.

Улучшающие газовый состав: H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>

Извлечение вредных продуктов: сорбенты, адсорбция

# Методы очистки сточных вод

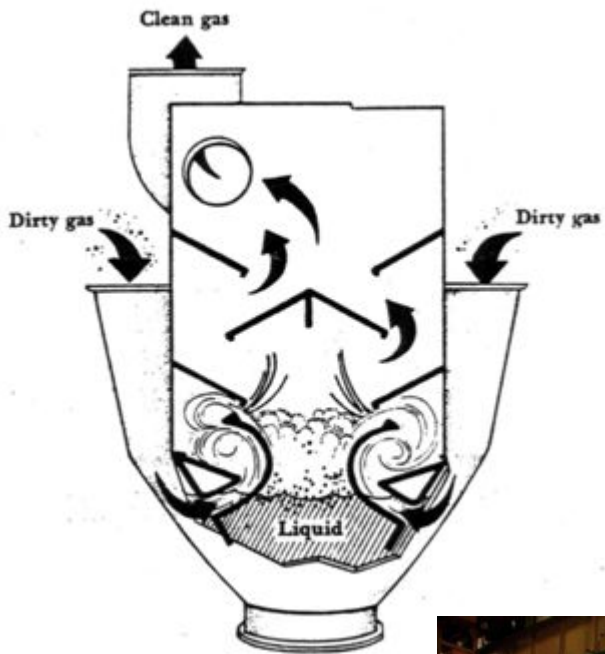
Отстаивание	Механические	Флокуляция, коагуляция	Физико-химические
Очистка в гидроциклонах		Флотация, электрофлотация	
Центрифугование		Ионообмен, сорбция	
Фильтрация		Экстракция	
Микрофильтрация		Дистилляция, вымораживание	
Магнитная обработка	Физические	Электо-, гальванокоагуляция	
Ультразвуковая обработка		Мембранный электролиз	
Вибрация		Электролиз	
Электромагнитная обработка		Ультра-, нанофильтрация	
Ионизирующее облучение			
Окисление	Химические	Поля фильтрации	Биохимические
Восстановление		Биологические пруды	
Нейтрализация		Аэротенки	
Осаждение		Биофильтры	
Комплексообразование		Окислительные каналы	





# Химико-технологические процессы очистки

## процессы очистки



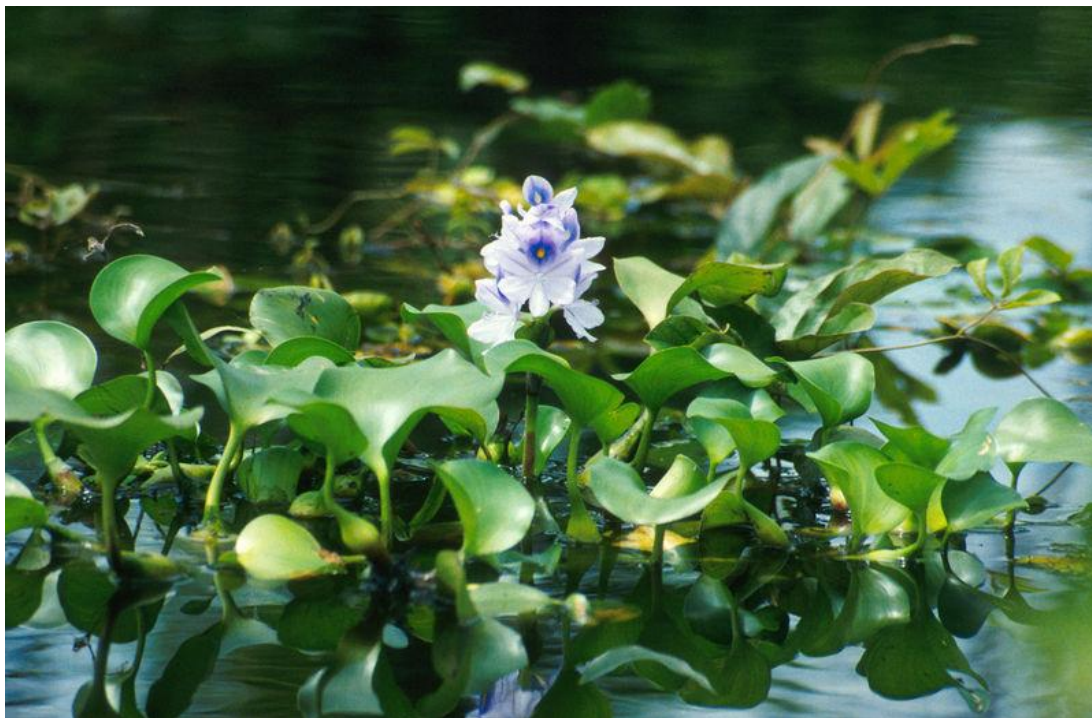
**Скруббер** - устройство, для очистки твёрдых или газообразных сред путём улавливания твёрдых и газовых примесей из газовой смеси, пропускаемой через распылённую жидкость



**Аэротенк - аэробная установка,  
использующая для очищения стоков  
активный ил (*степень очистки более 95%*)**



# Эйхорния (водяной гиацинт) – очистка водоемов от радионуклидов



Растение вбирает инсектициды, фенолы, фосфаты, соли натрия, поглощает кадмий, никель и серебро, очищает водоемы от органических и неорганических загрязнителей, используется в корм скоту и как удобрение.

