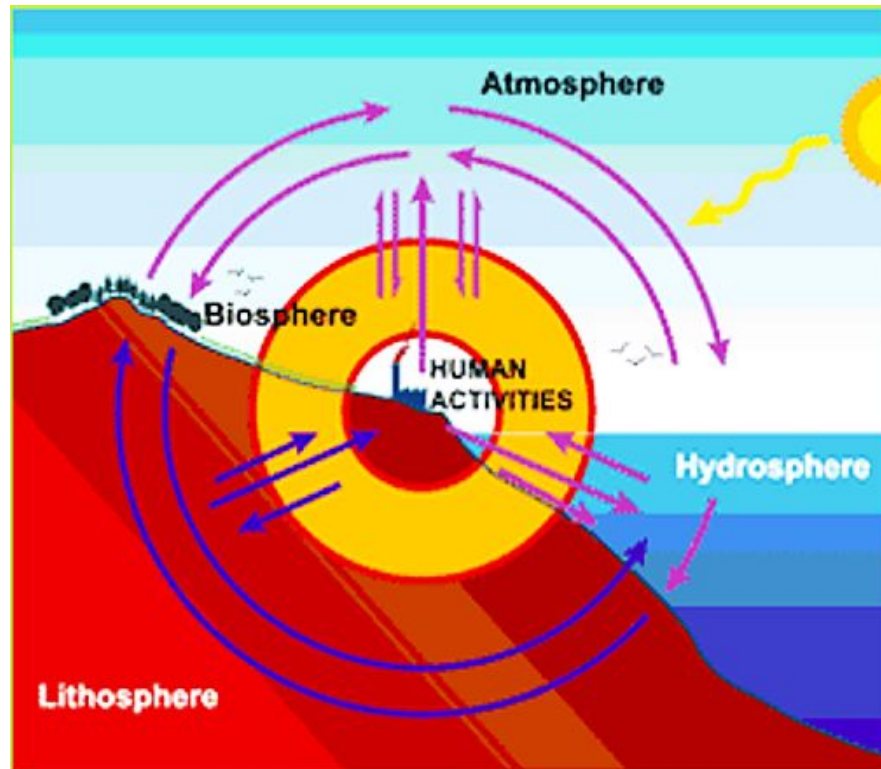


# Миграция элементов и биогеохимические циклы



# Типы миграции элементов

**Механическая:** перенос частиц потоками воды или газа

**Физико-химическая:** перенос в молекулярной форме вне живых организмов (растворы, коллоиды, газы)

**Биогенная:** перенос в составе или с помощью организмов (в живом веществе)

**Техногенная:** перенос в ходе деятельности технической цивилизации

# Внутренние факторы миграции

## Особенности элементов, их соединений и ионов

Ионный потенциал Картледжа:  $PK = W/10R_i$

Энергетические коэффициенты ионов (по Ферсману):

$$ЭК_{\text{катионов}} = (W^2/20R_i) \cdot [0,75(10R_i + 0,2)] \quad ЭК_{\text{анионов}} = W^2/20R_i$$

(чем больше ЭК, тем менее подвижны в растворе)

## Форма присутствия элементов в природе

(агрегатное состояние, химическое соединение, образование коллоидов, комплексообразование...)

# **Внешние факторы миграции**

**Температурный режим**

**Давление**

**Кислотно-щёлочные условия среды**

**Окислительно-восстановительные  
условия среды**

# **Миграционные ряды элементов – водных мигрантов в коре**

(Полынов, 1933)

**Энергично выносимые (Cl, Br, J, S)**

**Легко выносимые (Ca, Na, K, Mg)**

**Подвижные (Si – в силикатах, P, Mn)**

**Инертные (F, Al, Ti)**

**Практически неподвижные (Si – кварц)**

# Биогенная миграция

- Организмы защищают от выноса
- При пониженной биогенности – более далёкие миграции
- Живое вещество влияет на геохимическую среду
- Организмы – кислородные существа
- Жизнь образуется из газов, после смерти превращается в газы
- Подвижные элементы активнее захватываются живым веществом

# Биогеохимические барьеры

Участки биосферы, где на коротких расстояниях происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и, как результат, их накопление (Перельман, 1961)



# Макробарьеры





# Мезобарьеры



# Микробарьеры



# Характер барьеров

- **Механические**
- **Физико-химические** (кислородные, сульфидные, глеевые, щелочные, кислые, испарительные, сорбционные)
- **Биогеохимические**
- **Техногенные**

Градиент  $G=(m_1-m_2)/L$       Контрастность  $S=m_1/m_2$

# Болотная руда: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{X}$ (действие окислительного барьера)









# Почвенные барьеры



Маломощный  
слой почвы

## Почвенные горизонты

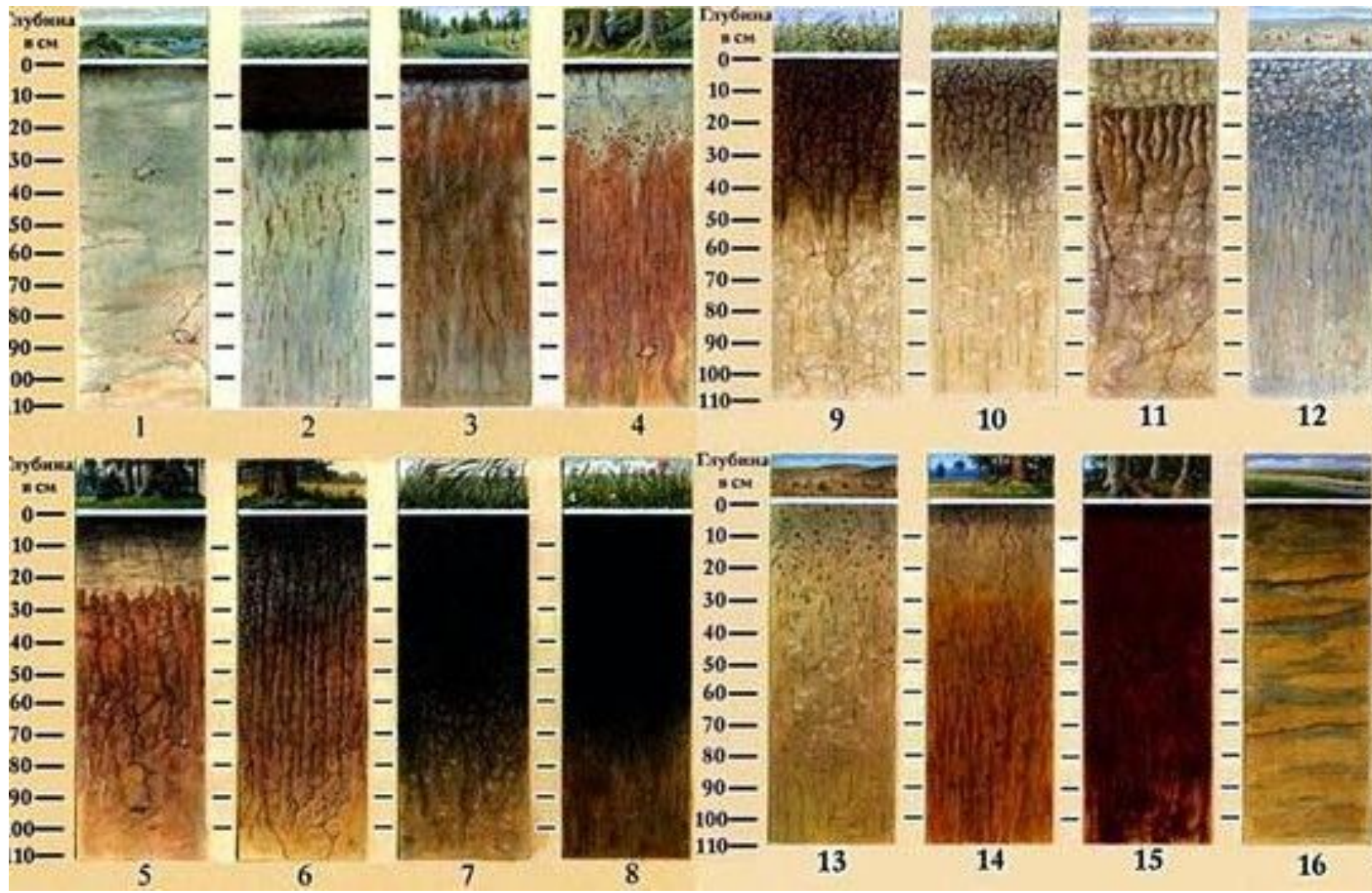
1. Гумус
2. Горизонт вымывания
3. Горизонт вымывания
4. Почвообразующая порода



