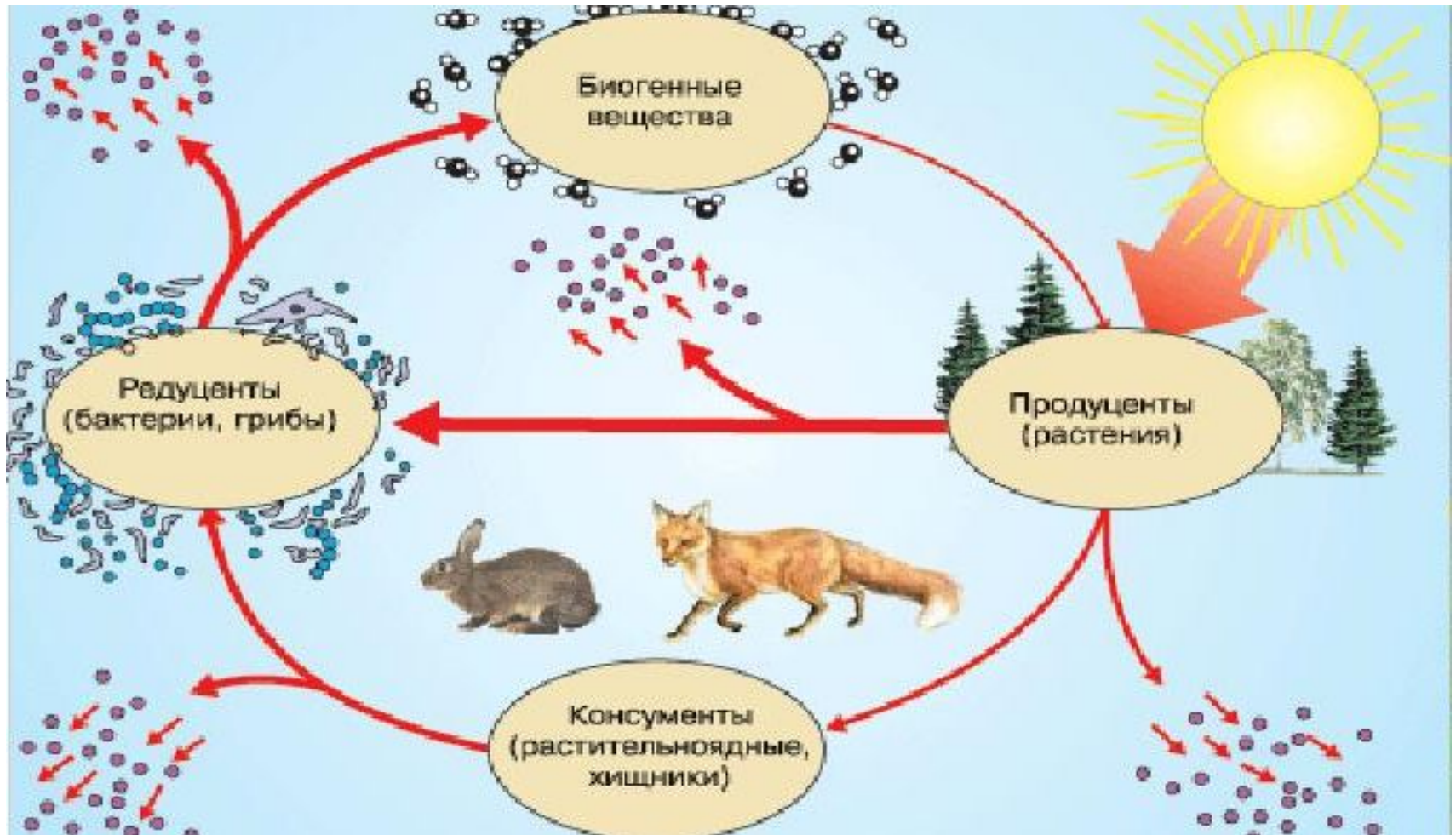


# Биогенные круговороты веществ.

Келин Е. А.

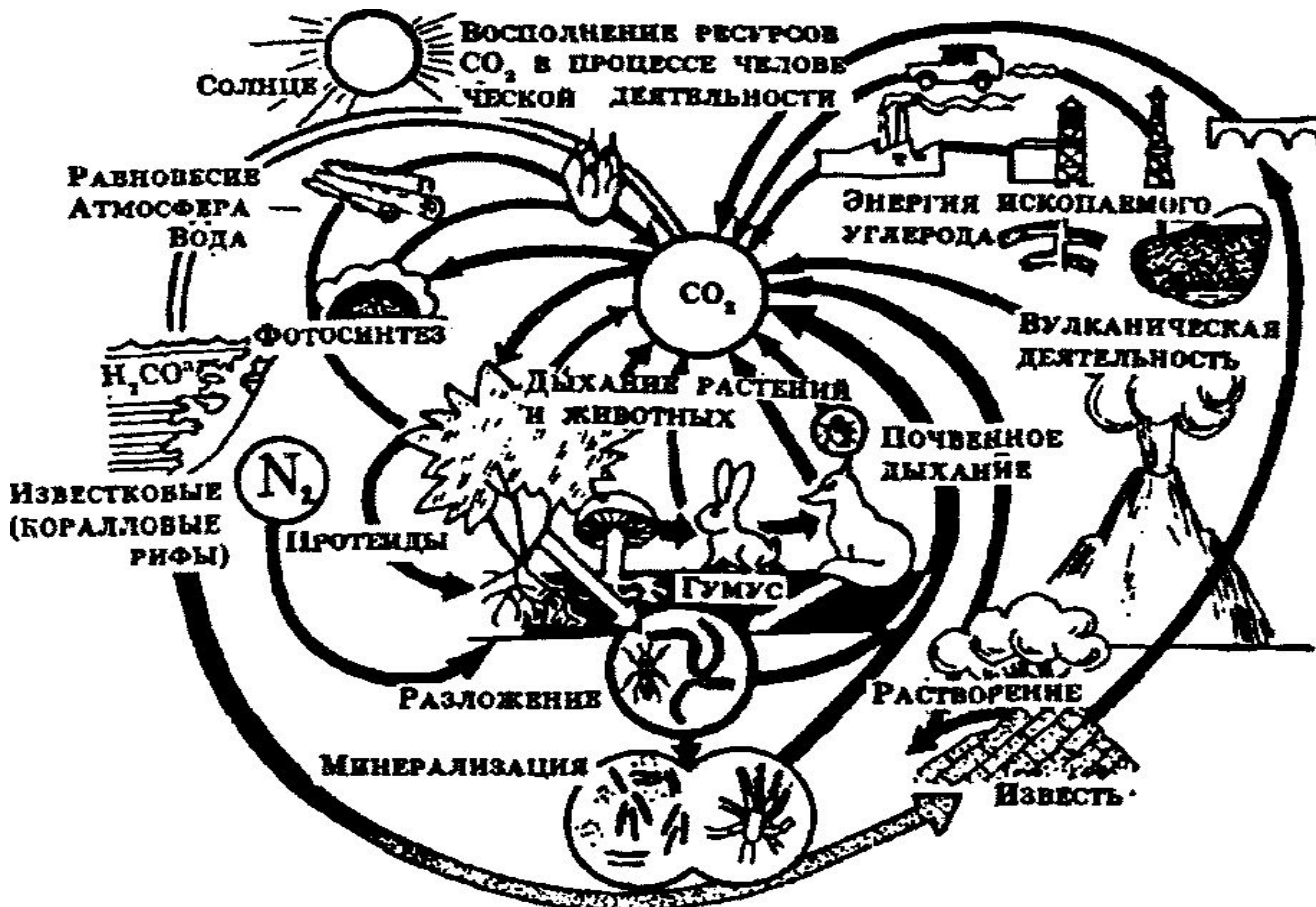


Деятельность живых организмов сопровождается извлечением из окружающей их неживой природы больших количеств минеральных веществ. После смерти организмов составляющие их химические элементы возвращаются в окружающую среду. Так возникает **биогенный круговорот веществ в природе, т.е. циркуляция веществ между атмосферой, гидросферой, литосферой и живыми организмами.**