Коэффициент накопления радионуклидов:

Cs-137 до **30.000**;

Sr-90 до **5.000**



---

# Очистка воды раздробленными семенами Моринги Маслянистой (*Moringa Oleifera*)

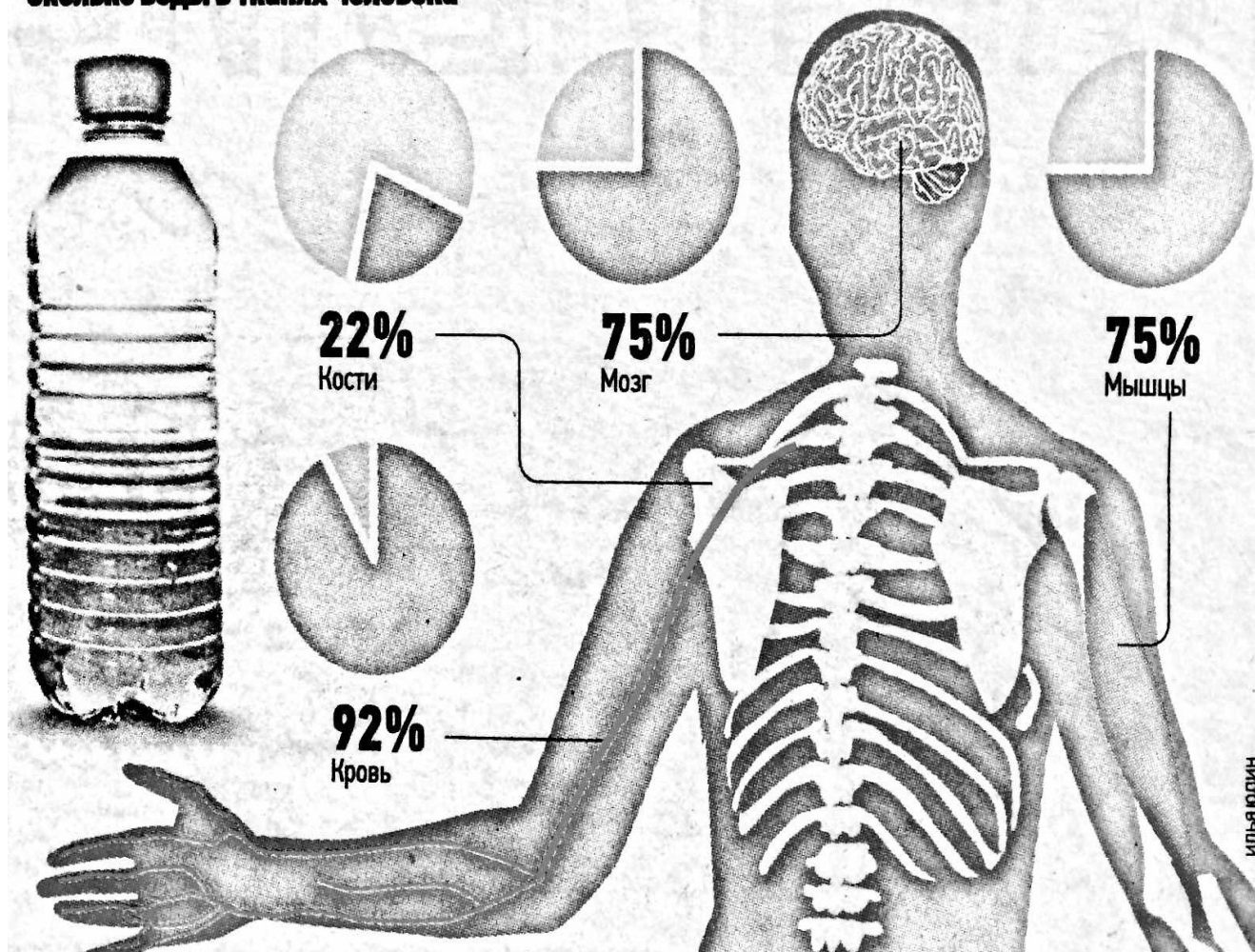


Древний метод очистки воды, который известен в Индии уже тысячу лет, может спасти массу жизней жителей третьего мира и стран с ограниченным доступом к чистой питьевой воде, предотвращая распространения различных заболеваний, передаваемых с водой низкого качества, могут заметно сократить инфекционные заболевания в развивающихся странах

---

# ЧЕЛОВЕК НА 60 ПРОЦЕНТОВ СОСТОИТ ИЗ ВОДЫ

Сколько воды в тканях человека



---

# Круговорот газообразных элементов

Газы сформировали не только нашу атмосферу, но и континенты и океаны.

История Земли – это история газов.

Все планеты создают свою атмосферу с нуля. И вулканические газы обеспечили Землю важнейшими элементами.

- У первозданной Земли тоже была атмосфера, которая состояла из водорода и гелия.
  - Вторая атмосфера (горячая и ядовитая) вулканического происхождения.
  - Третья атмосфера появилась благодаря важному для истории планеты газу – **азоту**.
  - 4-ая атмосфера 2 млрд лет назад, кислородная катастрофа. Благодарны аэробным бактериям, поскольку они сделали возможным существование многоклеточных существ
-



Извержение вулкана Сент-Хеленс 18 мая 1980 (США). Энергия равна взрыву 27 000 атомных бомб, по одной в секунду за девять часов извержения.



---

# Круговорот газообразных

Для возникновения жизни чрезвычайно важно, что насыщенная азотом атмосфера не атакует биологические молекулы, как это делают другие газы.

Азотфиксирующие бактерии - весь азот в составе живых организмов прошел переработку этими бактериями, без них на Земле не существовало бы ни одного растения или животного.

---

# Состав атмосферы

Элементы и газы	Содержание в нижних слоях		Плотность по отношению к воздуху
	% по объему	% по массе	
Азот	78,084	75,70	0,967
Кислород	20,946	23,14	1,105
Аргон	0,934	1,28	1,379
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
CO <sub>2</sub>	0,033	0,0466	1,529
Озон			1,624
Тропосфера	1*10 <sup>-6</sup>	-	
Стратосфера	0,001-0,0001	-	
Метан	0,00016	0,00009	
NO	1*10 <sup>-6</sup>	3*10 <sup>-7</sup>	
CO	8*10 <sup>-6</sup>	7,8*10 <sup>-6</sup>	

---

# Азот в природе

Для возникновения жизни чрезвычайно важно, что насыщенная азотом атмосфера не атакует биологические молекулы, как это делают другие газы.

Клетки большинства живых существ, включая человека, не усваивают газообразный азот (3 % массы тела человека). Сначала его нужно перевести в другую форму.

Азотфиксирующие бактерии - весь азот в составе живых организмов прошел переработку этими бактериями, без них на Земле не существовало бы ни одного растения или животного.

---



Горы гуано на островах Чинча у побережья  
Перу.

