

КРУГОВОРОТЫ ВЕЩЕСТВА И ЭНЕРГИИ

Межструктурные круговороты вещества и энергии

являются важнейшей особенностью динамики географической оболочки; обеспечивают *многократность* одних и тех же процессов и явлений, а также *направленный характер* их развития.

Круговорот веществ — многократное участие вещества в процессах, протекающих в геосферах планеты.

Круговорот энергии — использование энергии в геосистемах для обеспечения круговоротов вещества.

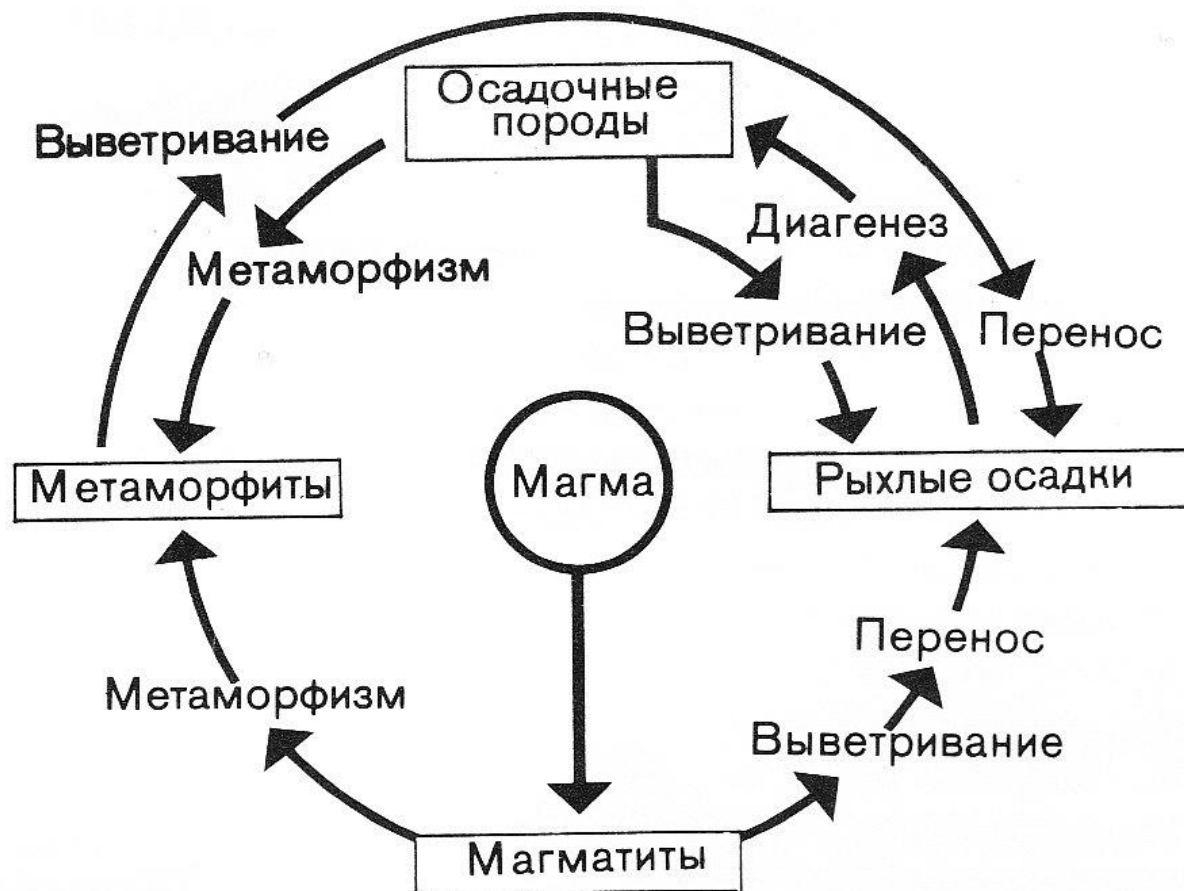
✓ Так как результатом общего круговорота вещества и энергии является обособление и функционирование географической оболочки, то такой круговорот называют ***общегеографическим*** (глобальным) ***круговоротом*** вещества и энергии.

Общегеографический круговорот вещества и энергии представляет синтез частных круговоротов, главные из которых — литосферный (геологический) круговорот, круговорот воды, биологический круговорот.