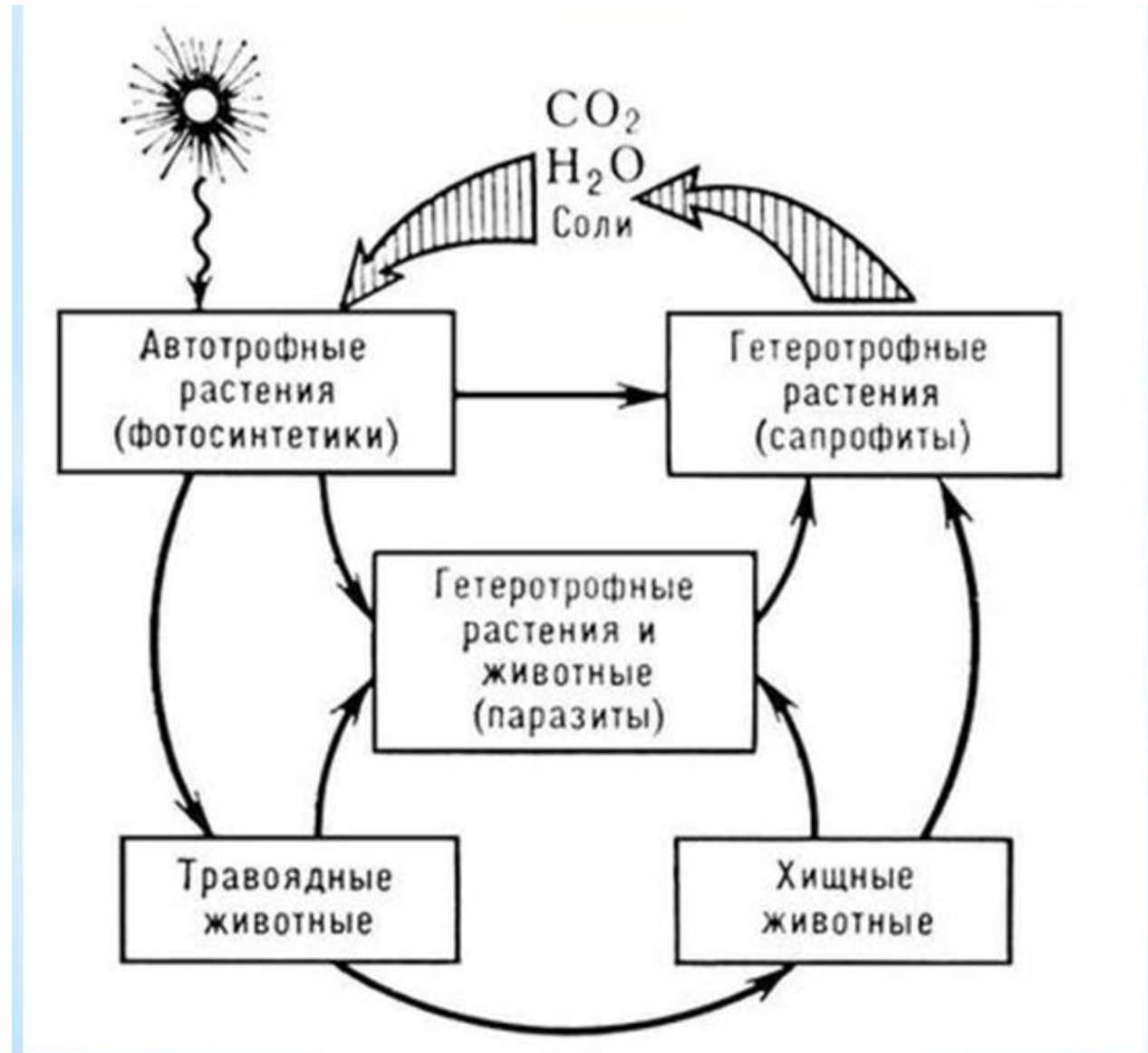


Живое вещество охватывает и перестраивает все химические процессы биосферы. Живое вещество есть самая мощная геологическая сила, растущая с ходом времени.

За счет активного передвижения живые организмы могут перемещать различные вещества или атомы в горизонтальном направлении, например за счет различных видов миграций. Перемещение, или миграцию, химических веществ живым веществом Вернадский назвал биогенной миграцией атомов или вещества.



**Биогеохимическим круговоротом** называют процесс циркуляции химических элементов живой материи в биосфере по естественным путям перехода из внешней среды в организмы, а затем возвращения во внешнюю среду.

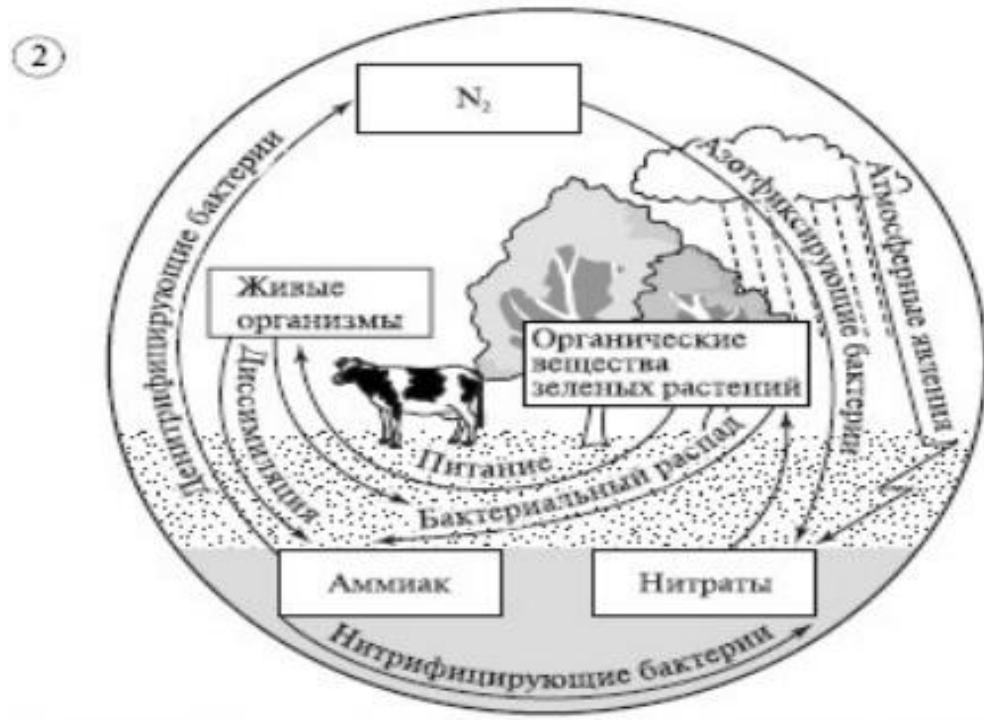
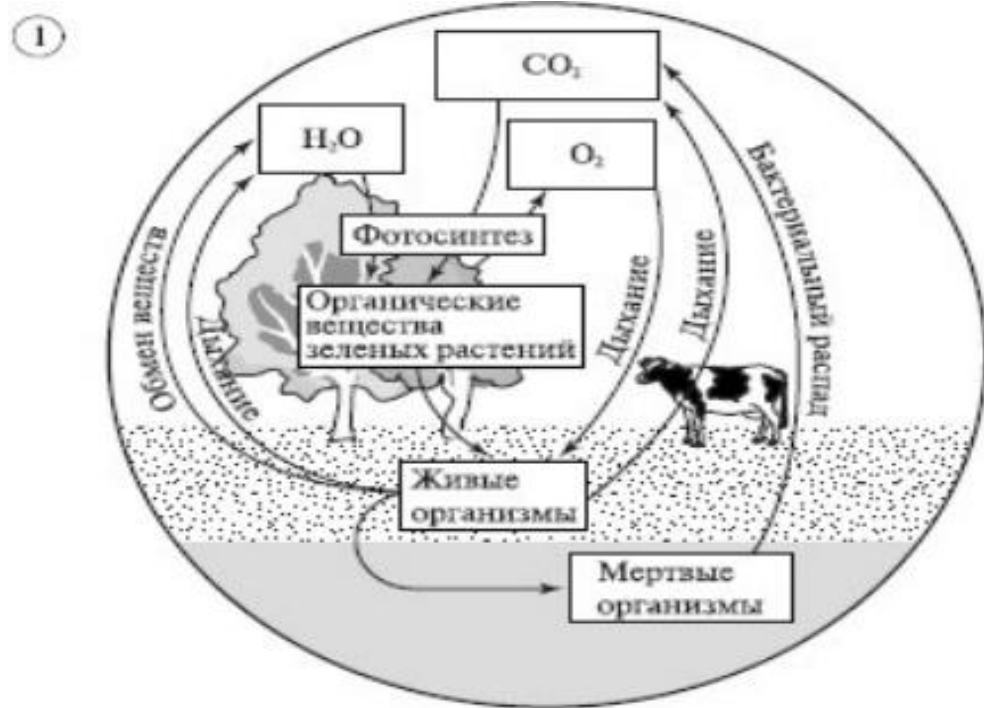


**Глобальный биогеохимический круговорот веществ в биосфере, поддерживающий необходимые условия для жизни на Земле, совершает биота.** Она сама создаёт и поддерживает необходимые условия для жизни на Земле. Деятельность человека сопоставима с глобальными природными процессами и охватывает весь земной шар, но она, как правило, направлена на улучшение условий жизни для людей и общества, но не для биоты.