---

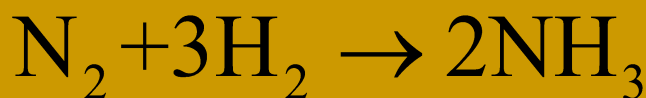


# Аммиак – надёжный источник удобрений

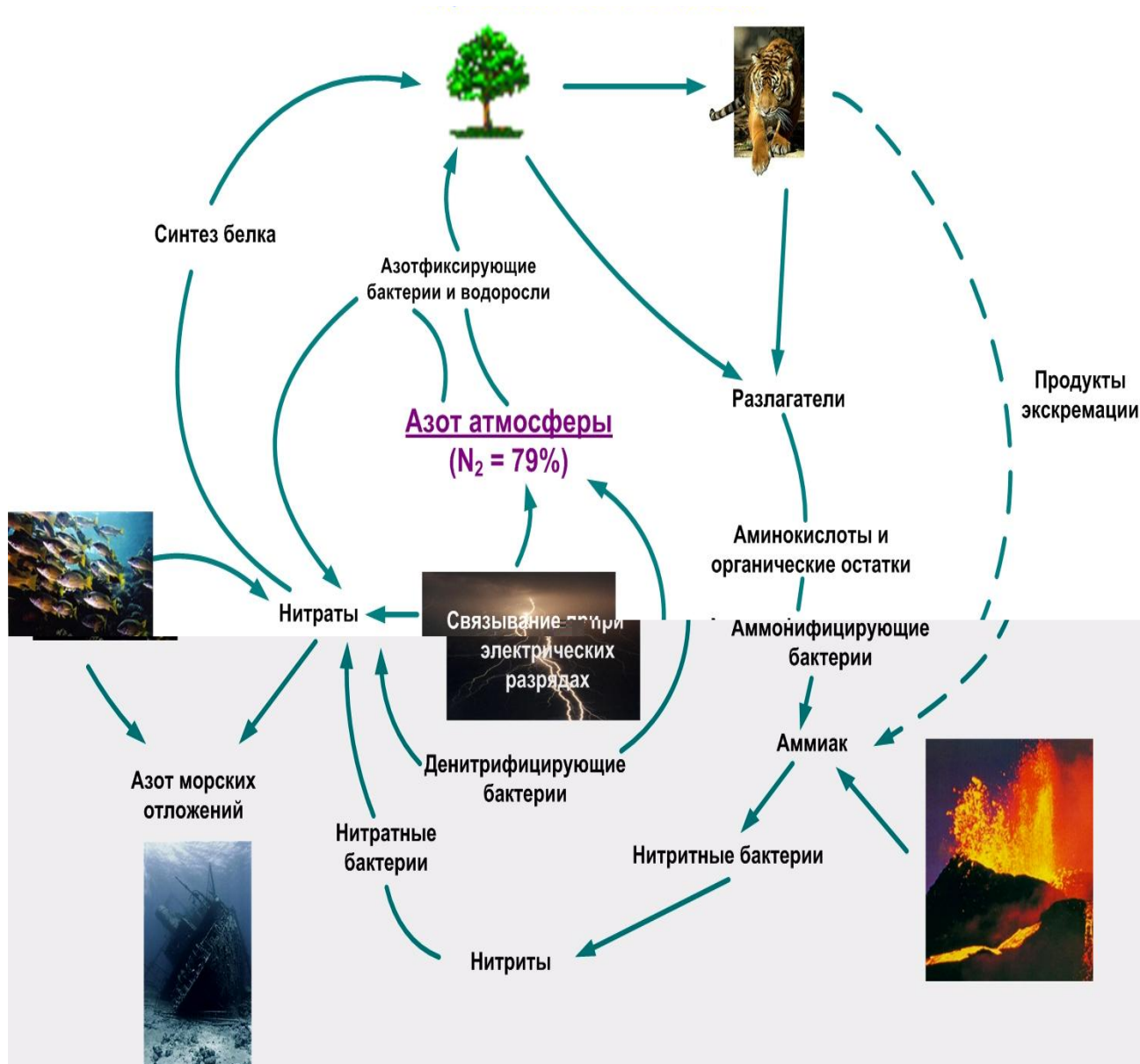
В начале XX в. люди стали первыми организмами немикробного происхождения, научившимся связывать азот. Благодаря двум немцам -Фрицу Габеру и Карлу Бошу (нац. Герои, Нобелевская премия, военные преступники – отравляющие газы – хлор, фосген), которые придумали способ включать элемент под номером №7 из воздуха в наши тела.

Производства минеральных удобрений, которая не закончилась до сих пор. Процесс Габера – Боша потребляет 1% всех мировых энергетических запасов.

Человечество ежегодно расходует 175 млн т аммонийных удобрений и за счет этих удобрений получает примерно половину всех продуктов питания.