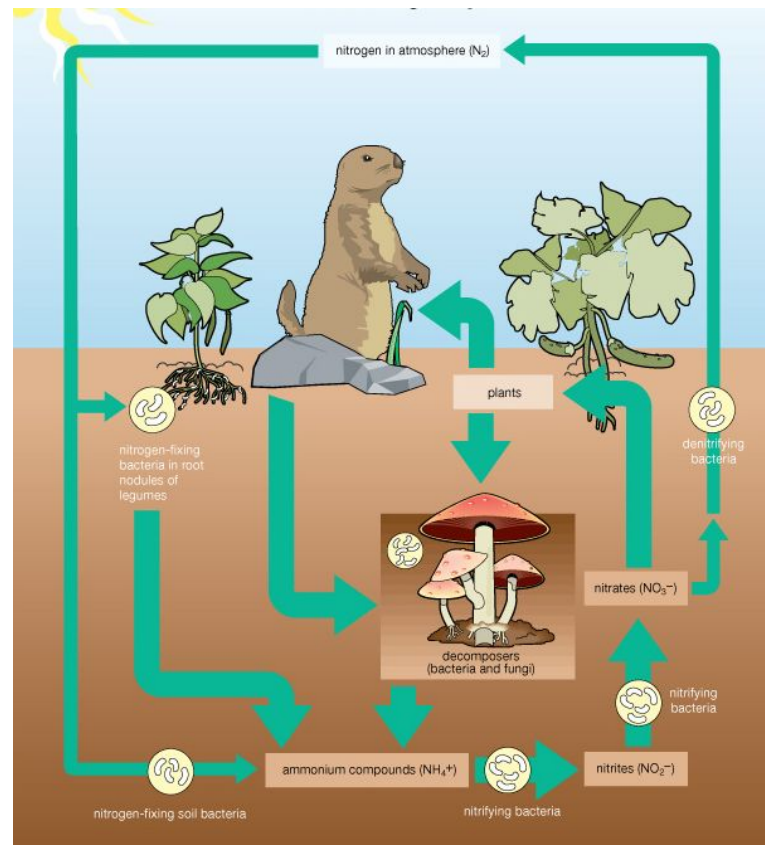
Сформировавшаяся подзолистая почва



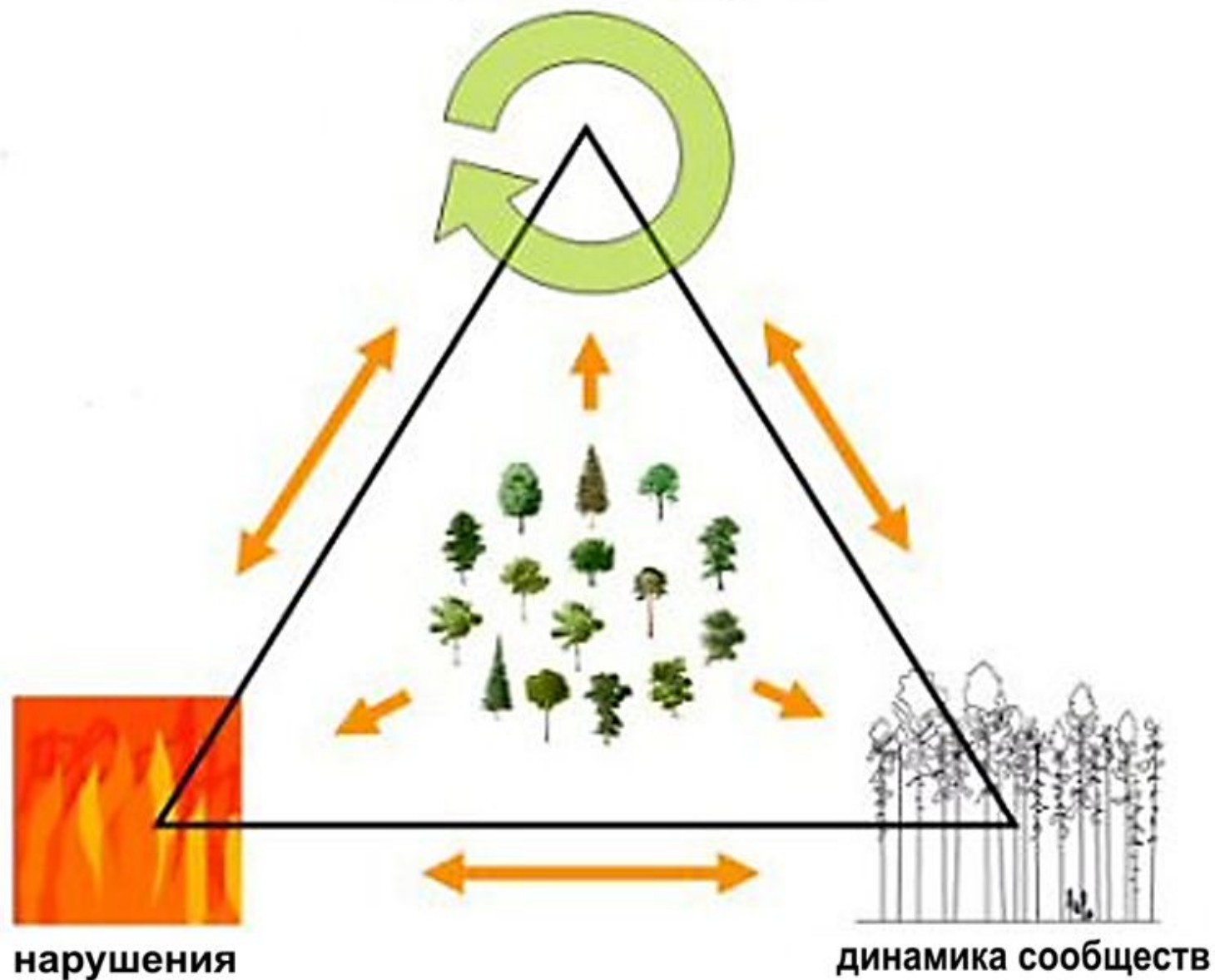




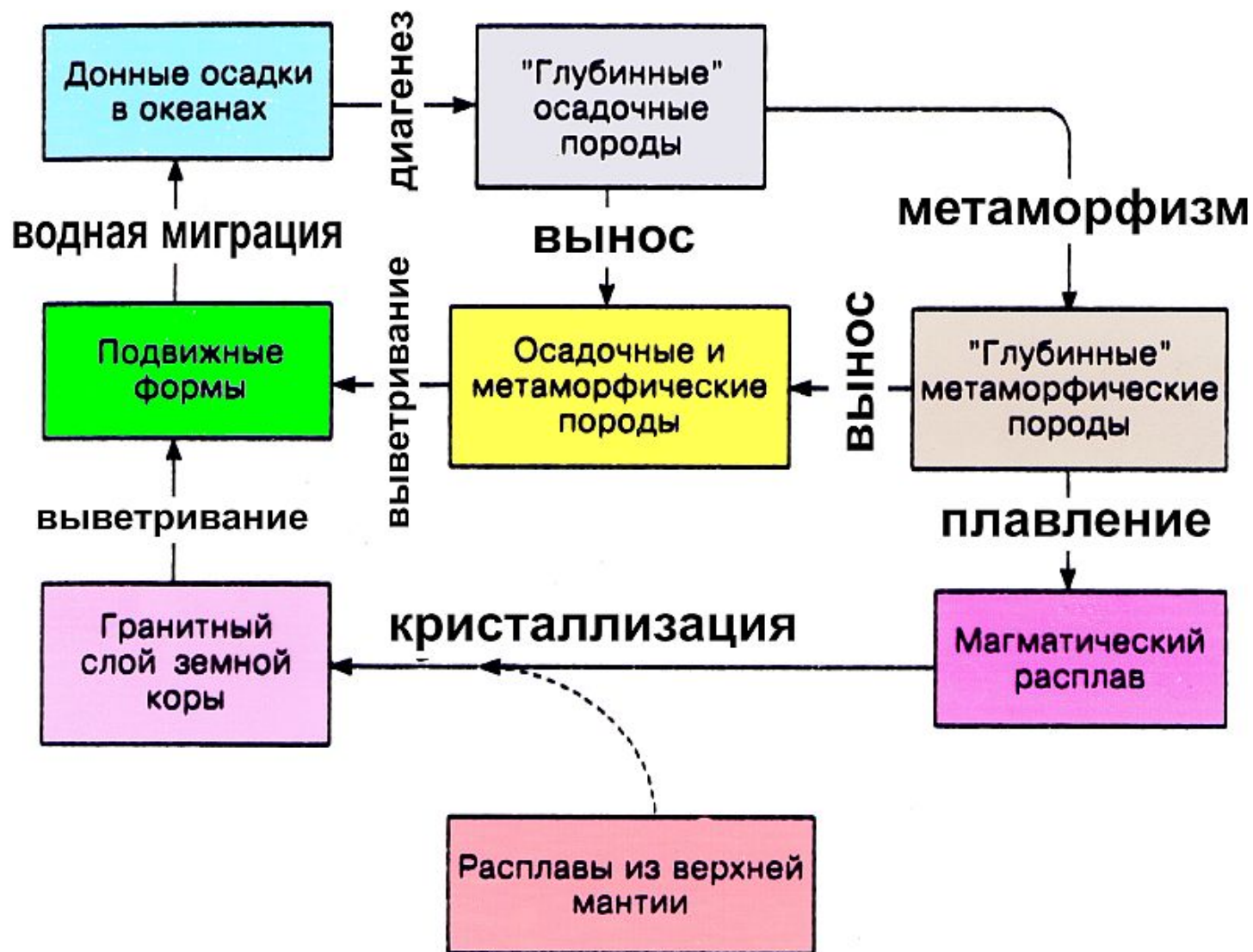
# Биосферные циклы элементов



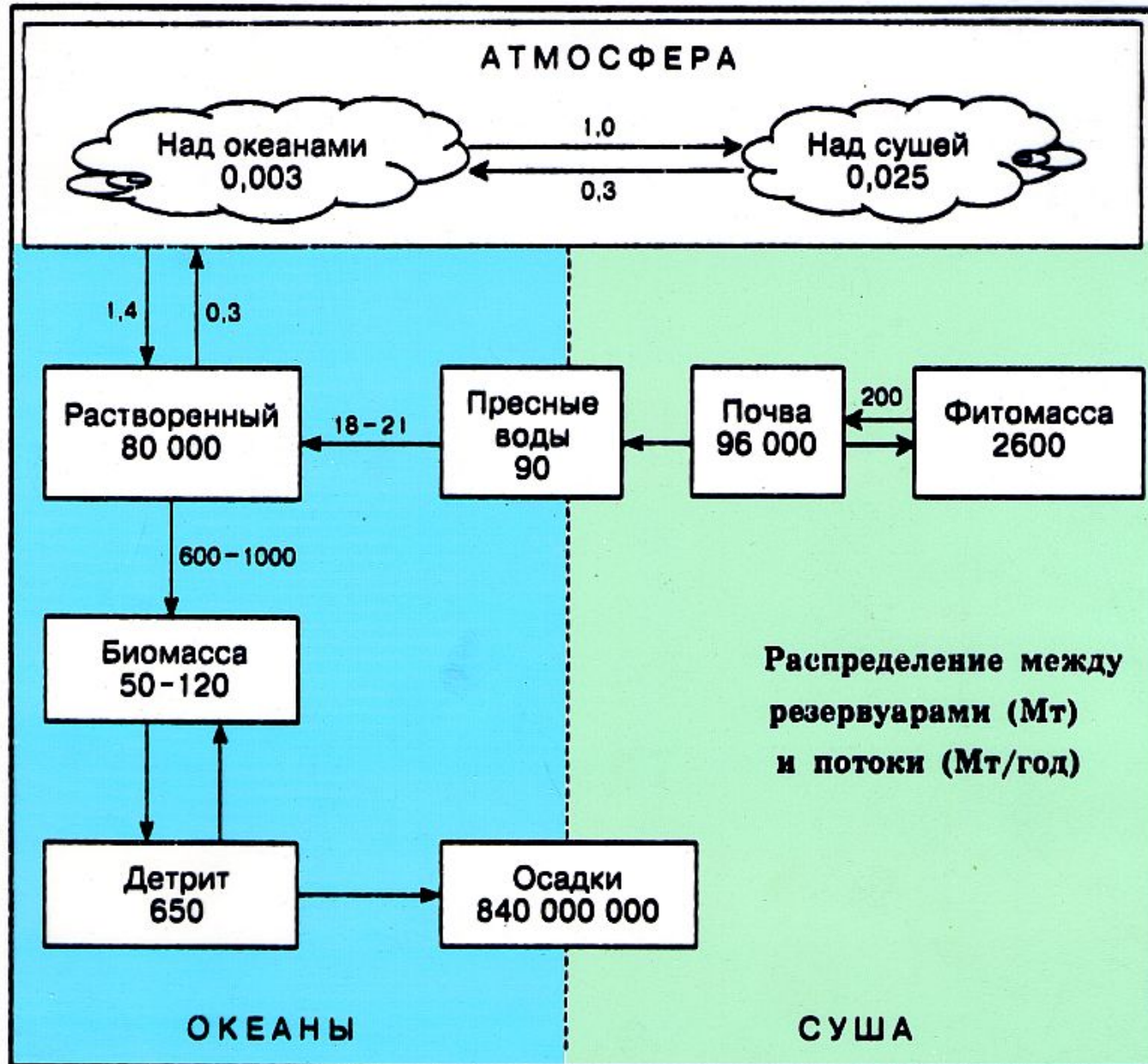
# Биогеохимические циклы



# Глобальные геохимические циклы элементов



# Осадочный цикл фосфора



# Цикл воды



Основоположником учения о круговороте воды считают француза П. Перро (1611—1680)...