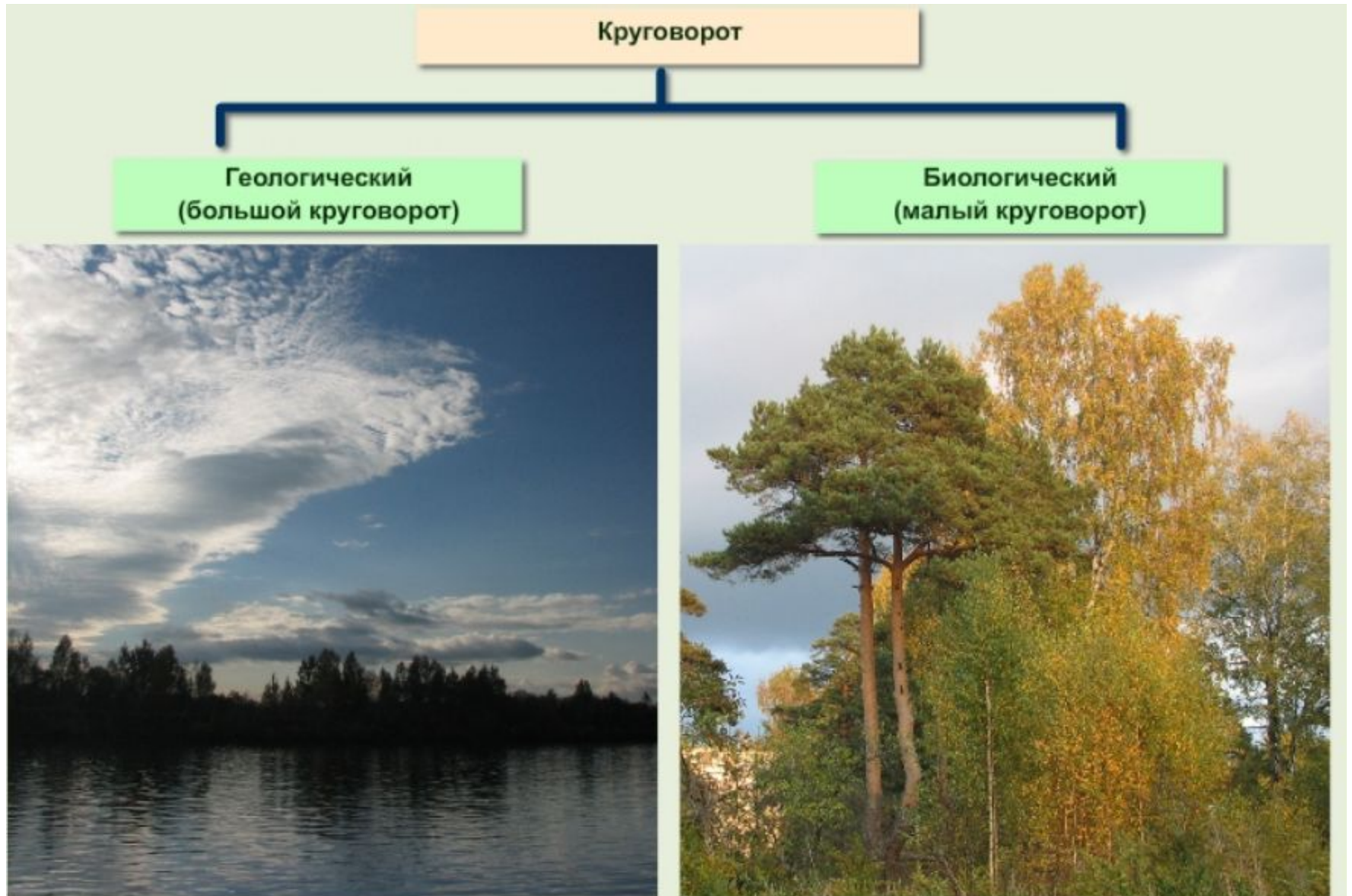
Воздавая должное памяти великого основоположника учения о биосфере, следующее обобщение А. И. Перельман предложил назвать **«законом Вернадского»**:

«Миграция химических элементов на земной поверхности и в биосфере в целом осуществляется или при непосредственном участии живого вещества (биогенная миграция) или же она протекает в среде, геохимические особенности которой ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$  и т. д.) преимущественно обусловлены живым веществом как тем, которое в настоящее время населяет данную систему, так и тем, которое действовало на Земле в течение всей геологической истории».



## Различают два вида круговоротов веществ:

- 1) Большой, или геологический: между сушей и океаном.
- 2) Малый, или биологический в пределах экосистем.



Рассмотрим играющие наибольшую роль в биосфере круговороты, к которым относятся **биогеохимические циклы углерода, азота, кислорода, серы, фосфора.**





## **Круговорот углерода.**

Продуценты улавливают углекислый газ из атмосферы и переводят его в органические вещества, консументы поглощают углерод в виде органических веществ с телами продуцентов и консументов низших порядков, редуценты минерализуют органические вещества и возвращают углерод в атмосферу в виде углекислого газа в результате дыхания, брожения, разложения или сжигания ископаемого топлива.



В Мировом океане круговорот углерода усложнен тем, что часть углерода, содержащегося в мертвых организмах, опускается на дно и накапливается в осадочных породах. **Эта часть углерода выключается из биологического круговорота и поступает в геологический круговорот веществ.**

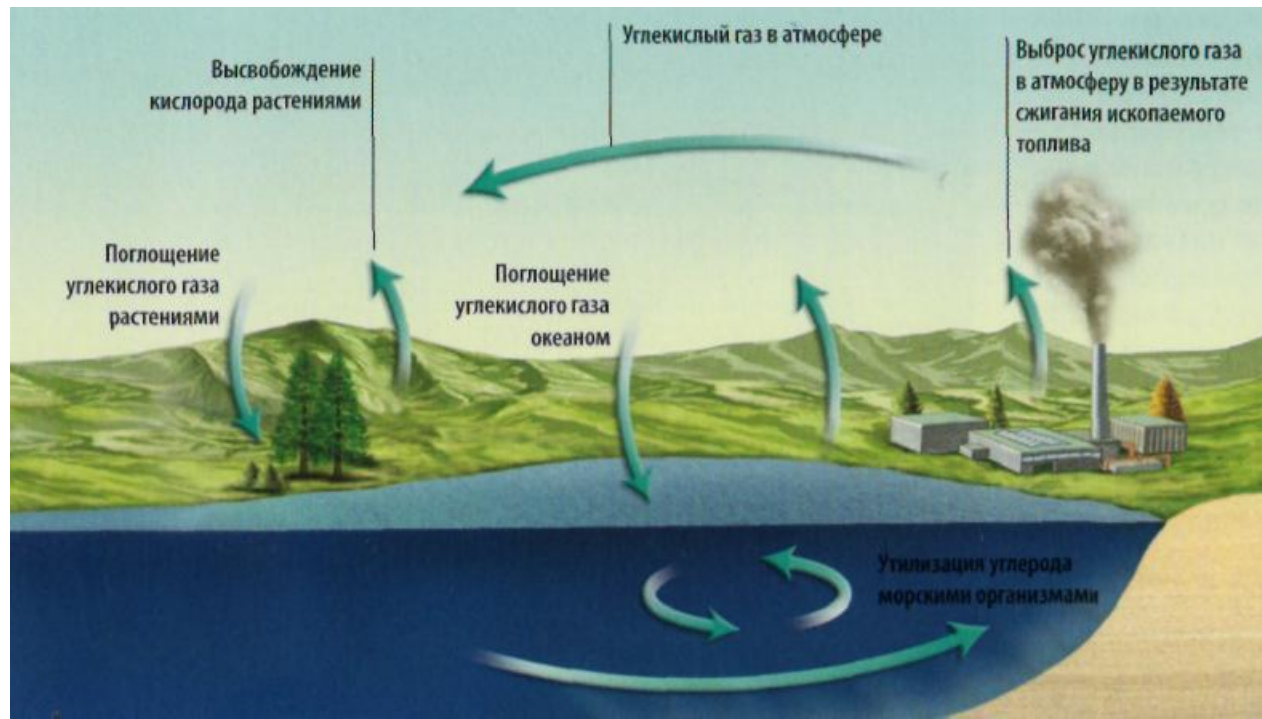
**Главным резервуаром биологически связанного углерода являются леса, они содержат** до 500 млрд т этого элемента, что составляет  $\frac{2}{3}$  его запаса в атмосфере. Вмешательство человека в круговорот углерода (сжигание угля, нефти, газа, дегумификация) приводит к возрастанию содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере и развитию парникового эффекта. Скорость круговорота  $\text{CO}_2$ , т.е. время, за которое весь углекислый газ атмосферы проходит через живое вещество, составляет около 300 лет.