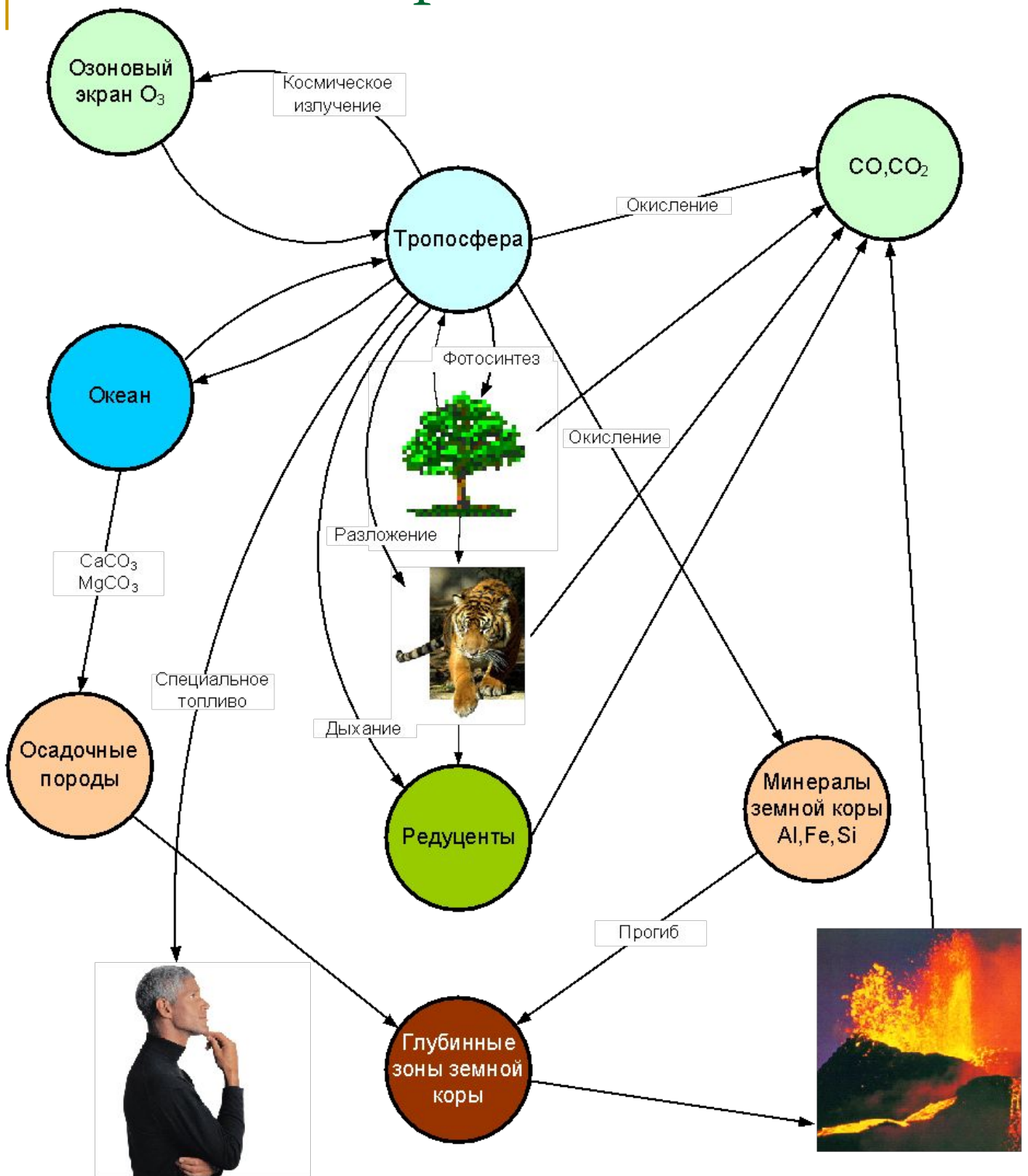


# Круговорот азота в природе



**д е н и т р и ф и к а ц и я** - восстановление азота минеральных соединений до газообразного состояния

# Кислородный цикл



# Концентрация кислорода в атмосфере Земли



**Процесс кислорода накопления начался примерно 2 млрд лет назад. Он является ядом для многих форм жизни, а 2 млрд лет назад стал причиной самой страшной катастрофы в истории жизни на Земле – так называемой кислородной катастрофы (процесс накопления кислорода, длившийся несколько сотен миллионов лет).**

**Кислород уничтожил первые формы жизни, поскольку очень легко разрушает клетки, но, когда клетки научились контролировать содержание кислорода, его активность стала важнейшим преимуществом.**

**Открытие кислорода Джозефом Пристли (1774 г.). Ранее ученые смогли выделить лишь два чистых газа – диоксид углерода и**

Лавуазье обнаружил связь между огнем, кислородом и дыханием, объявив, что дыхание представляет собой вариант медленного и контролируемого горения, происходящего у нас в легких. Это открытие до сих пор остается одним из важнейших достижений химии.

На Земле существует около 4500 минералов, и примерно две трети из них могли образоваться только в присутствии кислорода.

Кислород накапливался в атмосфере неравномерно.

Первый скачок произошел примерно 2,3 млрд лет назад, когда в океанах закончились запасы растворенного железа. За несколько сотен миллионов лет концентрация кислорода в воздухе подскочила на 10 порядков.

Примерно 1,8 млрд лет назад концентрация

Но около 600 млн лет назад, когда минералы насытились кислородом, этот газ вновь начал накапливаться в воздухе и за несколько сотен миллионов лет уровень кислорода вдруг невероятным образом



**Кварц SiO**

**2**



**Слю́ды** — группа минералов-алюмосиликатов



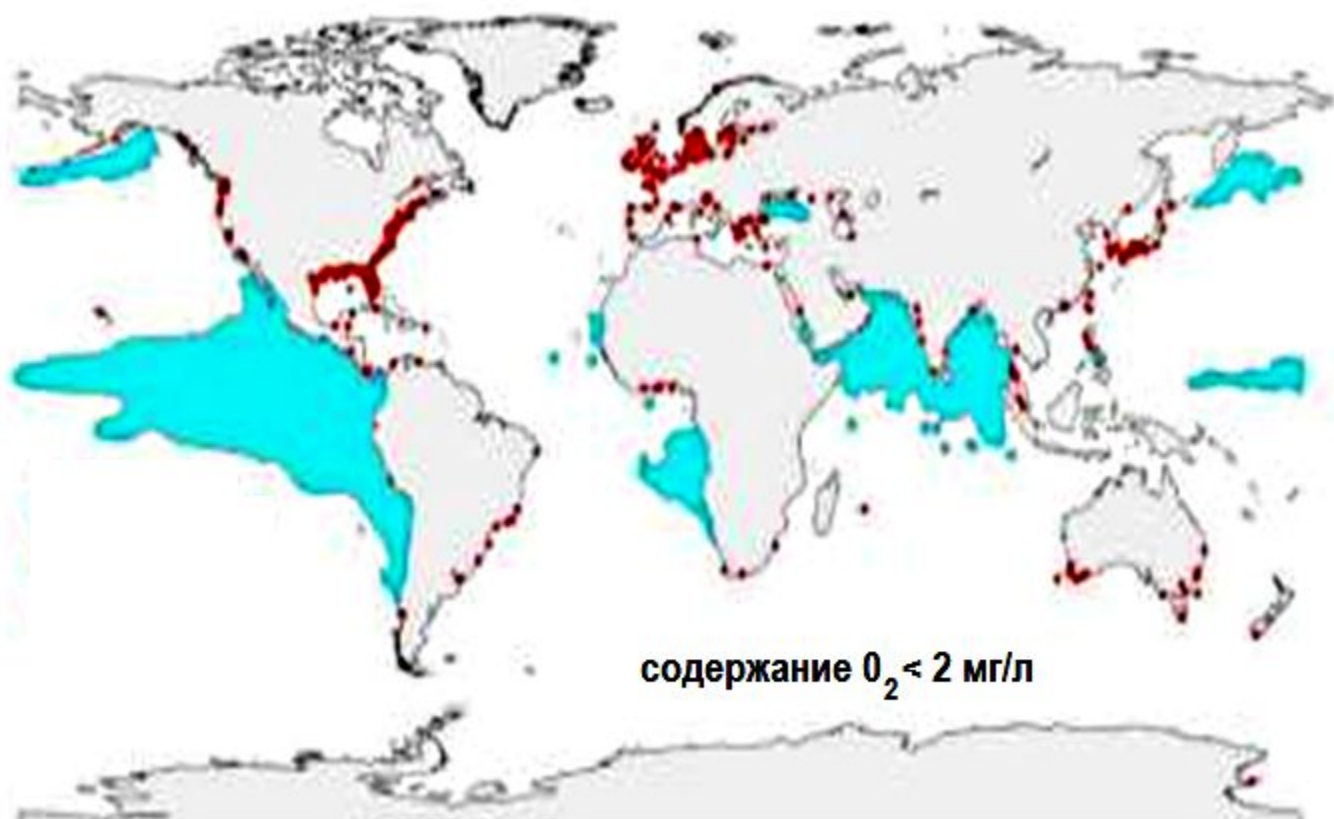
# Содержание газов в воздухе и в воде Мирового океана