## **Среда**

Океаны

Ледники

Сезонный снежный покров

Почвенная корка

Грунтовые воды поверхностные

Грунтовые воды углубленные

Озера

Реки

Атмосфера

## **Среднее время обновления**

3 200 лет

от 5 до 10 лет

от 2 до 6 месяцев

от 1 до 2 месяцев

от 100 до 200 лет

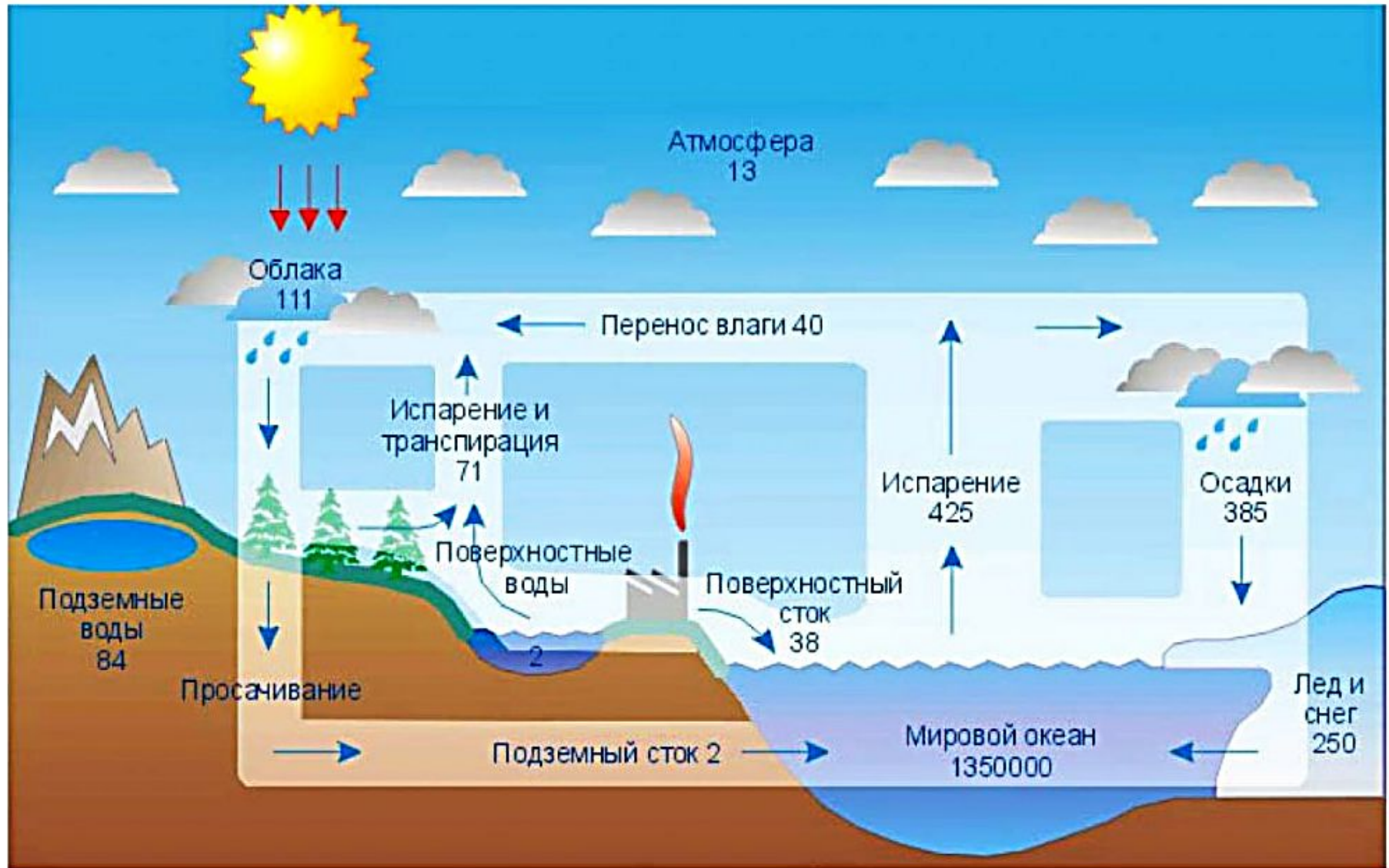
10 000 лет

от 15 до 17 лет

от 17 до 19 дней

10 дней

# Гидрологический цикл



Планетарный обмен влагой (тыс.км³) (ВМО, 2002)



# Глобальный гидрологический цикл

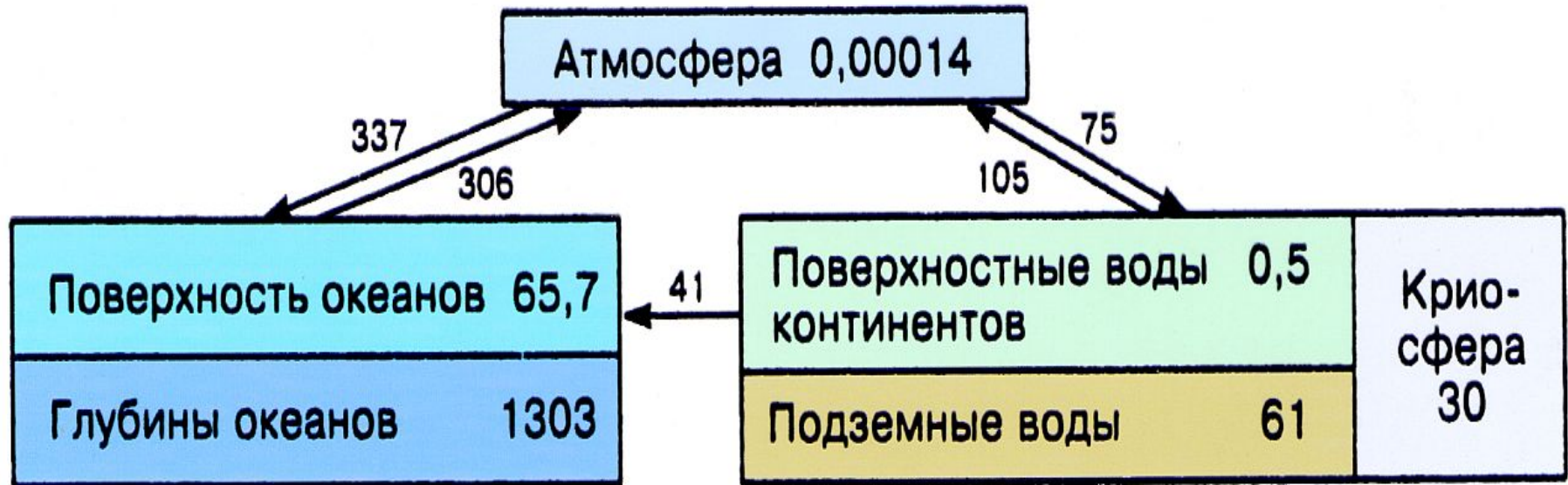


Схема глобального гидрологического цикла. Содержание воды в резервуарах приведено в млн. км<sup>3</sup>, а потоки – в тыс. км<sup>3</sup>/год

# Глобальные потоки кислорода

Источники и стоки потоки, Гт/год

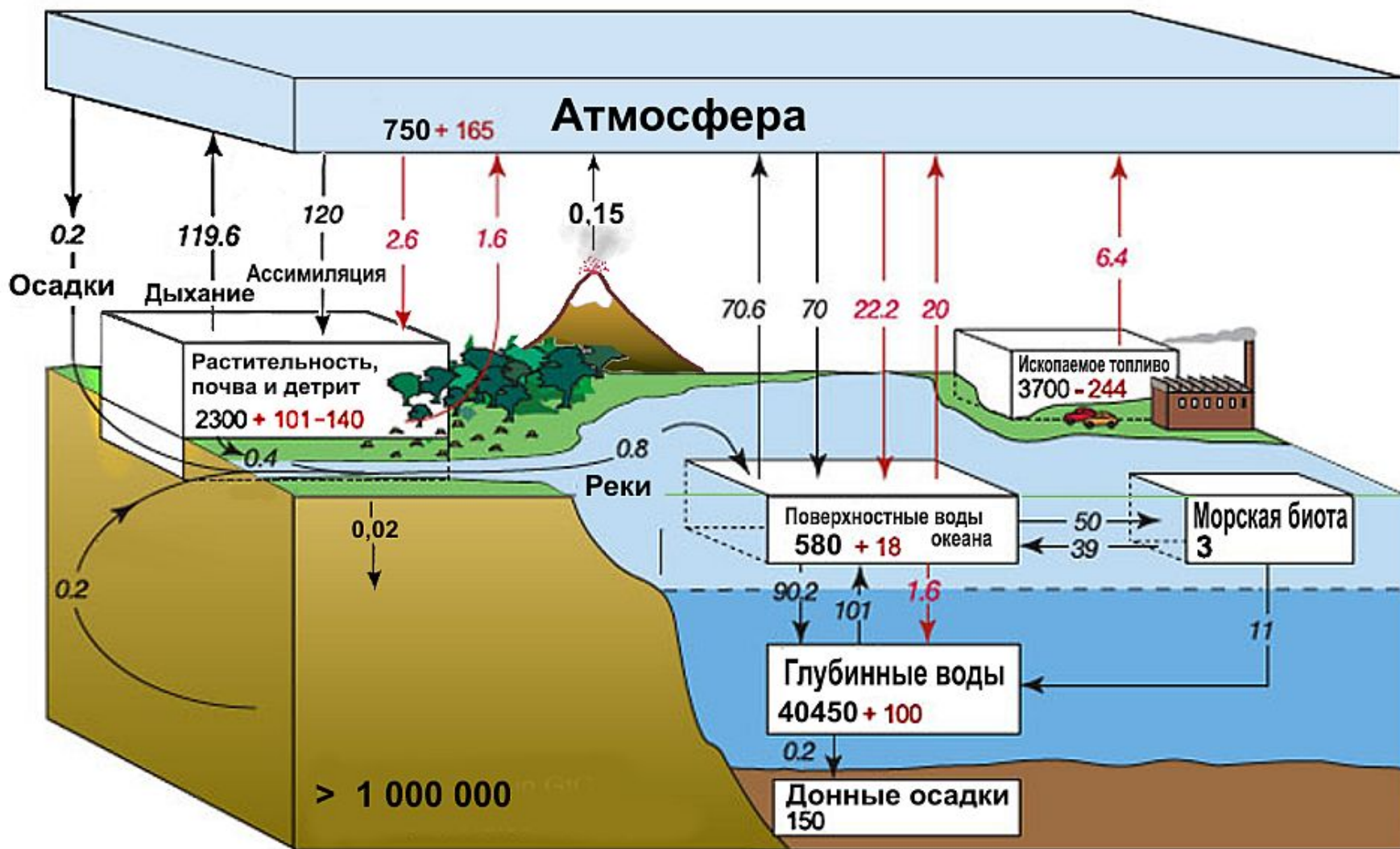
## *Приход*

Фотосинтез на континентах	150
Фотосинтез в океанах	120
Фотолиз водяного пара в атмосфере	0,0002
Всего	270