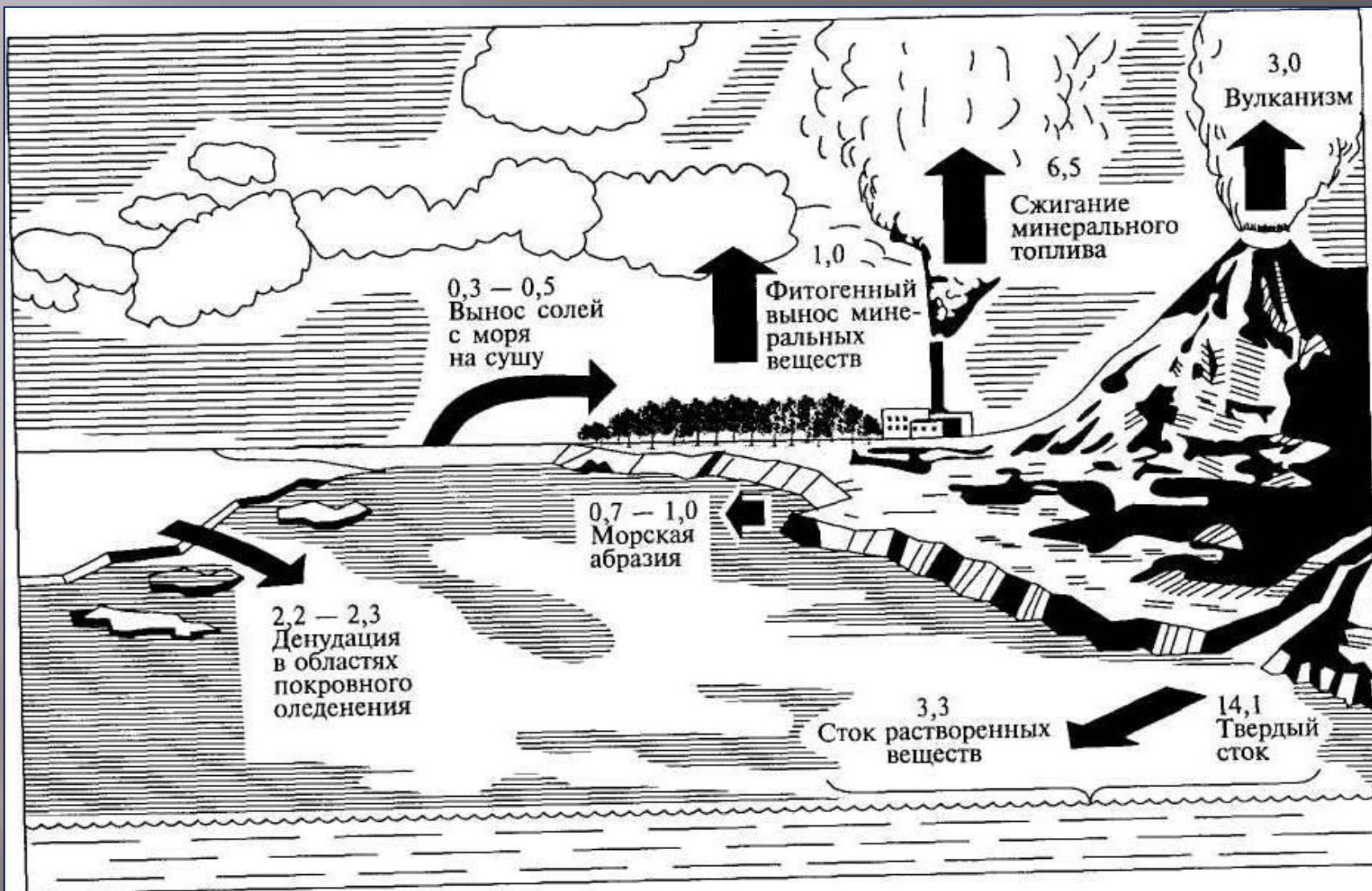


Большой географический круговорот (Ф. Н. Мильков, 1990): 1 — приземные слои воздуха; 2 — область максимального скопления живого вещества (биостром); 3 — кора выветривания; 4 — изверженные породы; 5 — коренные породы

Литосферные круговороты : 1. перемещение вещества самыми разнообразными механическими путями (*круговорот горных пород*);
2. изменение вещественного состава горных пород (*геохимический круговорот*)