Газ	Содержание, млрд т	
	в Мировом океане	в атмосфере Земли
Диоксид углерода CO <sub>2</sub>	140 000	2 300
Кислород O <sub>2</sub>	14 000	1 180 000
Азот N <sub>2</sub>	1,8	3 860 000

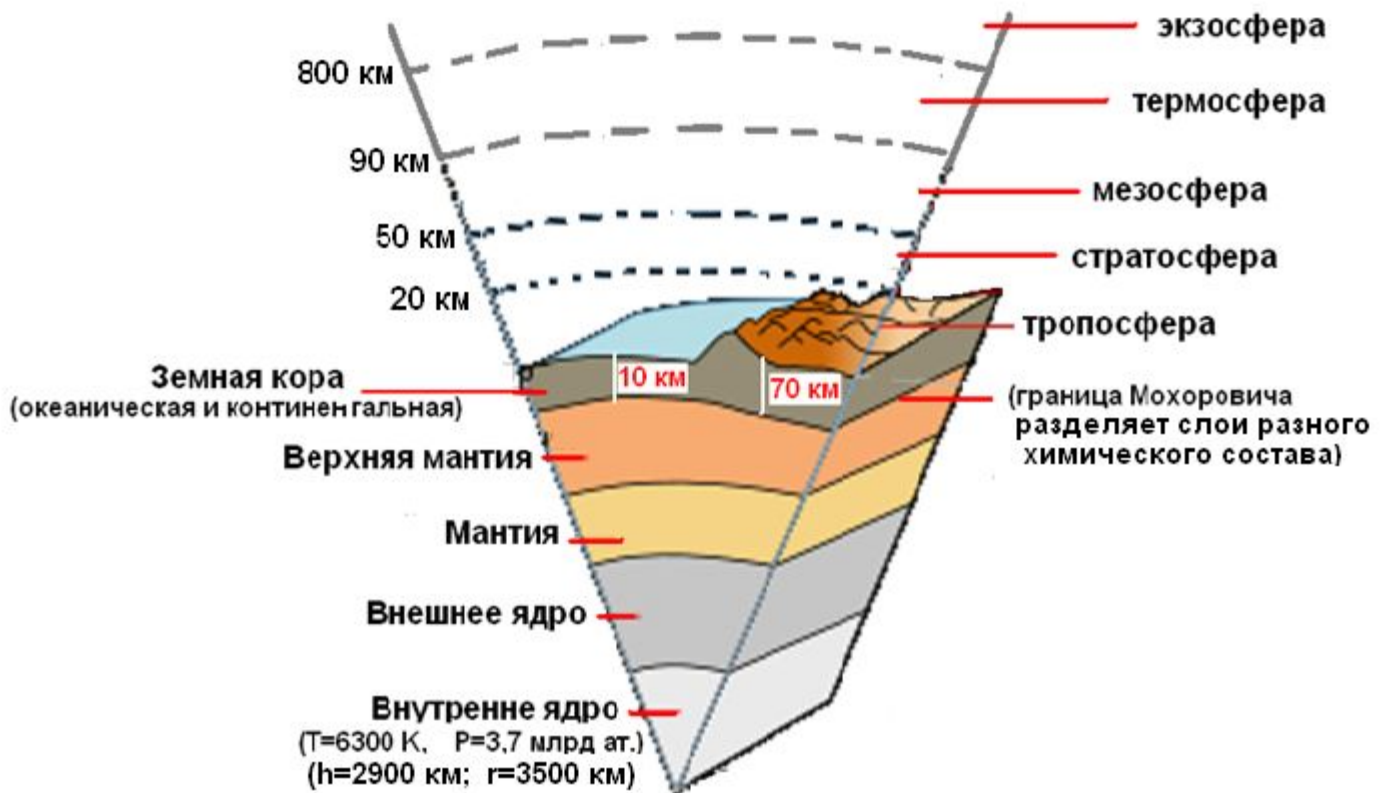
**В целом масса растворённых газов в 30 раз меньше массы газов в атмосфере**