## *Расход*

Аэробное дыхание	210
Биологическая нитрификация	38
Микробиологическое окисление $\text{CH}_4$ и $\text{H}_2\text{S}$	7,25
Фотохимическое окисление органических компонентов атмосферы	5,22
Реакции озона с поверхностью	0,77
Химическое выветривание сульфидов	0,26
Химическое выветривание керогена	0,24
Окисление молекулярного азота при грозах	0,10
Окисление восстановленных компонентов вулканических газов	0,04
Всего	261

# Цикл углерода



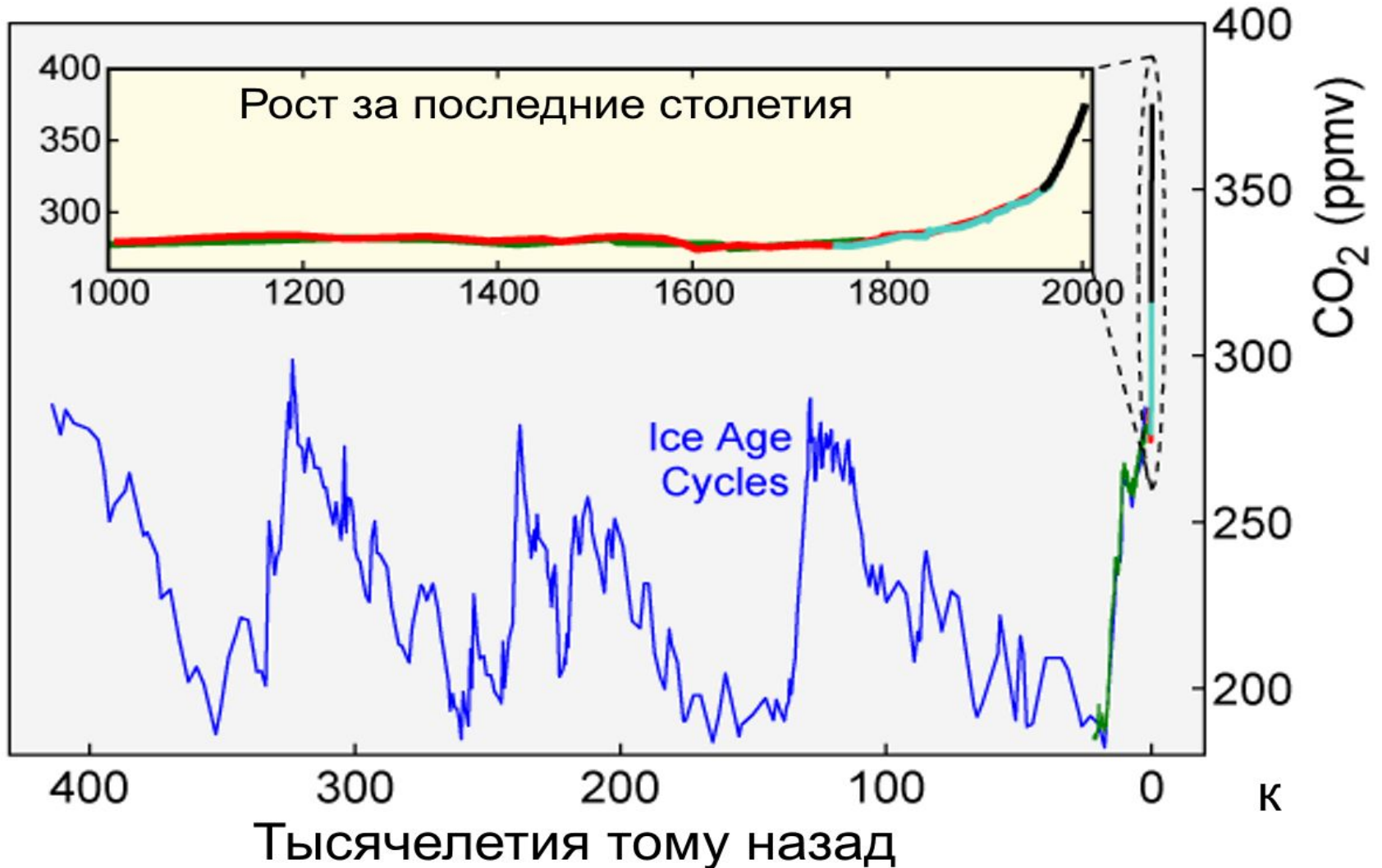