Геологический цикл формирования горных пород



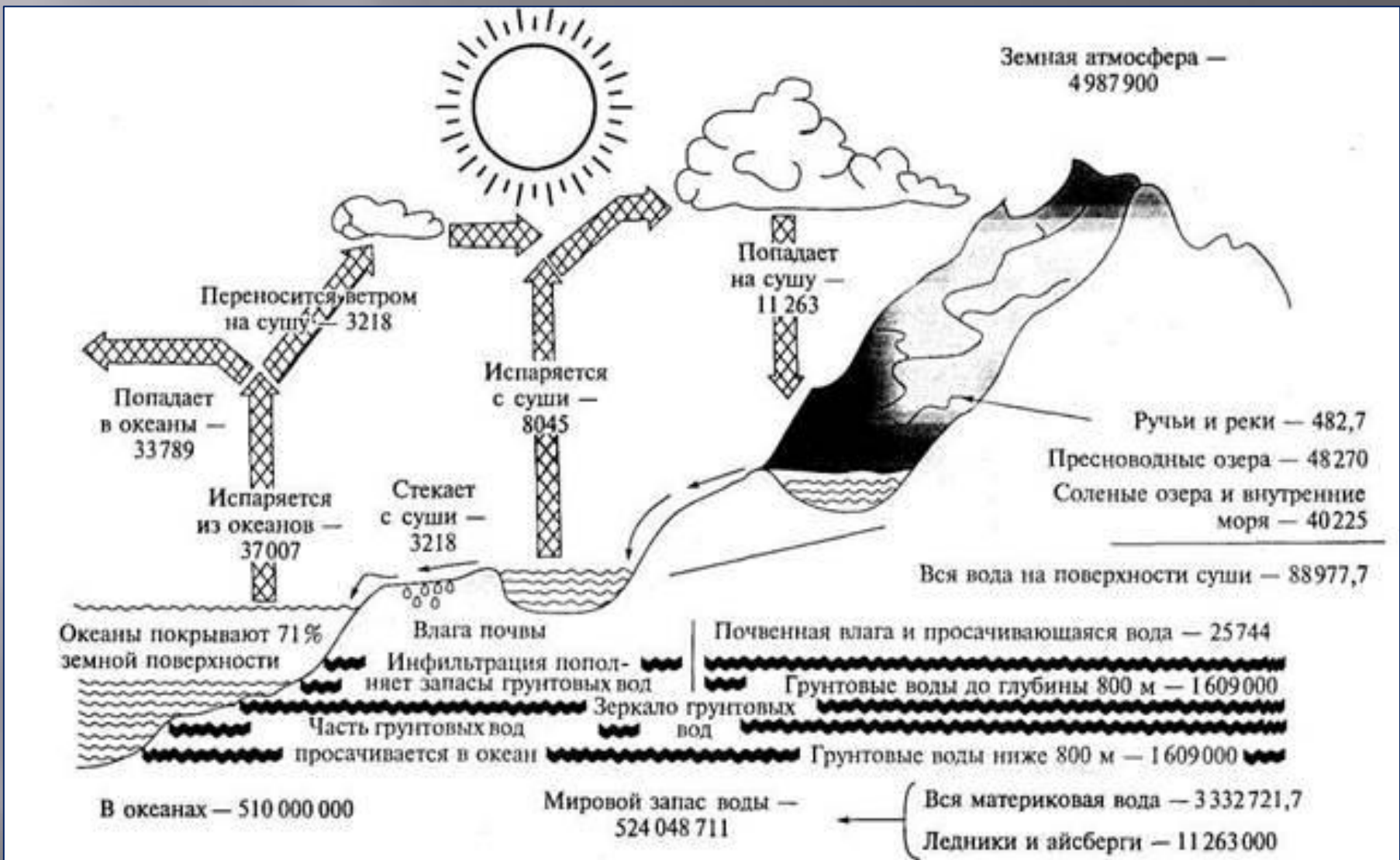
Перенос минерального вещества, млрд т в год (по Л.Г. Бондареву)

Современный баланс минерального вещества суши

<i>Расход</i>	$\times 10^{12}$ кг/год
Твердый сток	14,1
Ионный сток	1,6—1,7
Денудация в областях развития современного покровного оледенения	2,2—2,3
Морская абразия	0,7—1,1
Золотой вынос	2,0—4,0
Сжигание минерального топлива	2,6
Всего	23,2—25,7
<i>Приход</i>	
Связывание воды и вещества атмосферы при выветривании	0,1—1,6
Вулканогенная аккумуляция	1,8
Биогенная аккумуляция	1,0
Аккумуляция вещества, поступающего из Космоса	до 0,02
Всего	2,9—4,4

✓ В течение года механическая миграция охватывает, примерно, 10^{10} т горных пород (за 10 млн лет этот процесс может переместить все вещество континентов, находящихся выше уровня моря).

✓ В целом баланс минерального вещества континентов резко отрицательный.



Мировой объём круговорота воды за сутки, км³

✓ Движущей силой глобального круговорота воды служит солнечная энергия, вызывающая испарение с поверхности океанов и суши.

✓ Основной источник поступления влаги в атмосферу (85%) - поверхность Мирового океана, с поверхности суши поступает около 14%.

Материковое звено круговорота воды. Попадая на поверхность суши в виде атмосферных осадков, вода либо просачивается в почву (инфильтрация), либо стекает по поверхности, формируя поверхностный и речной сток, и затем поступает в озера, моря и океаны.