# Потери кислорода в океанах Земли



# Схема внутреннего строения Земли



**Литосфера - твердая часть оболочки Земли (до 70-250 км)**

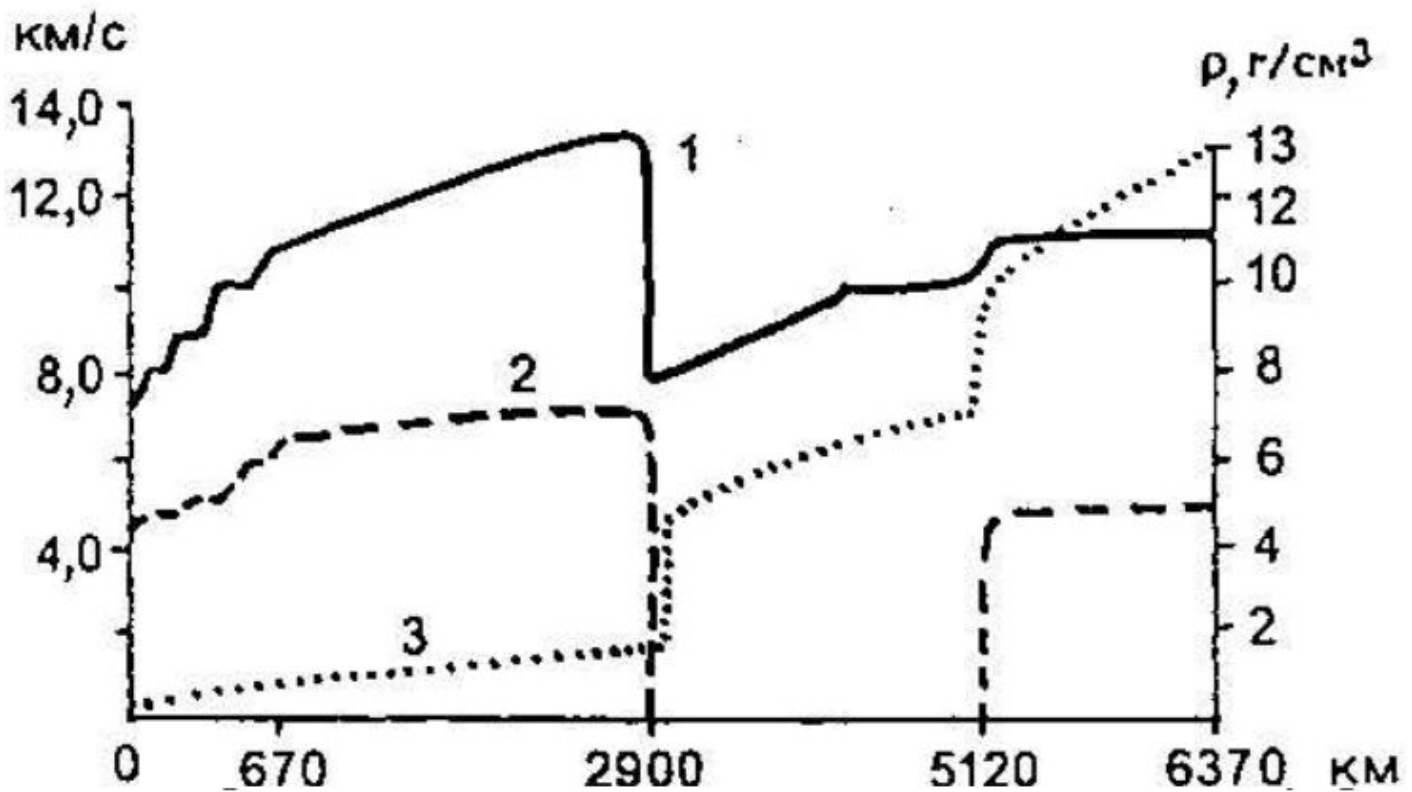
**Гумус - органические вещества, жизнедеятельность почвенных организмов**

**Почва - верхний слой земной коры, обитание живых организмов**

**Недра - верхняя часть земной коры, где осуществляется добыча полезных ископаемых**

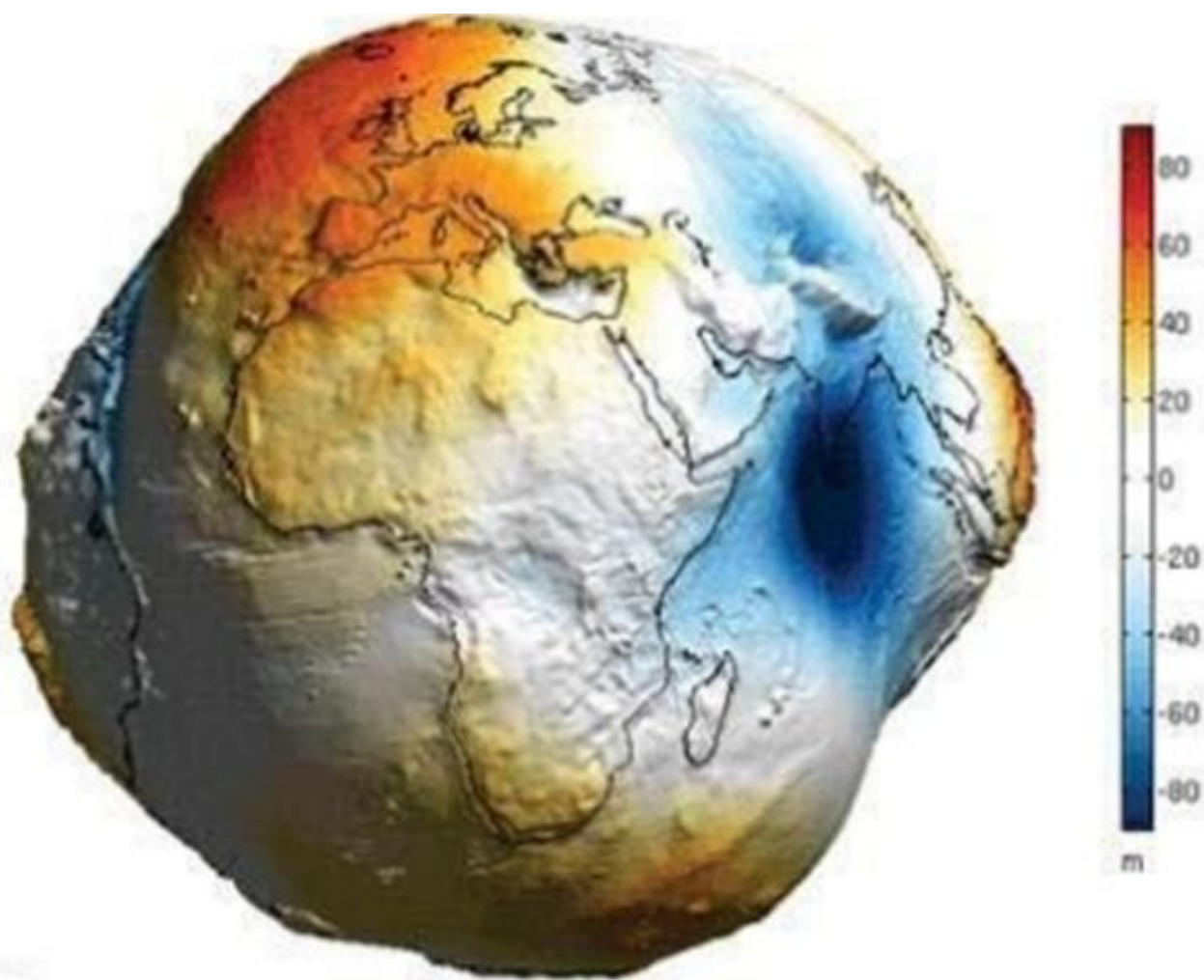
**Источник тепла в недрах - радиоактивные элементы в ядре планеты**