**Важнейшим механизмом, поддерживающим стабильность концентрации углекислого газа в атмосфере, является его взаимодействие с карбонатом кальция, содержащемся в Мировом океане в соответствии с простой реакцией:**



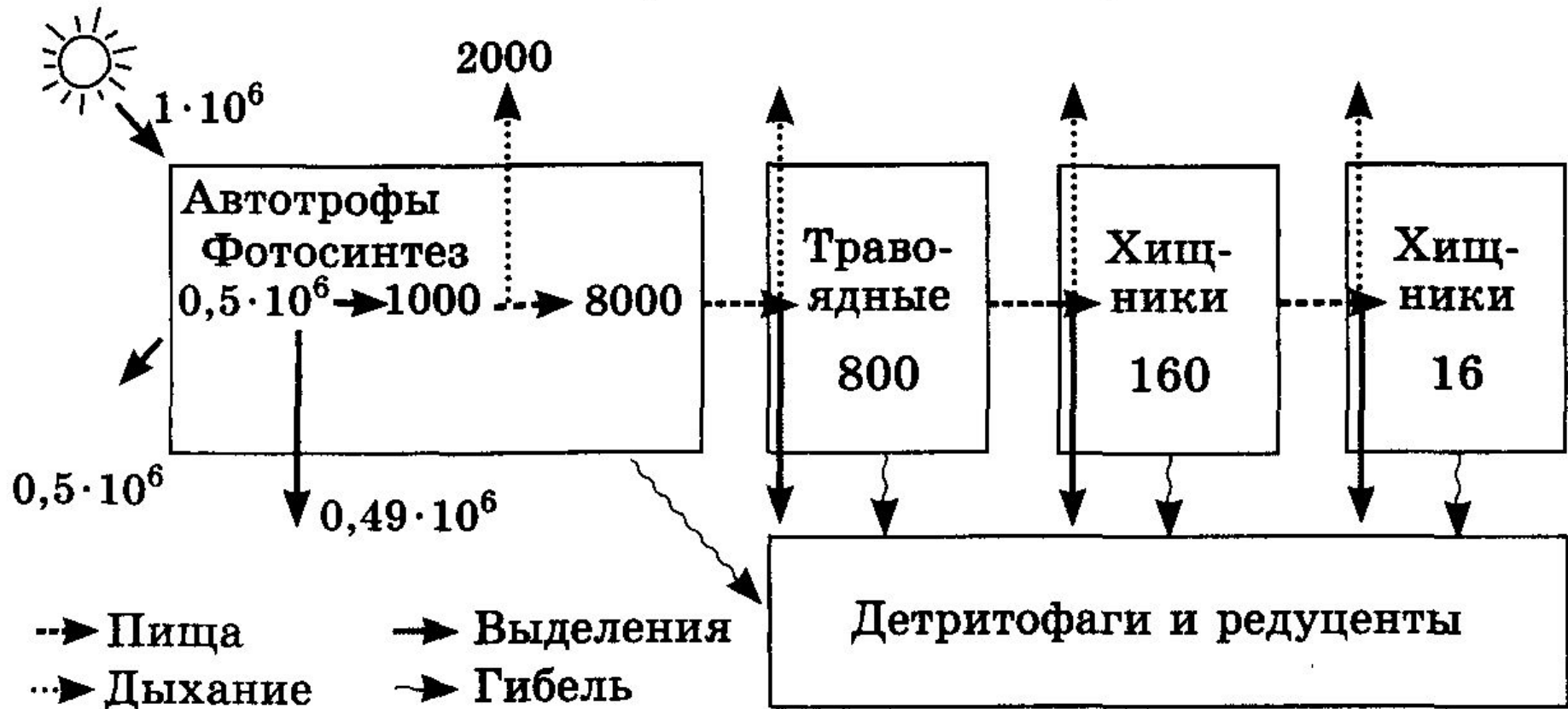
Если концентрация углекислого газа начинает значительно расти, то реакция смещается направо в сторону растворения углекислоты в океане и взаимодействия с твердым карбонатом кальция, переходящим в раствор. И, наоборот, в случае уменьшения содержания углекислоты в атмосфере, реакция смещается налево и углекислый газ высвобождается из растворенного в воде бикарбоната кальция.



Таким образом, в процессе круговорота углерода происходят процессы:

1) «включения» углерода в состав живого вещества т.е. углерод «включается» в состав живого вещества в виде углекислого газа при фотосинтезе, по трофическим связям т.е. перехода по цепям питания от продуцентов и далее к консументам различных порядков.

### Поток энергии в пищевой цепи



2) «выключения» или освобождения углерода из живого вещества и продуктов его жизнедеятельности т.е. освобождение углерода из состава живого вещества происходит при дыхании, разложении органического вещества почв редуцентами, при сжигании человеком горючих полезных ископаемых (нефть, торф, уголь).

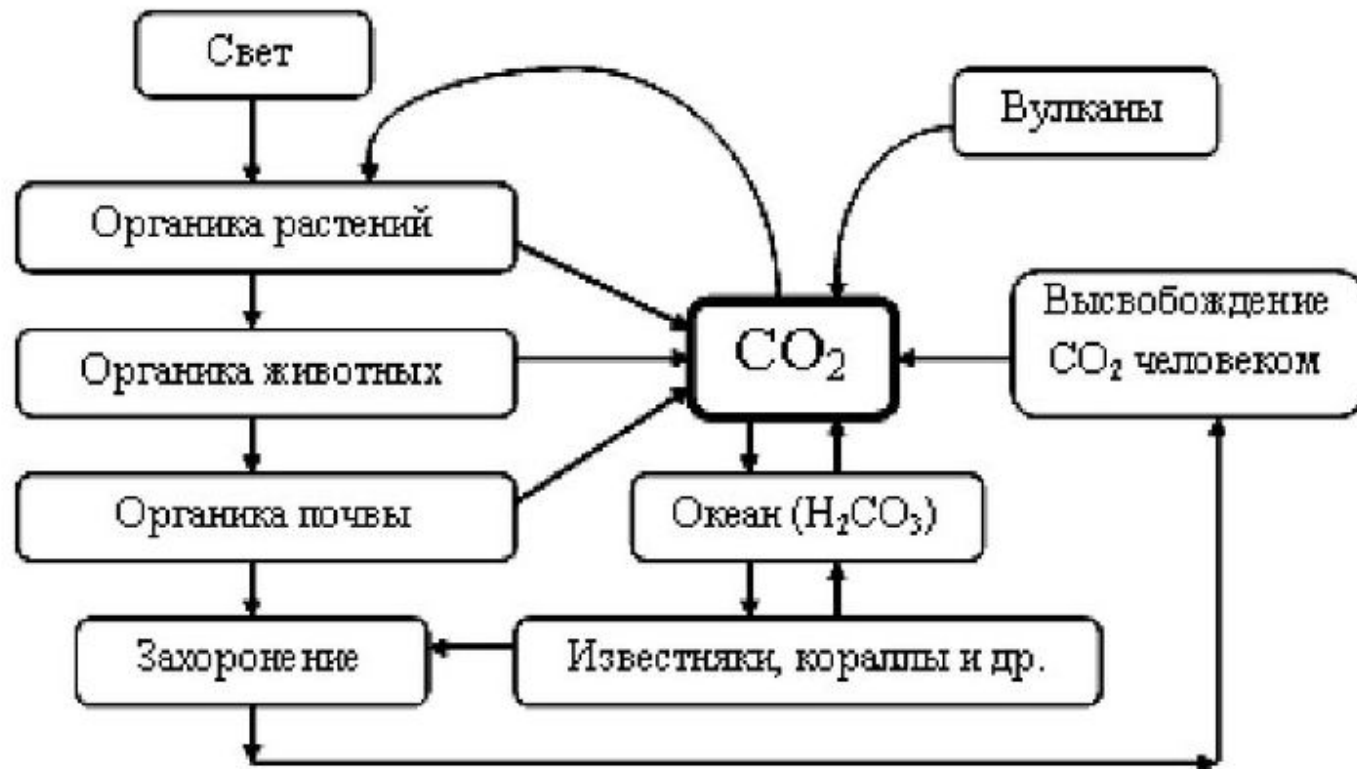


в) «Уход в геологию» подразумевает уход части углерода из круговорота в виде торфа, нефти, угля, карбонатных отложений в водных экосистемах (остатки раковин простейших, коралловых полипов, диатомовых водорослей).