Океаническое звено круговорота воды. Перемещения воды в океане: движения и круговороты различных пространственных и временных масштабов. Периоды движений колеблются от нескольких секунд до сотен лет; пространственные (горизонтальные и вертикальные) масштабы — от нескольких миллиметров до тысяч километров. Помимо морских течений, составляющих общую циркуляцию океаносферы, в океаническом звене участвуют также турбулентные явления, поверхностные и внутренние волны, приливные явления (колебания уровня и приливо-отливные течения), меандры и вихри, явления апвеллинга и даунвеллинга, переносящие энергию воды в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Атмосферное звено круговорота воды. Влага в атмосферу поступает за счет испарения. При выпадении на земную поверхность всей воды, находящейся в атмосфере, образовался бы слой в 25 м. Скорость влагооборота в атмосфере : за год влага сменяется, примерно, 45 раз (в среднем 1 раз за 8 дней). В результате на земную поверхность за год выпадает, в среднем, слой атмосферных осадков, равный 1,1 м.

Хозяйственное звено круговорота воды. Главными потребителями воды (обычно пресной) являются сельское хозяйство, промышленность и население. На нужды населения используется около $0,2 \cdot 10^{12} \text{ м}^3/\text{год}$, шестая часть воды не возвращается в речную сеть.

▪ **Мировой водный баланс.** Количественное выражение глобальный круговорот воды находит в *водном балансе* Земли — соотношении между количеством воды, поступающей на земную поверхность в виде осадков, и уходящей с нее за счет испарения в определенный интервал времени.

Общую схему круговорота воды на поверхности Земли можно описать *уравнениями водного баланса*:

для поверхности Мирового океана

$$E_0 = X_0 + f;$$

для поверхности суши

$$E_c = X_c - f,$$

где E_0 — испарение с поверхности океанов; E_c — испарение с поверхности суши; X_0 — атмосферные осадки над океаном; X_c — атмосферные осадки над сушей; f — сток с континентов.

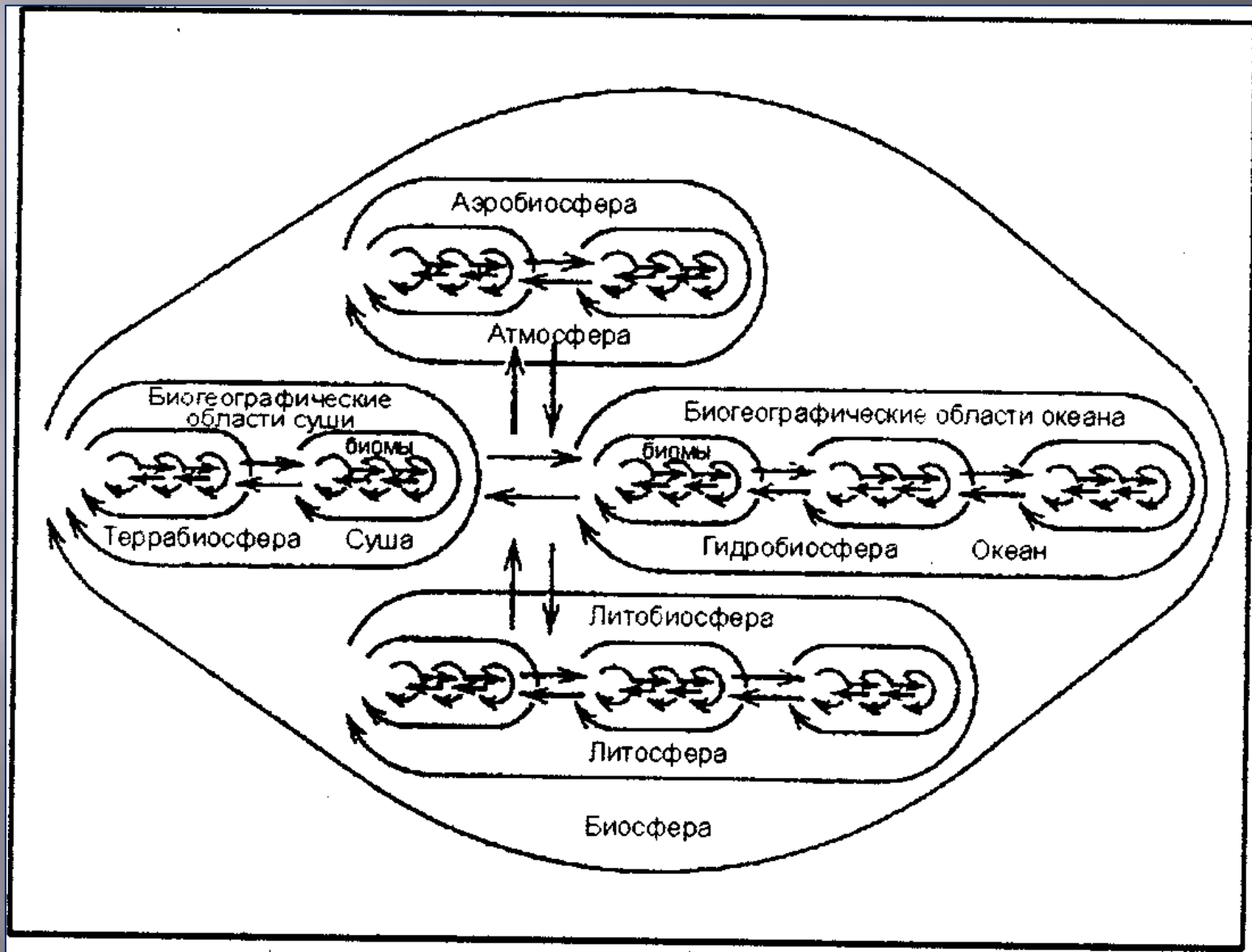
Водный баланс связан с тепловым через испарение, так как на него затрачивается тепло, которое освобождается при конденсации водяного пара.