# Скорости сейсмических волн внутри Земли



Сейсмические волны:

1 — продольные, 2 — поперечные, 3 — плотность



Планета Земля как геоид



## Горы и долины

Действительно, высочайшая гора на Земле — Эверест (8848 м) меньше глубочайшей Марианской впадины, а точнее, ее самой глубокой точки — Бездны Челленджера (10 994 м), если ту и другую мерить от уровня моря. И горные цепи, и морские желоба возникают в результате движения литосферных плит, их наползания друг на друга, подныривания или выжимания при столкновении. Гора растет до тех пор, пока своей тяжестью она не продавливает основание. Это легко проверить. Удельный вес пород земной коры около  $\rho = 3000 \text{ кг/м}^3$ . Прочность на сжатие гранита около  $\sigma = 300 \text{ МПа}$ . Подсчитаем, какова максимальная высота гранитного столба ( $L$ ), который начинает своим весом ( $\rho L$ ) разрушать свое основание (мы помним, что один килограмм силы примерно равен 10 ньютонам):

$$L = \frac{300 \text{ МПа}}{3000 \text{ кг/м}^3} = 10 \text{ км.}$$

Как видим, на Земле невозможны горы высотой более 10 км, что и доказывает Эверест. Впрочем, слава Эвереста не вполне заслуженная: на нашей планете найдутся горы и повыше Эвереста. Чемпионом высоты считается потухший вулкан Мауна-Кеа, высочайшая вершина острова Гавайи (4205 м над уровнем моря). Дело в том, что большая часть этой горы находится под водой. Относительно подножия, находящегося на дне Тихого океана, ее высота составляет 10 203 м. Даже удивительно, что наша оценка оказалась такой точной.

Океанический желоб тоже можно представить как долину между двух гор. Давление на основание этих гор создает их собственный вес, а также вес столба воды над ними. Глубина океана рядом с Марианским желобом около  $H = 3500 \text{ м}$ , плотность воды около  $1000 \text{ кг/м}^3$ . Отсюда для максимальной глубины желоба:

$$(L - H) \times 3000 \text{ кг/м}^3 + H \times 1000 \text{ кг/м}^3 = 300 \text{ МПа}$$

Окончательно получаем глубину скального основания Марианской впадины около 12 км. Измеренная глубина составляет около 11 км, но не исключено, что разницу в 1 км заполняют рыхлые морские осадки, скопившиеся в Марианской

---

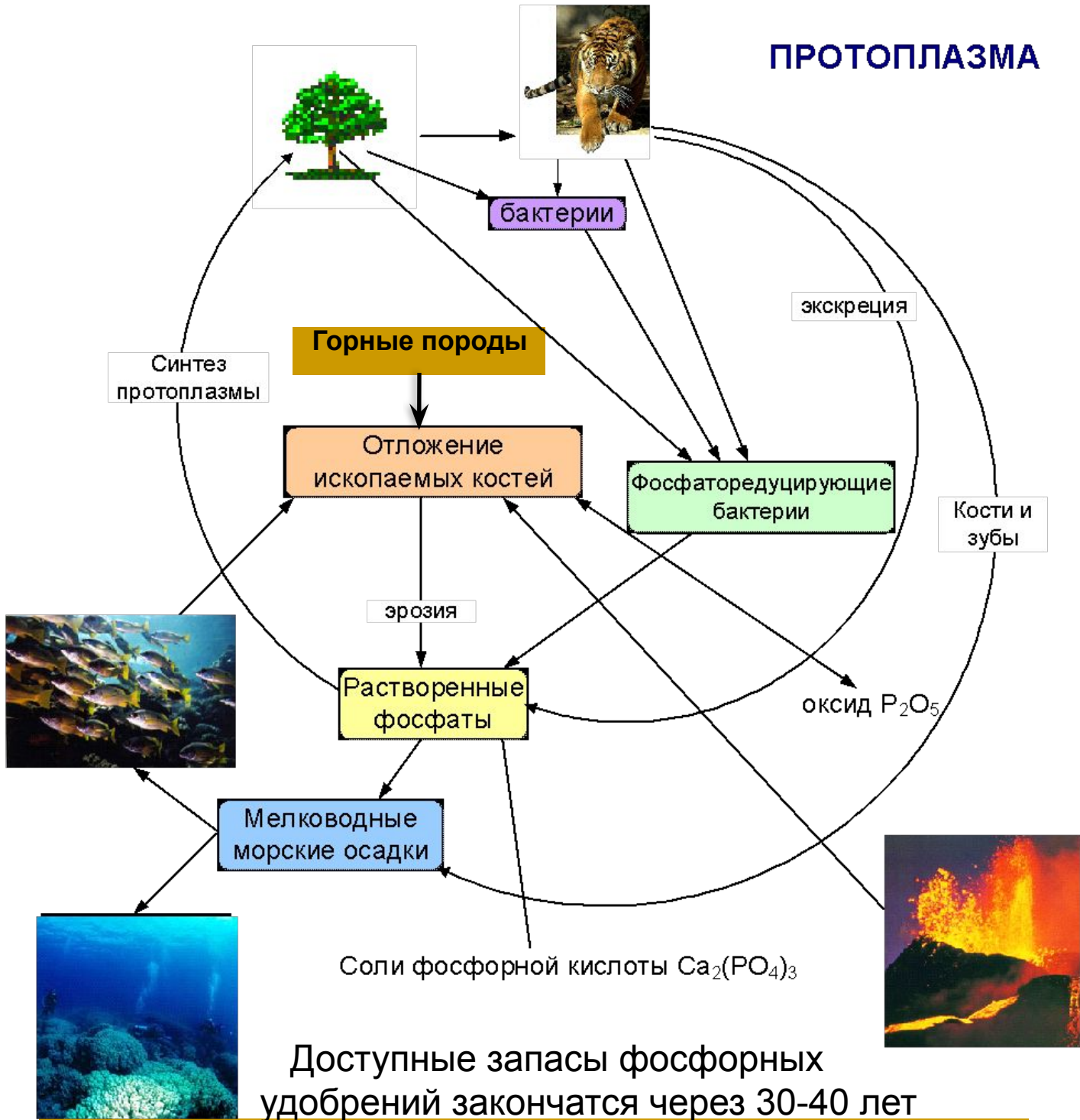
относительно уровня твердой земной поверхности определяется прочностью и удельным весом пород.