Размеры резервуаров: гигатонны углерода

Потоки: гигатонны в год

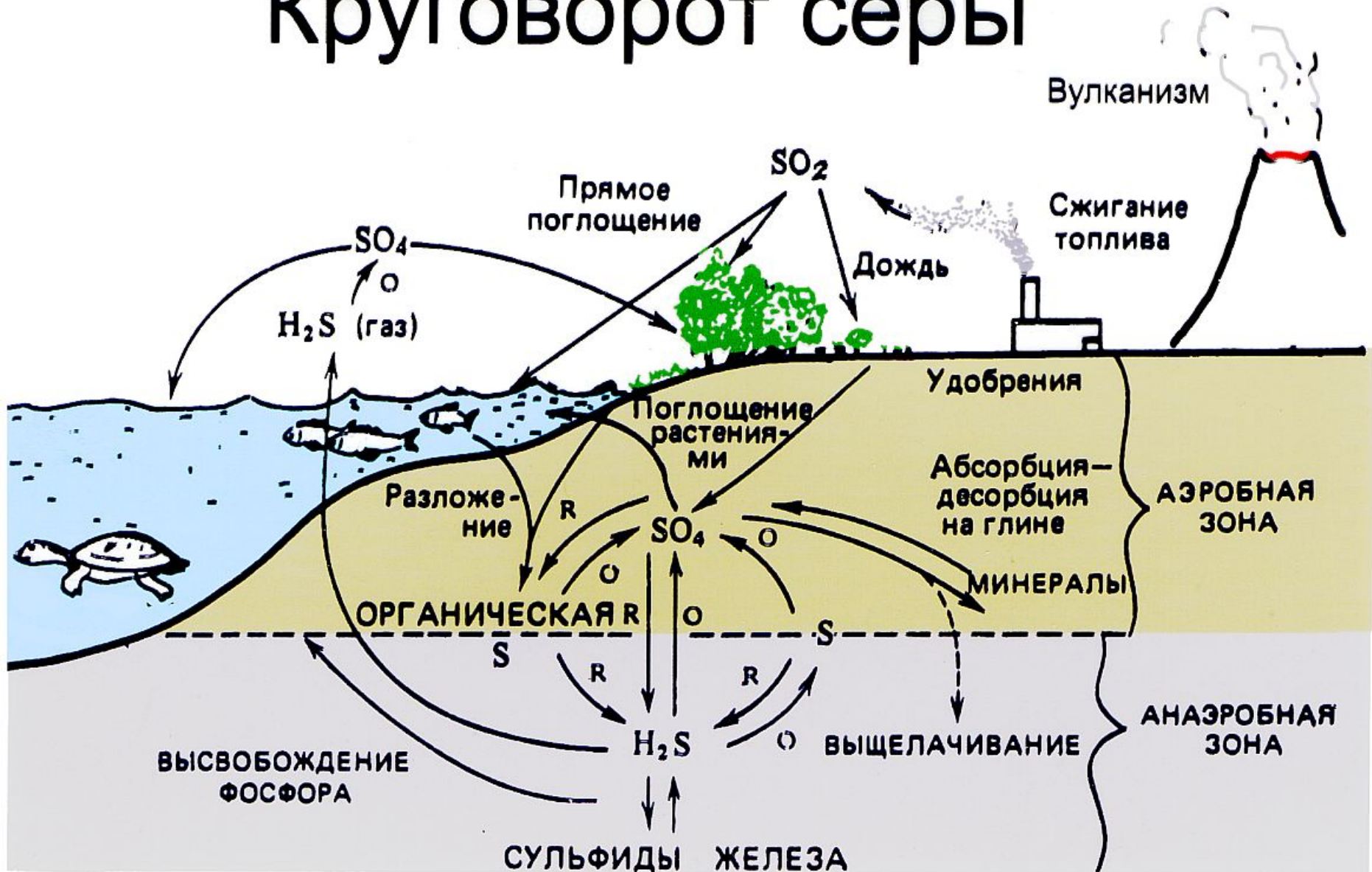
Предполагаемые антропогенные влияния

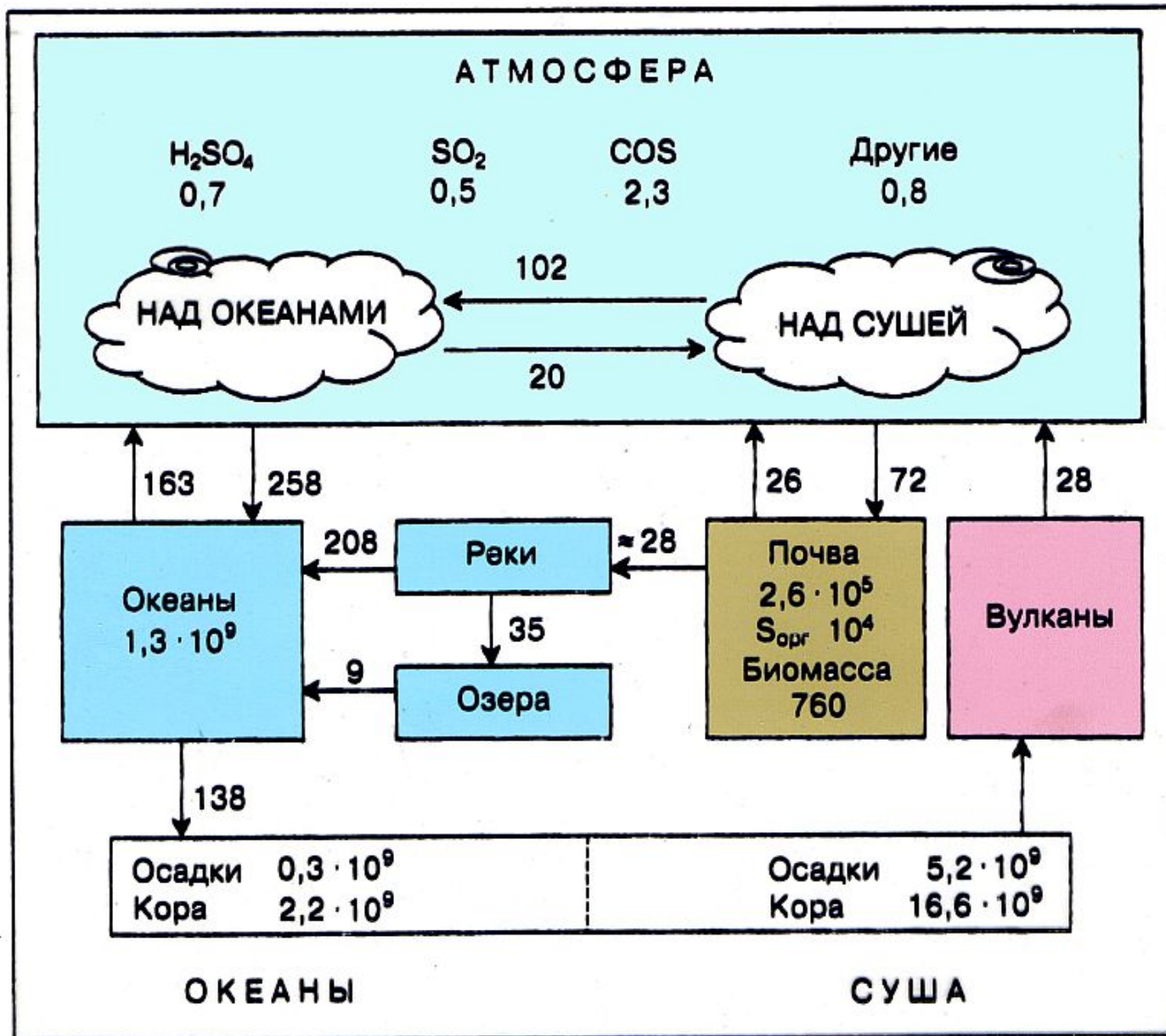
# Концентрация CO<sub>2</sub> в воздухе

Вариации содержания углекислоты в воздухе



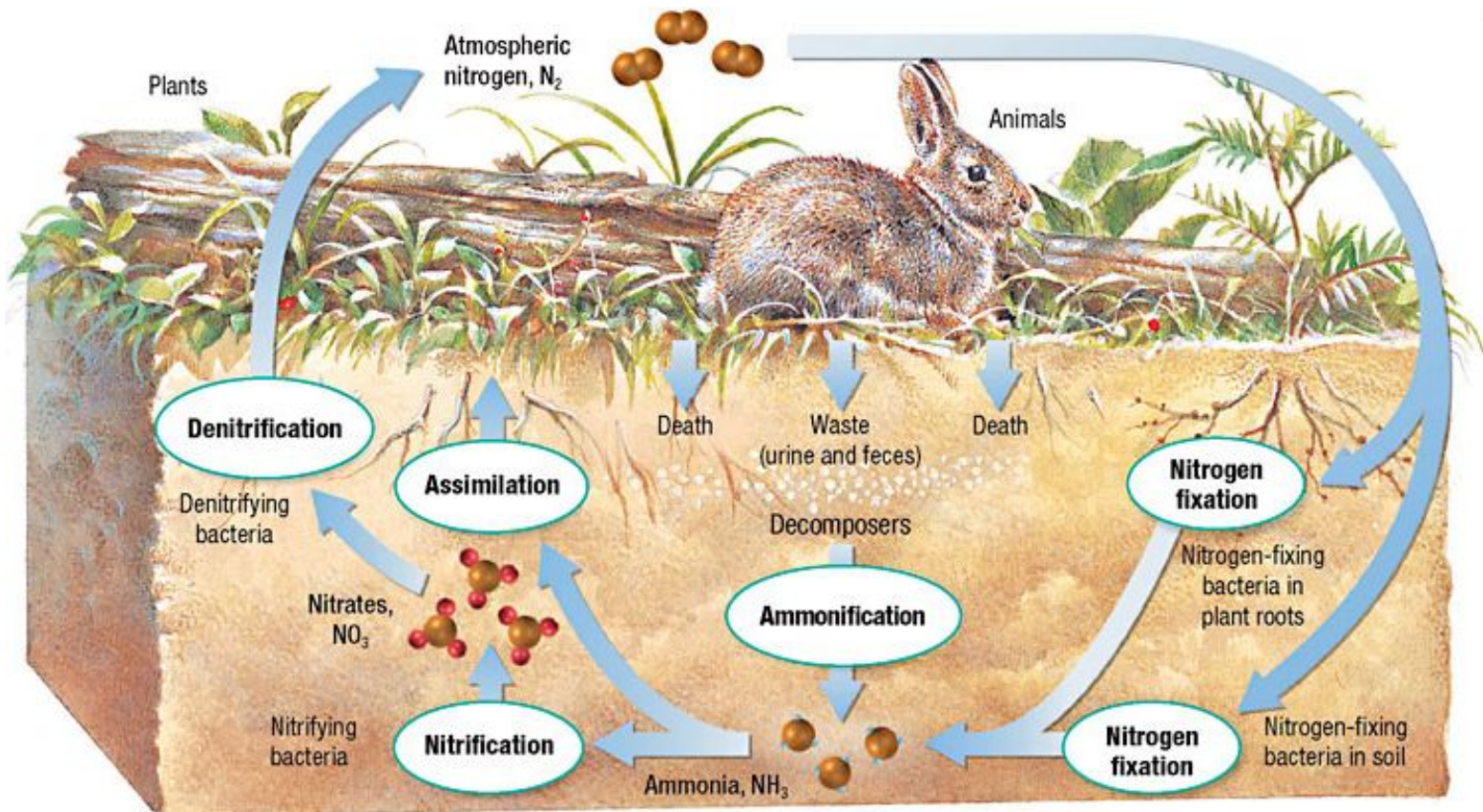
# Круговорот серы



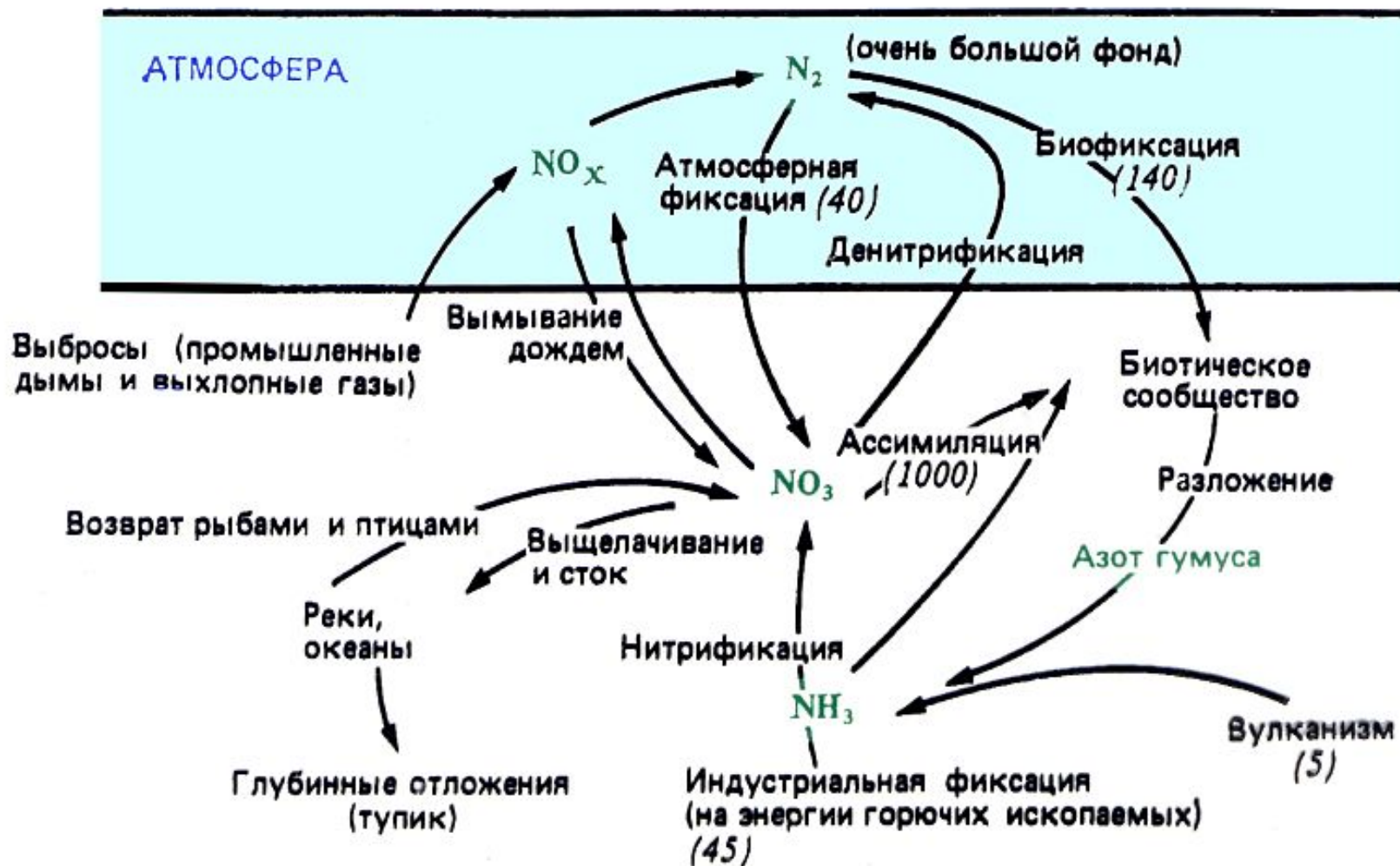


**Распределение по резервуарам (Mt) и миграционные потоки (Mt/год) серы в географической оболочке Земли**

# Цикл азота

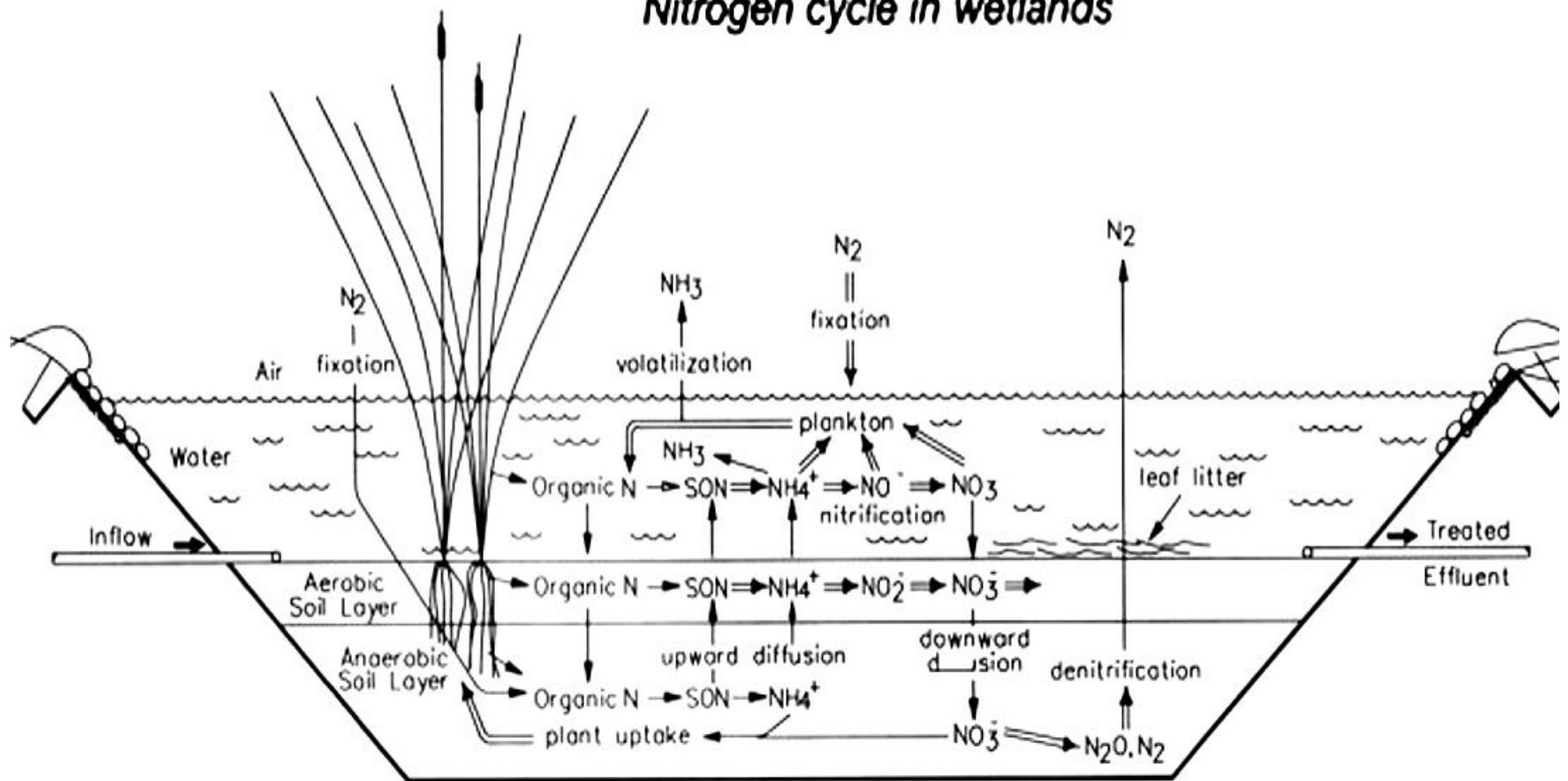