Влагооборот сопровождается перераспределением тепла между геосферами и отдельными районами Земли, что важно для функционирования географической оболочки. В процессе влагооборота происходит обмен веществом (солями, газами).

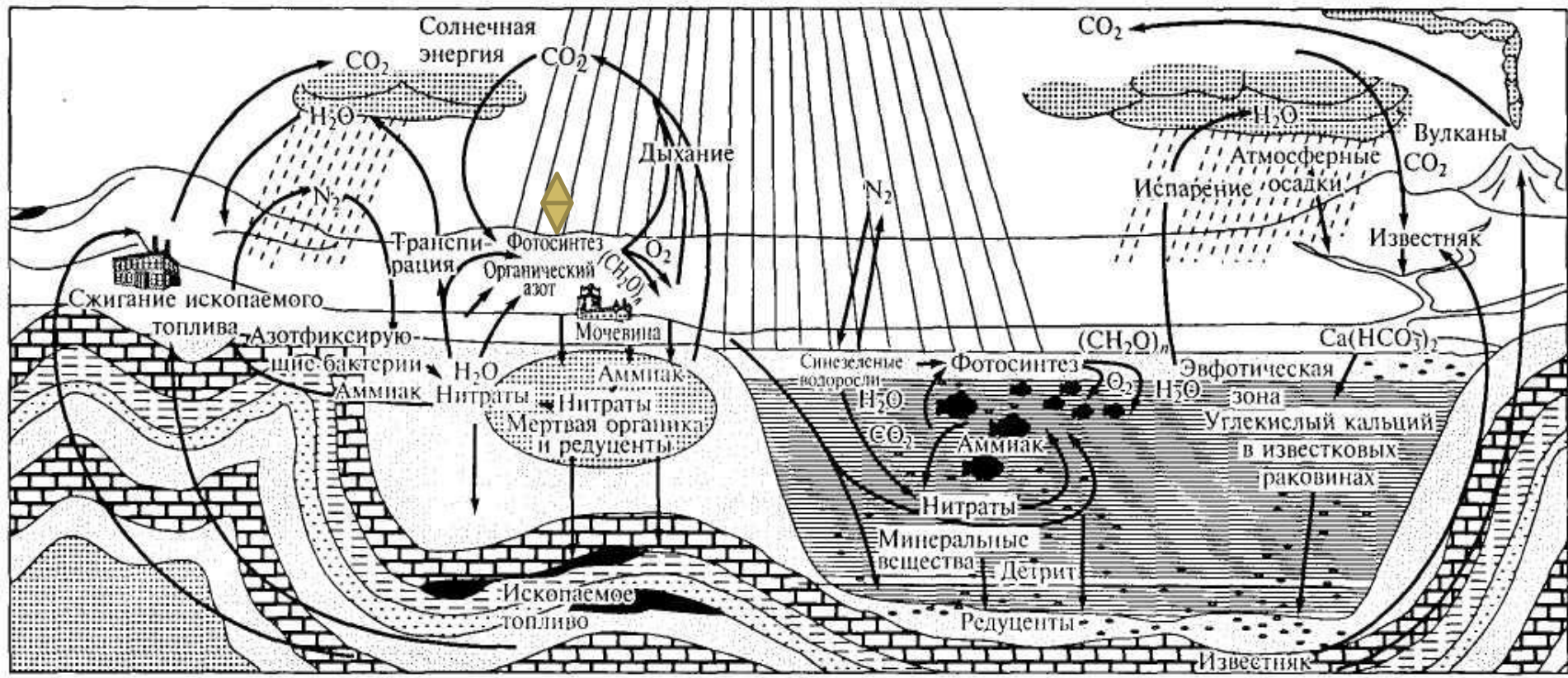
▪ **Биологический круговорот** - поступление химических элементов из почвы, воды и воздуха в живые организмы, их превращение в новые соединения и возвращение в окружающее пространство в процессе жизнедеятельности организмов.

✓ Биологический (биотический, по Н. Ф. Реймерсу) круговорот — явление непрерывное, циклическое, неравномерное во времени и пространстве. Оно сопровождается более или менее значительными потерями вещества, энергии и информации в пределах экологических систем различного уровня организации — от биогеоценоза до биосферы.