Эти же рассуждения можно отнести и к другим телам Солнечной системы с учетом плотности и прочности их пород, а также силы тяжести на поверхности. Например, если плотность и прочность марсианской коры такая же, как земной, а сила тяжести в 2,6 раза меньше, то высочайшие горы на Марсе должны достигать  $2,6 \cdot 10 \text{ км} = 26 \text{ км}$ . Действительно, именно такова высочайшая вершина Марса — гора Олимп.

Можете продолжить эти изыскания в отношении других планет. А если наша простая теория не будет «сходиться» с наблюдениями, то подумайте — почему?

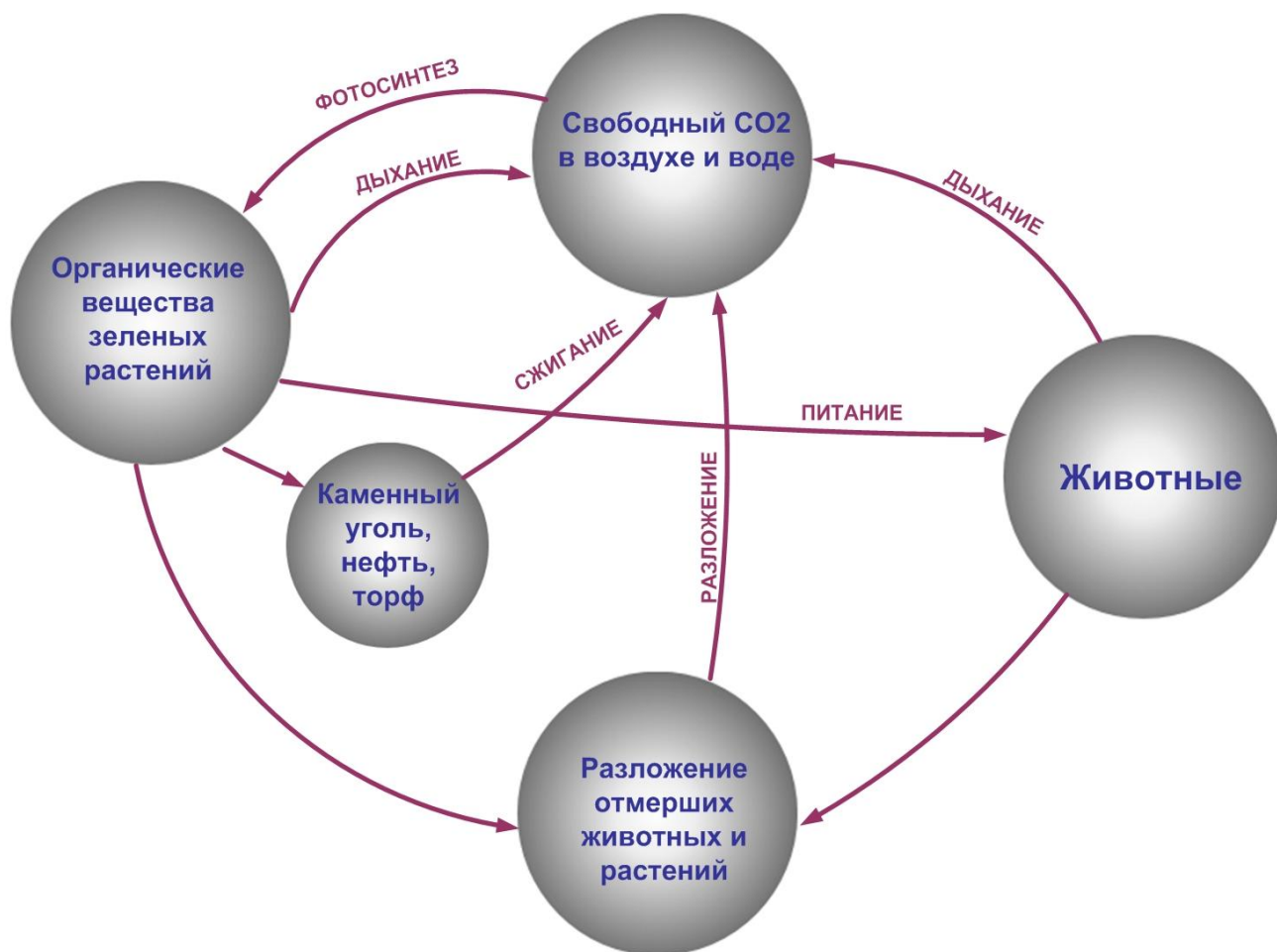
---

# Фосфорный цикл



Доступные запасы фосфорных удобрений закончатся через 30-40 лет

# Круговорот углерода





# Взаимосвязь биогеохимических циклов и экологических проблем

Цикл	Климат	Оз	Эвтрофикация	Воздух	Продуктивность
C	+	+		+	+
N	+	+	+	+	+
P			+		+
S	+	+		+	+

**Земля без людей восстановится  
за 1000 лет**