## Человек способен нарушить процессы круговорота углерода.

Основное нарушение циклов углерода связано с высвобождением его из геологических структур (горючие ископаемые, известняки), а также в результате изменения площадей и продуктивности лесных и других растительных сообществ, разрушения органического вещества почв и высвобождения из вечномёрзлых грунтов при их оттаивании (в виде метана). Часть этого углерода накапливается в атмосфере в форме углекислого газа и метана, обуславливая парниковый эффект.



# Круговорот углерода

зависит как от биохимических, так и от физических процессов.

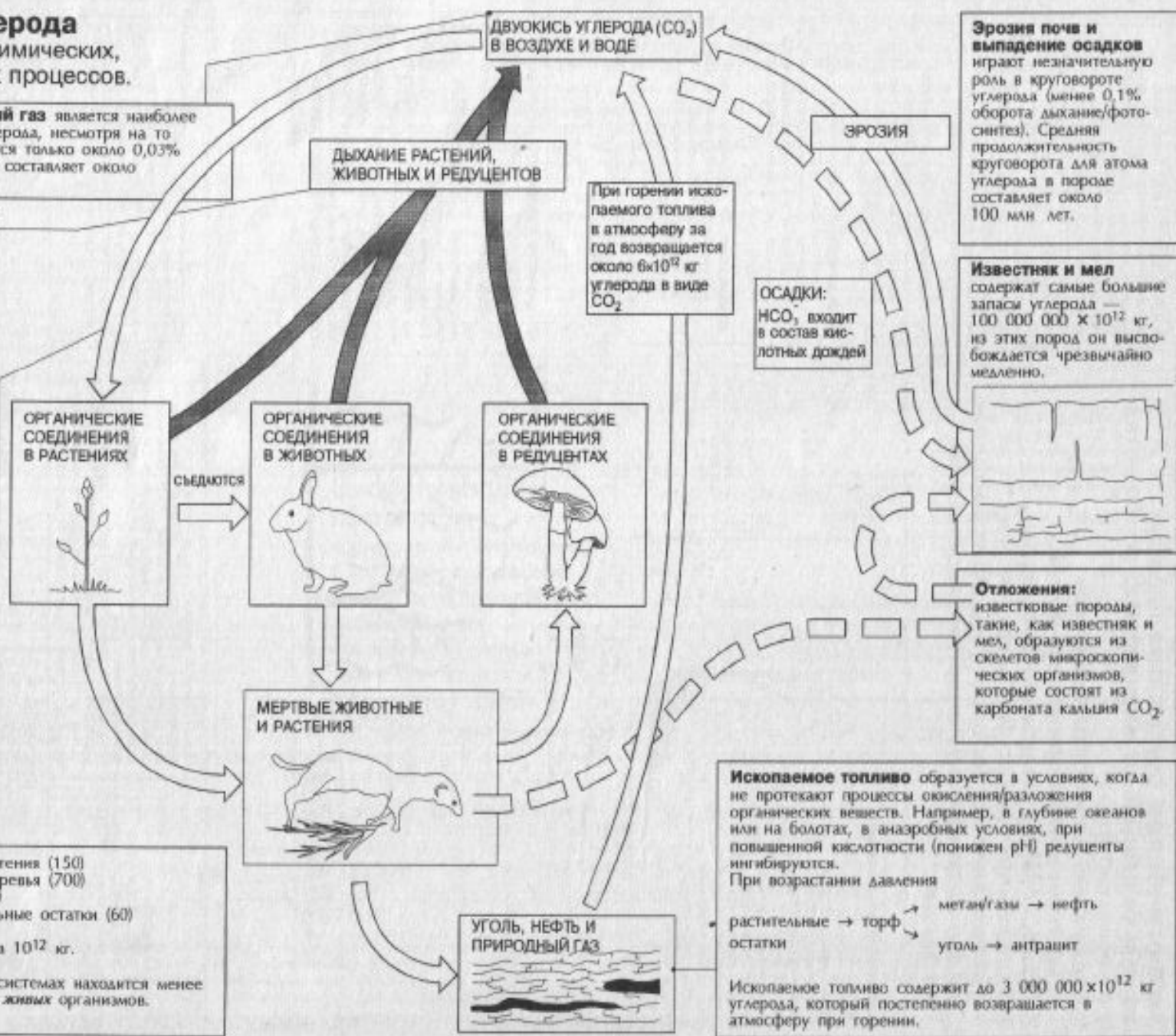
**Атмосферный углекислый газ** является наиболее доступным источником углерода, несмотря на то что на долю  $\text{CO}_2$  приходится только около 0,03% атмосферного воздуха; это составляет около  $700 \times 10^{12}$  кг.

**Дыхание** (обычно глюкоза+кислород  $\rightarrow$  двуокись углерода + вода) возвращает около  $210 \times 10^{12}$  кг углерода в атмосферу. Этот углерод распределяется приблизительно поровну между наземными и водными экосистемами, а в самих наземных экосистемах — приблизительно поровну между растениями / животными, с одной стороны, и редуцентами (грибы и бактерии) — с другой.

**При фиксации углерода** происходит превращение двуокиси углерода в большие органические молекулы. Например:  $\text{CO}_2 + 4\text{H} \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ . Это осуществляется при фотосинтезе (99%) и хемосинтезе (1%). Значительное количество углерода зафиксировано в органических молекулах:

- животные и однолетние растения (150)
  - многолетние растения — деревья (700)
  - почвенные организмы (1500)
  - помет животных и растительные остатки (60)
  - торф (~ 150)
- Все числа надо умножить на  $10^{12}$  кг.

Внимание! В морских экосистемах находится менее 1% органического углерода живых организмов.





**Круговорот азота:** молекулярный азот из атмосферного воздуха растениям напрямую недоступен (кроме процессов окисления азота во время грозных разрядов). Его могут усваивать и, переводят в доступную для растений форму, некоторые группы бактерий (например, клубеньковые бактерии на корнях бобовых растений и цианобактерии). Но в основном, растения получают азот из разлагающегося мёртвого вещества. Из почвы азот поступает в цепи питания, проходя таким образом через продуцентов, консументов и редуцентов, а затем снова усваивается живыми организмами, а часть азота возвращается в атмосферу в форме газа.



# Круговорот азота ( $N_2$ )



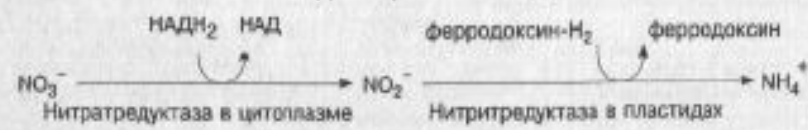
## Изменения в круговороте азота под влиянием антропогенных факторов обусловлено:

- переводом его в усвояемые формы из воздуха при получении азотных удобрений;
- выбросом в атмосферу в виде оксидов при работе двигателей внутреннего сгорания, промышленных установок и далее превращение в кислотные дожди;
- разрушением органического вещества почв, гуано, сапропелей.



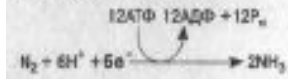
# Круговорот азота зависит от микроорганизмов.

**Восстановление нитрата** идет в два этапа, каждый из которых происходит в разных частях клетки, и катализируется различными ферментами.



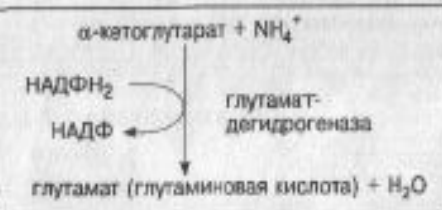
**Нитратредуктаза** содержит молибден, играющий важную роль в этом процессе. Ее много в быстрорастущих культурах и совсем мало в кислых почвах, бедных нитратами. **Активность нитритредуктазы** в десятки раз больше, чем нитратредуктазы, так что нитриты никогда не накапливаются (к счастью для людей, так как в кивчике они могут превратиться в канцерогенное вещество).

**Фиксация азота:** процесс превращения азота, содержащегося в ризосфере (газы в почве), в ионы аммония. Основной процесс:

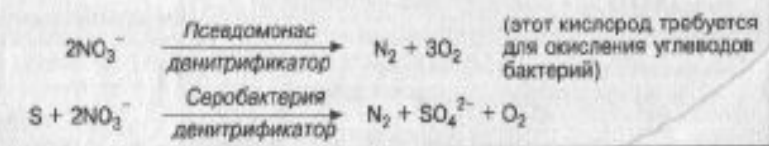


Этот многоступенчатый процесс катализируется ферментным комплексом, называемым **нитрогеназой**, который для выполнения своих функций нуждается в Fe и Mo. Существует несколько видов свободноживущих азотофиксирующих бактерий, таких, как *Azobacter*, но значительно большую роль в фиксации азота играют **симбиотические бактерии** (рода *Rhizobium*) и **амнобактерии**, например *Nostoc*.