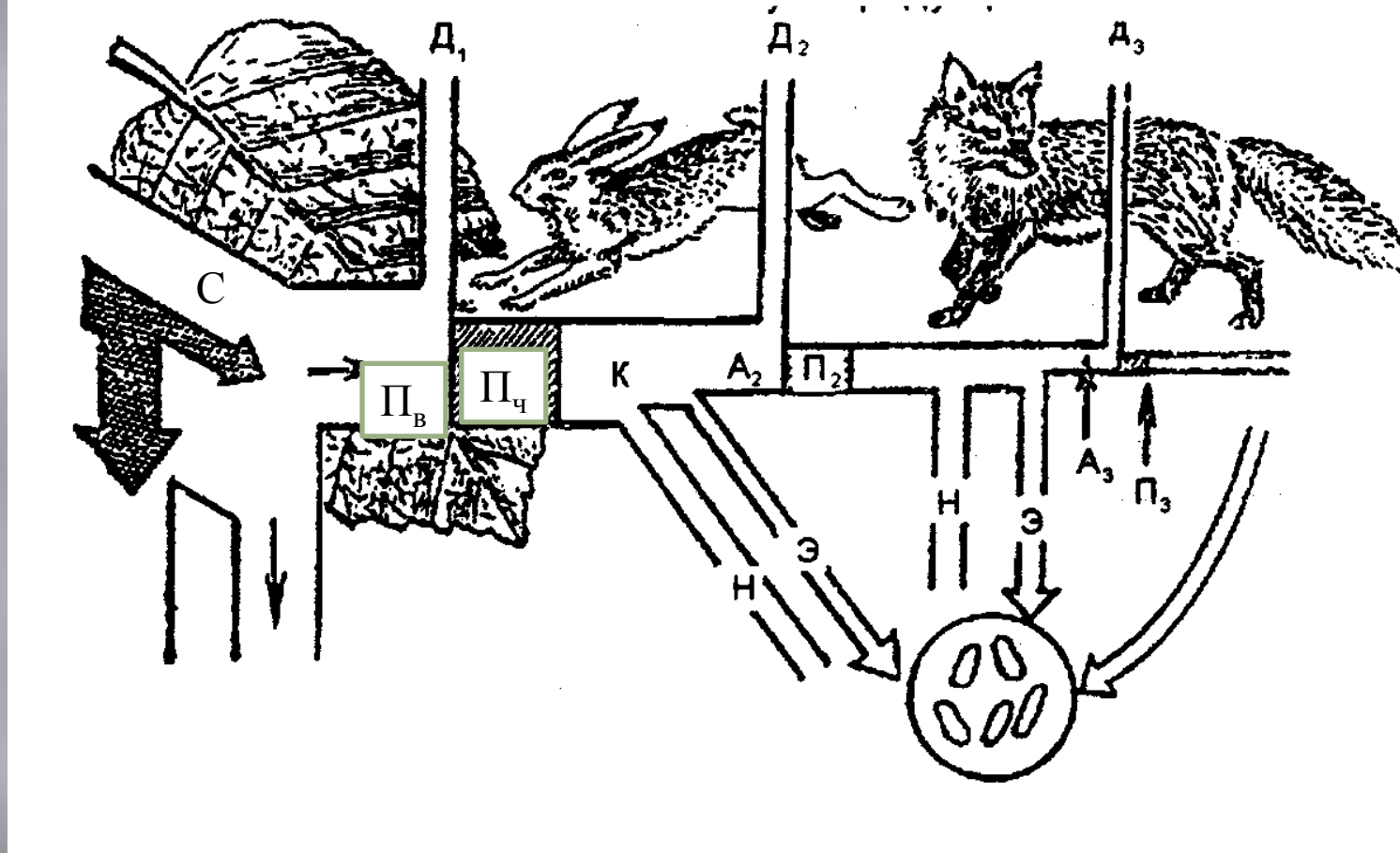
✓ Исходная ветвь биологического круговорота — *фотосинтез*, в результате которого создается органическое вещество.



Принципиальная схема биологического круговорота (по Н.Ф. Реймерсу, 1990)