# Потоки азота с точки зрения биолога





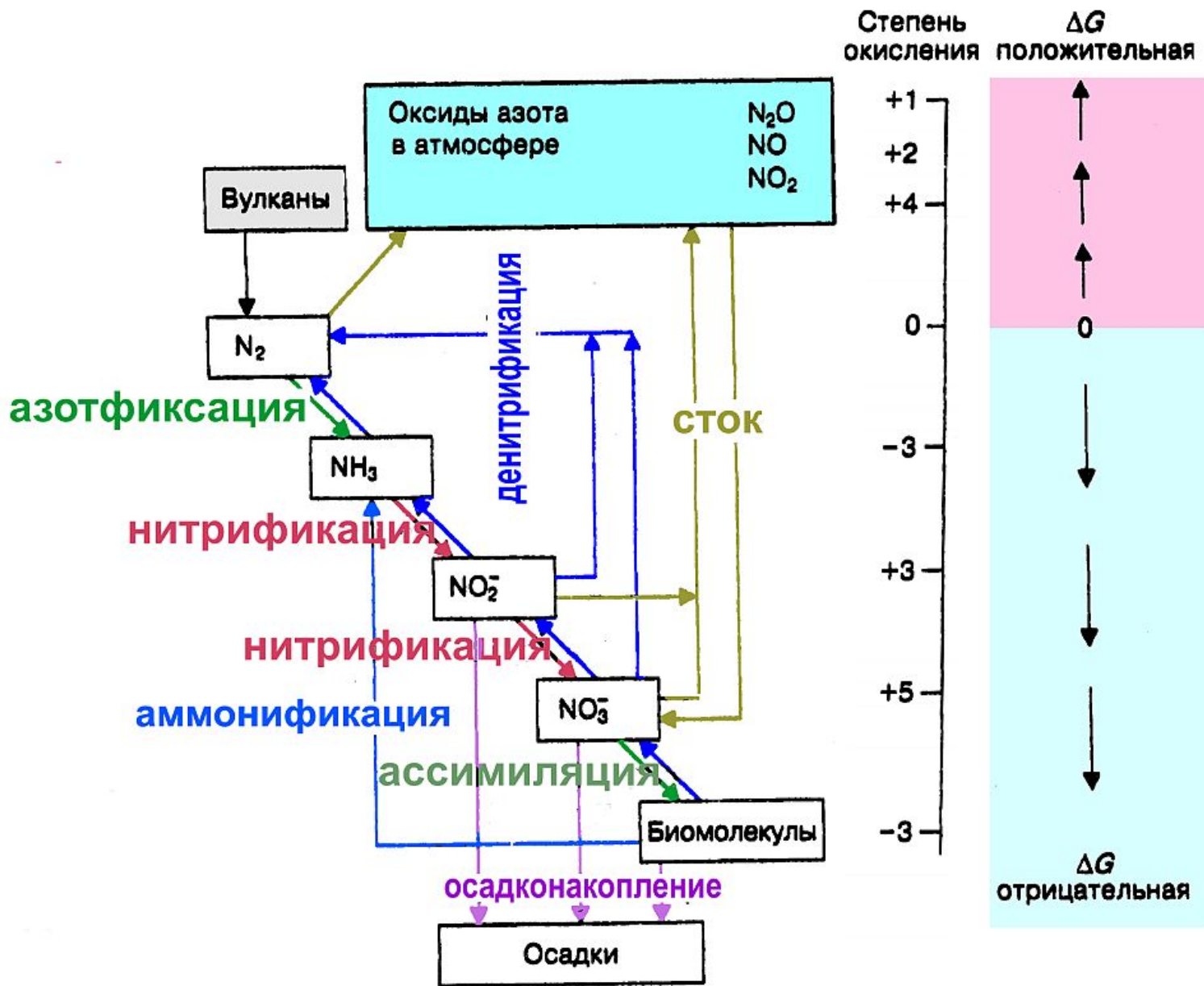
## Nitrogen cycle in wetlands



SON = Soluble Organic Nitrogen

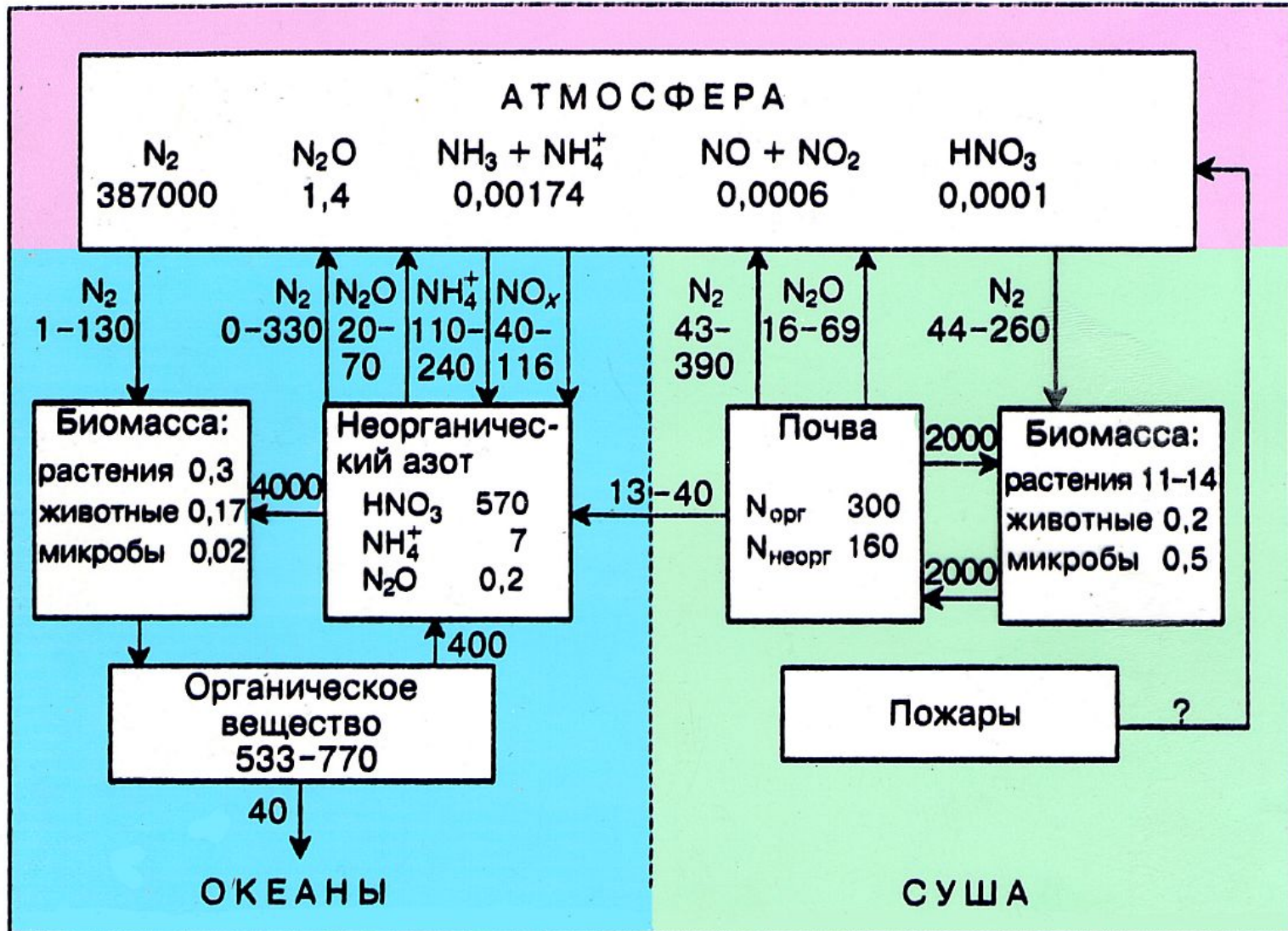
$\rightarrow$  = physical / chemical processes

$\Rightarrow$  = bacterial / plant processes



Химические соединения, участвующие в цикле азота, отличающиеся по степени окисления и относительной устойчивости (по П. О'Нейл, 1993, с изменениями)

# Глобальный круговорот азота



Основные резервуары (в  $10^{15}$  т) и потоки ( $10^{15}$  т/год) азота

**Общее количество бактерий: 4 - 6 x 10<sup>30</sup> клеток**

**Содержание элементов, 10<sup>15</sup> г**

	бактерии	растения	бактерии/растения
C	350 - 550	560	0.6 - 1
N	85 - 130	10	8.5 - 13
P	9 - 14	1	9 - 14

биотоп	число клеток x 10 <sup>30</sup>	время деления, г	% от общего
почва	0.26	2.5	5
поверхность земли	1.4	1500	27
открытый океан	0.12	0.02 - 0.8	2
дно океана	3.5	1500	67

# Биогеохимические циклы в микробном мате