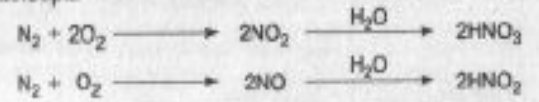
**Усвоение аммония** происходит в реакции синтеза глутаминовой кислоты (**глутамата**) из оксокислоты  **$\alpha$ -кетоглутарата** ( $\alpha$ -кетоглутаровой кислоты). Глутамат может в дальнейшем принимать участие во многих реакциях **переаминирования** для получения остальных девятнадцати аминокислот.



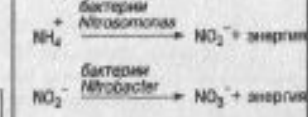
**Денитрификация:** процесс потери экосистемой «доступного» азота. Он может происходить в анаэробных условиях, например в болотах:



**Молния может фиксировать атмосферный азот.** В условиях высокоэнергетического разряда в атмосфере может происходить реакция соединения азота и кислорода. Полученное соединение растворяется в дождевой воде и выпадает на землю в виде слабокислого раствора.

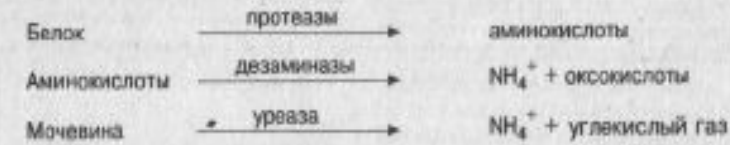


**Нитрификация:** последовательность двух окислительных процессов, которые превращают соединения аммония в нитраты. При этом выделяется энергия для хемоавтотрофных бактерий — нитрификаторов, которые ведут эти процессы.

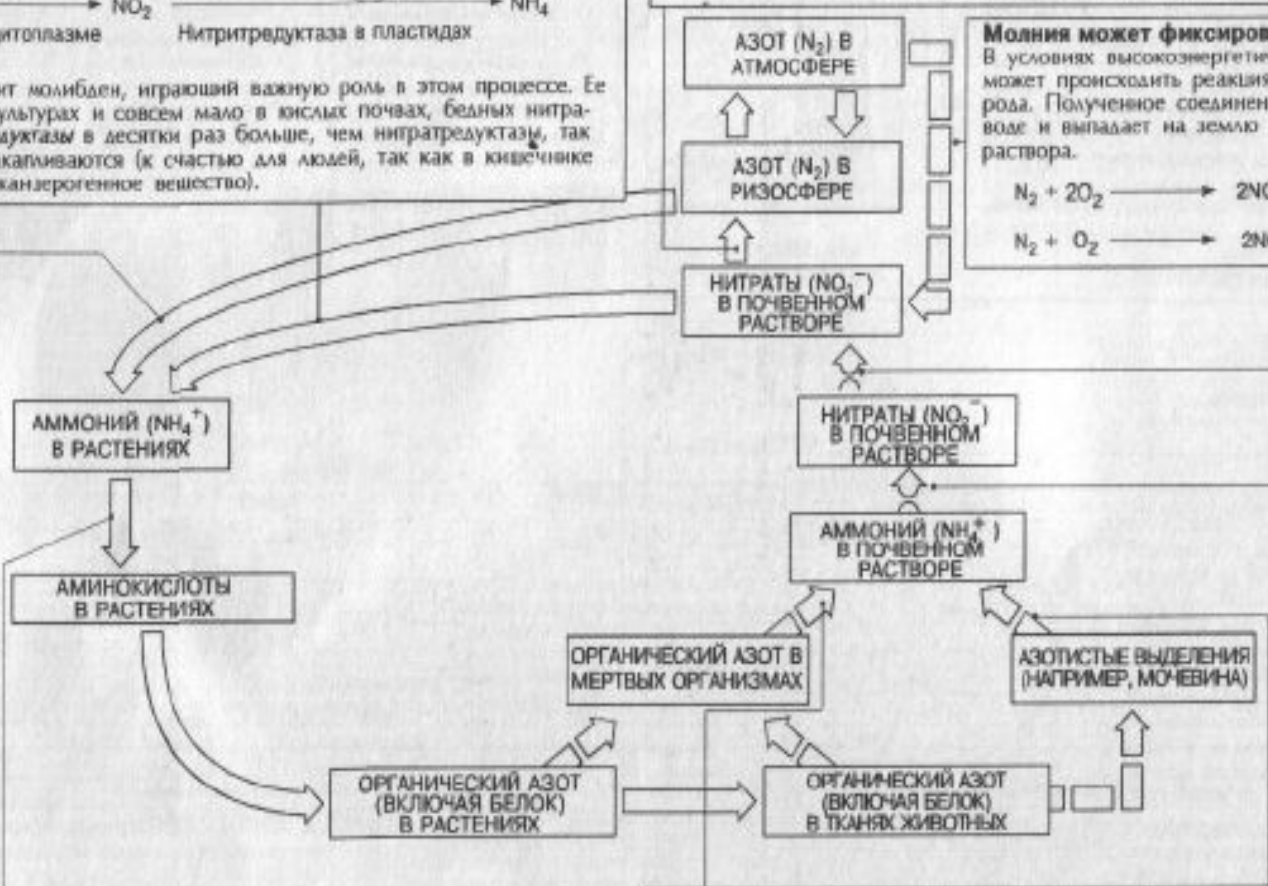


Эти реакции преобразуют азотосодержащие вещества в **нитраты**, которые легче всего усваиваются корнями растений.

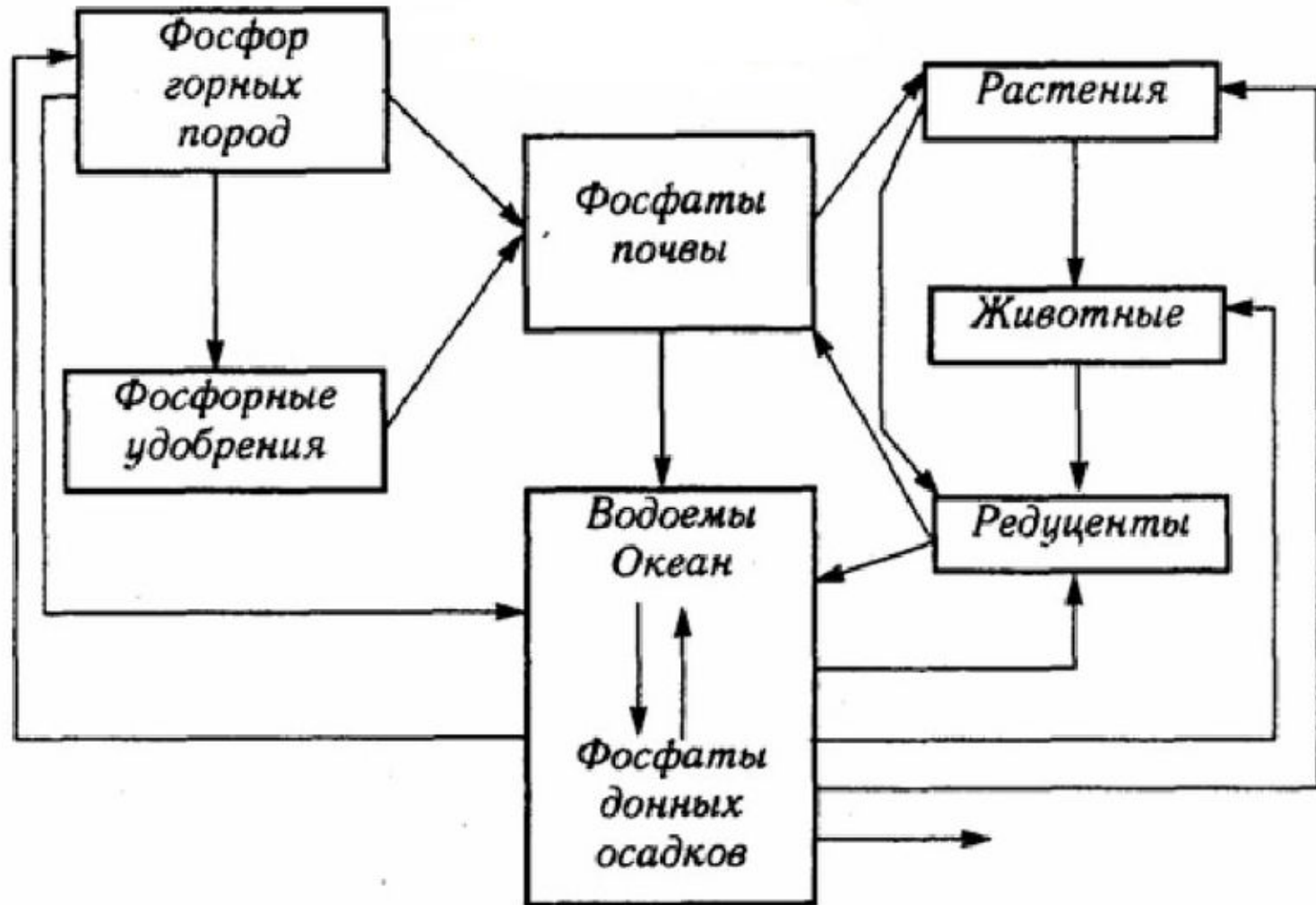
**Гниение:** высвобождает азот из сложных органических веществ, например:



Этот процесс ведется **сапрофитными бактериями** и **грибами (редуцентами)** и иногда называется **аммонификацией**, так как аммоний  $\text{NH}_4^+$  является его конечным продуктом.



**Круговорот фосфора:** в отличие от остальных круговоротов у фосфора отсутствует газовая фаза. В природе содержится в горных породах, попадает в гидросферу в процессе их разрушения. Также резервуаром фосфора являются донные отложения (остатки костей рыб, фосфорных конкреций).

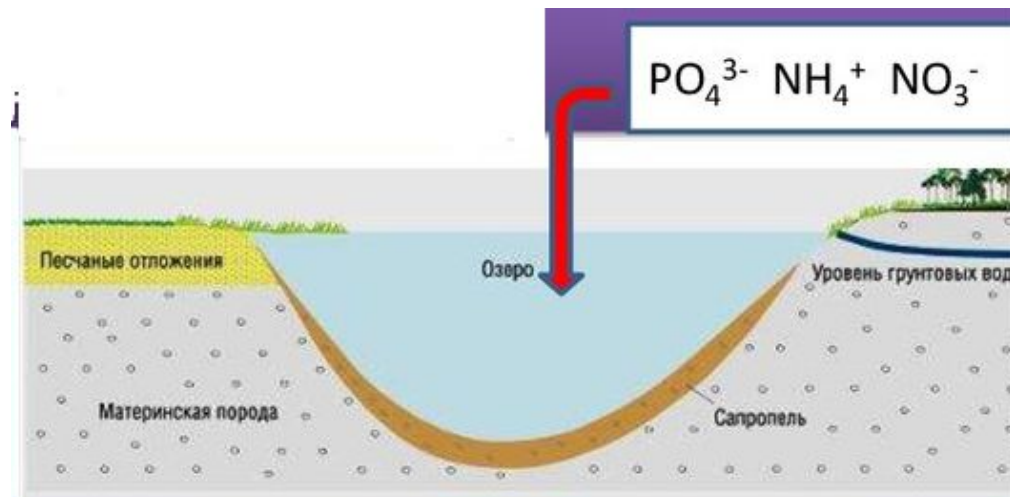


Огромное влияние на круговорот фосфора оказывает деятельность человека.

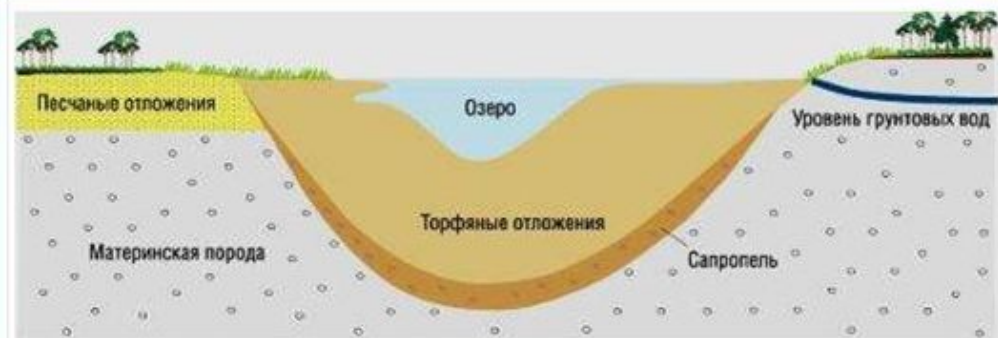
Перенасыщение водоёма сточными отходами содержащими фосфор грозит зарастанием водоёма и его эвтрофикацией.

Внесение удобрений также нарушает круговорот. Одним из основных источников фосфора являются

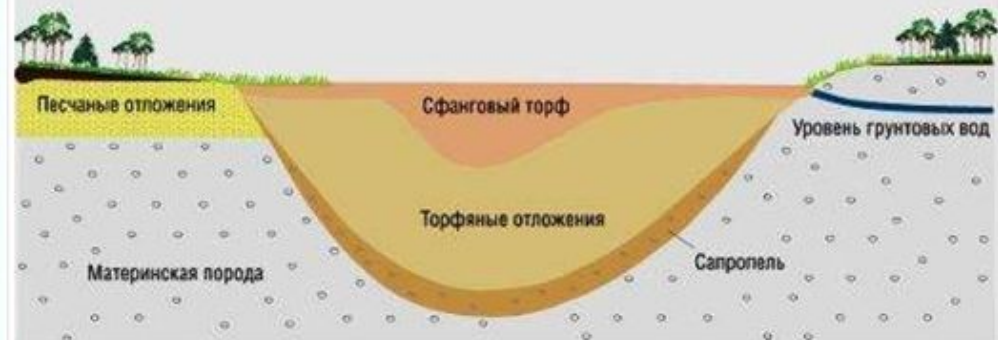
**детергенты** (Синтетические Моющие Средства): шампуни, мыло, стиральные порошки и т. Д.



увеличение биопродуктивности



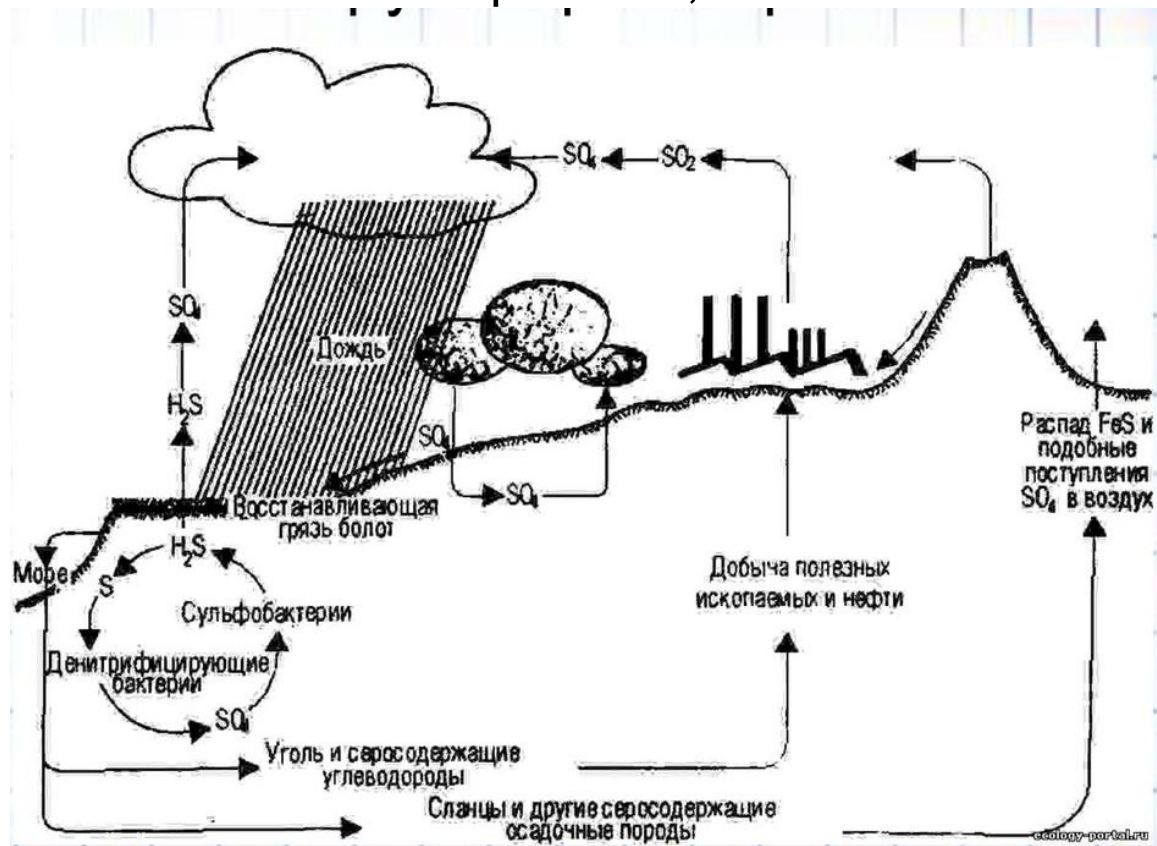
б) заболачивание озера



в) болото

## Круговорот серы. Основные этапы:

- 1) Сера усваивается в виде сульфатов растениями и грибами и встраивается в белковые молекулы;
- 2) Сера окисляется до сульфатов микроорганизмами при распаде мертвых тел. Меньшая часть сульфатов снова усваивается растениями, большая часть за счет подвижности сульфат-ионов вымывается в океан;
- 3) На дне океана бактерии из рода Десульфовибрио отбирают у сульфатов кислород и, тем самым, восстанавливают серу до сероводорода ( $H_2S$ ), который выносится к поверхности, а затем часть его поступает в воздух;