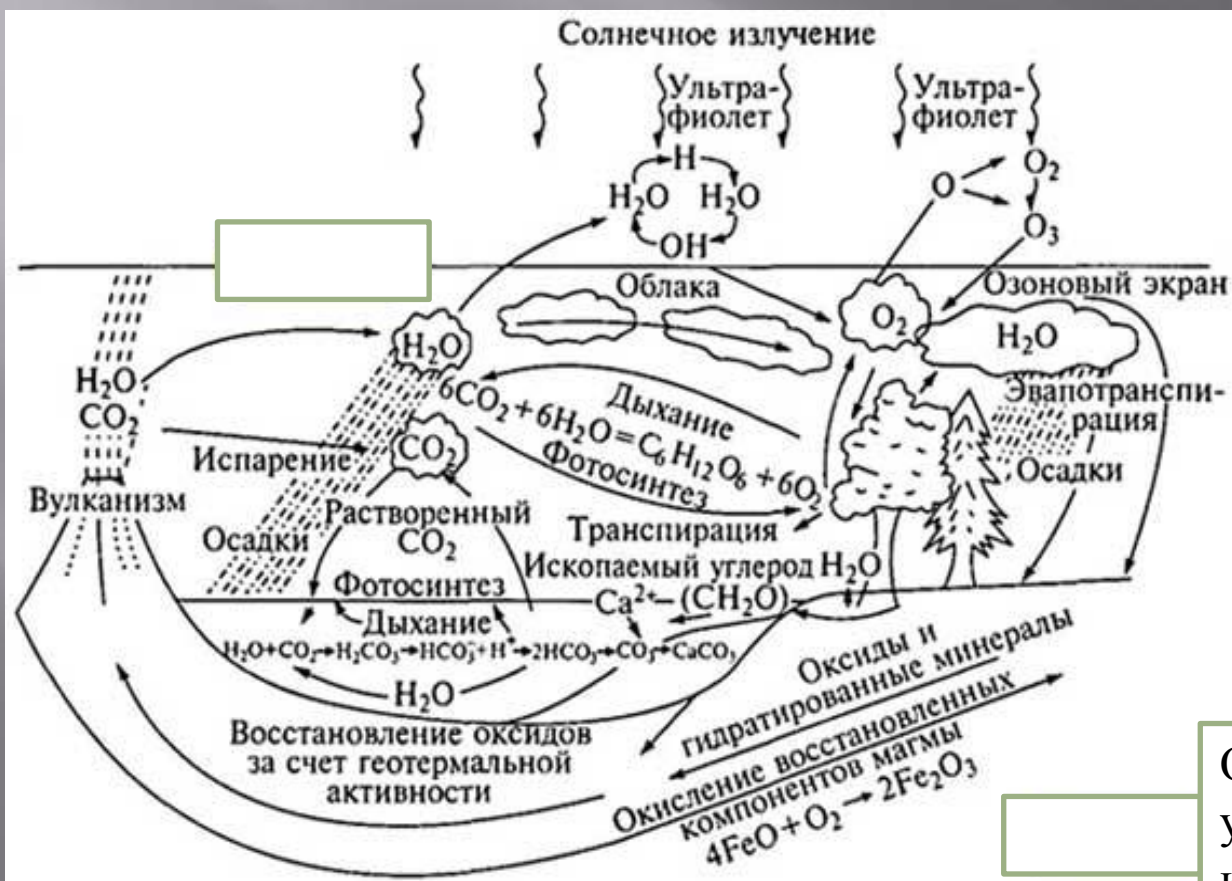
Круговорот основных веществ в биосфере (по Г. Хатчинсону)