- 4) В воздухе сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ) быстро окисляется до сернистого газа ( $\text{SO}_2$ ), а затем серного ангидрида ( $\text{SO}_3$ ), последний соединяется с парами воды и образует серную кислоту ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ );
- 5)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с дождями возвращается на сушу. Таким образом, на сушу попадает две трети серы, смытой в океан;
- 6) Происходит приток серы через извержение вулканов;
- 7) Происходит приток сульфидов через разрушение горных пород (пирит – серный колчедан  $\text{FeS}_2$ , медный колчедан  $\text{CuFeS}_2$ ); приток сероводорода происходит через аэробное разложение органики в болотах.





Основная доступная форма серы —  $\text{SO}_4$  — восстанавливается автотрофами и включается в белки. Для растений серы требуется меньше, чем азота и фосфора, поэтому лимитирующим фактором она бывает реже. Тем не менее круговорот серы — ключевой в общем процессе продуцирования и разложения биомассы.

В последнее время на круговороты серы все большее влияние оказывает промышленное загрязнение атмосферы. При сжигании топлива, выплавке металлов, при получении элементарной серы из сероводорода горючих газов в атмосферу в виде оксидов попадает ежегодно около 10 млн. т серы. Это превышает природный сток серы.

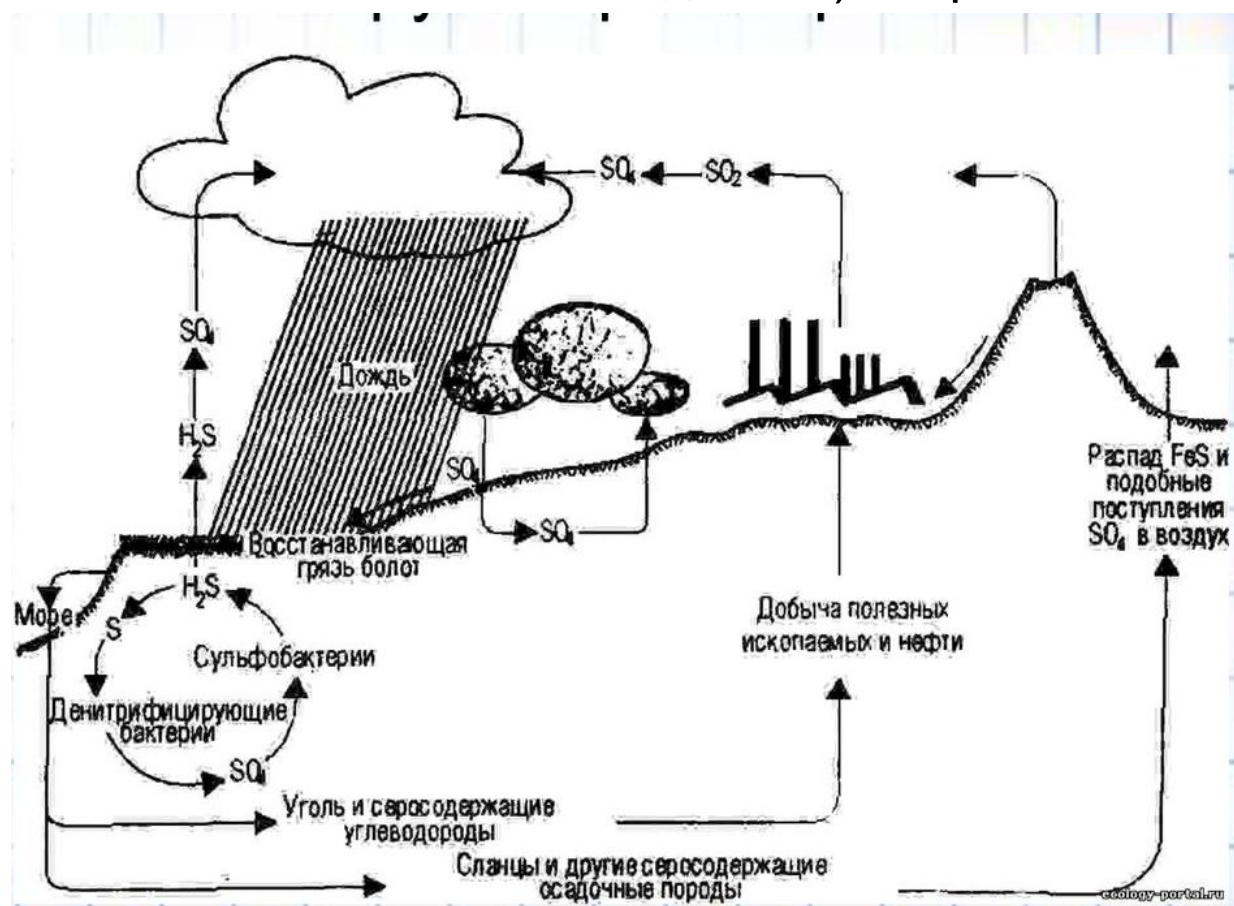


Особенно токсичны соединения серы — в форме  $\text{SO}_2$ , которые являются промежуточными продуктами круговоротов серы. В большинстве местообитаний концентрация серы невелика, но в связи с неумеренным сжиганием топлива содержание в воздухе соединений  $\text{SO}_2$ , особенно в крупных промышленных центрах, увеличилось до такой степени, что сера представляет опасность для важных биотических компонентов экосистем. Основным источником сернистого газа — продукты сжигания угля. Особенно большой вред наносит  $\text{SO}_2$  растениям. Реагируя с водяным паром, он образует слабую серную кислоту, которая выпадает с осадками, известными как «кислотные дожди». Попав на листовую поверхность,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  вызывает химические ожоги, что снижает фотосинтезирующую поверхность растений.



**Таким образом, нарушение естественного круговорота серы может происходить в результате загрязнения окружающей среды.**

На всех участках естественный круговорот серы сильно изменен человеком, прежде всего, в связи с прямым привнесом в ландшафты (эмиссии в результате загрязнения окружающей среды при сжигании топлива прежде всего на ТЭЦ, внесение удобрений) и выносом элемента с урожаями. Соединения серы относятся к числу наиболее опасных (по масштабам загрязнения и вызываемых ими последствий) загрязнителей среды.



# Круговорот воды в природе



**Круговорот воды** – гидрологический цикл поглощения воды перемещения воды в биосфере. Состоит из испарения, конденсации, осадков. Моря теряют из-за испарения больше воды, чем получают с осадками; на суше всё наоборот. Три четверти земли покрыты водой.

### Виды круговорота:

**1) большой (мировой).** Водяной пар образовавшийся на поверхности океанов переносится ветром на материки, выпадает в виде осадков и возвращается в океан в виде стоков. При этом изменяется качество воды: при испарении солёная морская вода превращается в пресную, загрязнённая очищается.



**2) малый (океанический)** – водяной пар над поверхностью океана конденсируется и снова выпадает в океан в виде осадков.



**3) Малый (внутриконтинентальный) –** вода, которая испарилась над поверхностью суши, опять выпадает на сушу в виде осадков.

В конце концов, осадки в процессе движения опять достигают мирового океана.

Вода в составе организмов восстанавливается в течении нескольких часов. Период обновления запасов воды в горных ледниках – 1600 лет, полярных ледниках – 9700 лет. Полное обновление вод мирового океана – примерно раз в 2700 лет. За 10 миллионов лет фотосинтез перерабатывает массу воды, равную всей гидросфере.



# Биогенные круговороты веществ.

Келин Е. А.