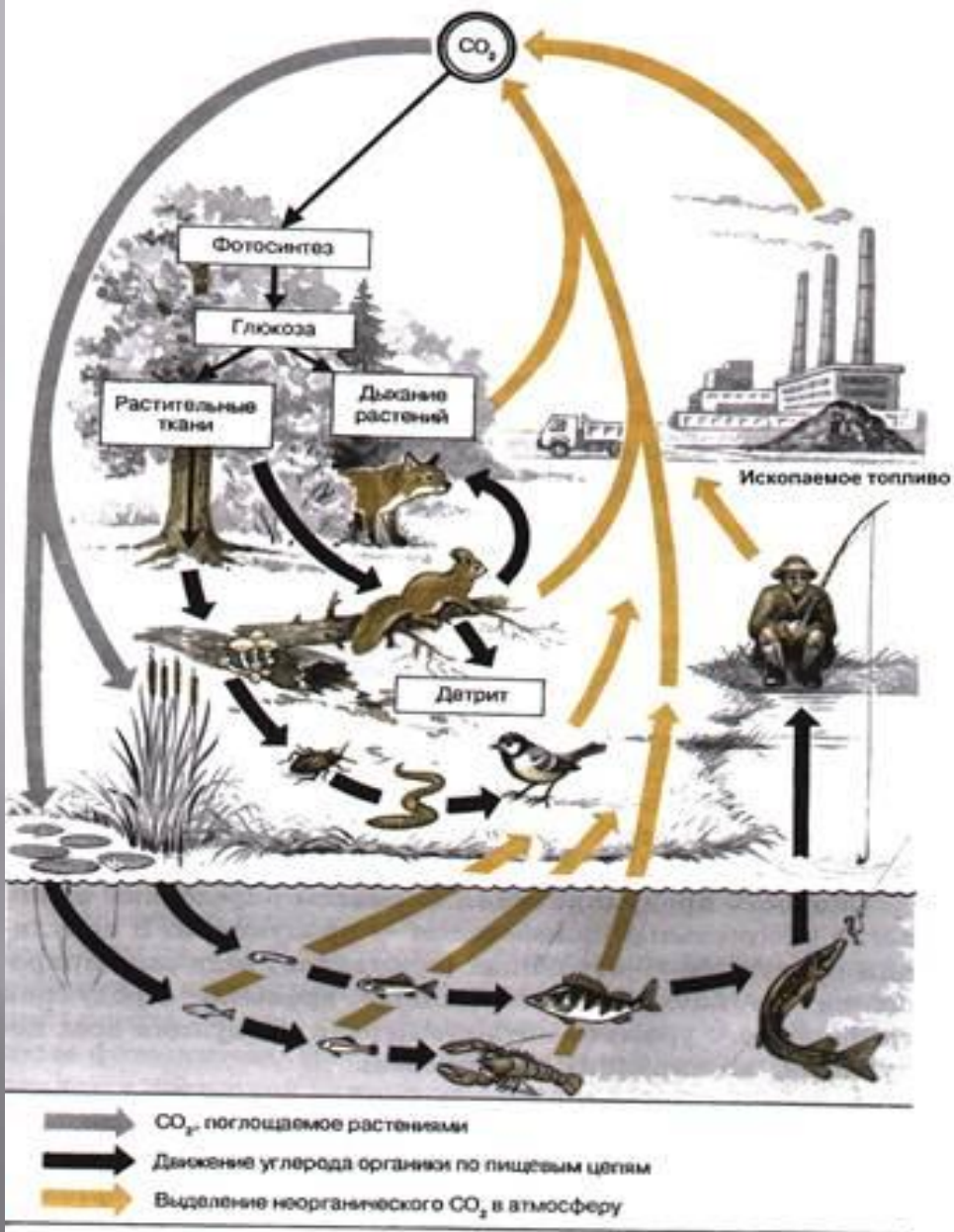
Потоки вещества и энергии, проходящие через три трофические ступени (по П.Дювиньо и М.Тангу): С — фотоактивная радиация, усваиваемая зеленым листом; П_в — валовая продуктивность растения; П_ч — чистая продуктивность; К — часть растений, съедаемая растительноядными; Н — непоедаемые остатки; Э — экскременты; А₂ — валовая продукция, усваиваемая растительноядными; А₃ — валовая продукция, усваиваемая хищниками; П₂ — чистая продукция на уровне растительноядных; П₃ — чистая продукция на уровне хищников; Д₁, Д₂, Д₃ — потери на дыхание на различных уровнях

▪ **Биогеохимический круговорот** - часть биологического круговорота, составленный обменными циклами химических веществ, тесно связанных с жизнью — главным образом, углерода, воды, азота, фосфора, серы и биогенных катионов (Н.Ф. Реймерс).

✓ В ходе реализации биогеохимических круговоротов биогенная аккумуляция минеральных соединений (превращение CO_2 , H_2O , NH_3 , SO_3 и других соединений в сложные, богатые энергией органические вещества) сменяется минерализацией органических соединений с освобождением энергии.

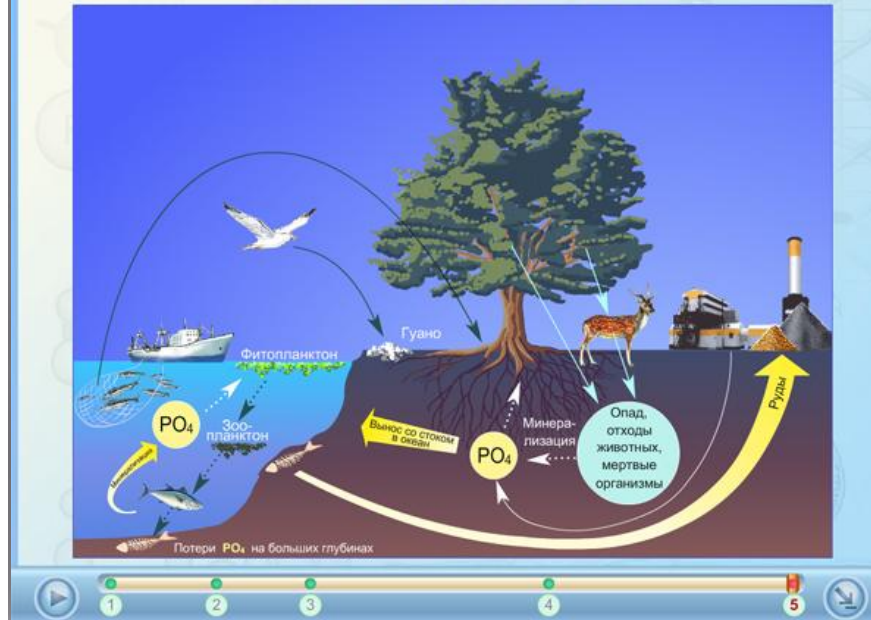


Общая схема циркуляции углерода, водорода и кислорода

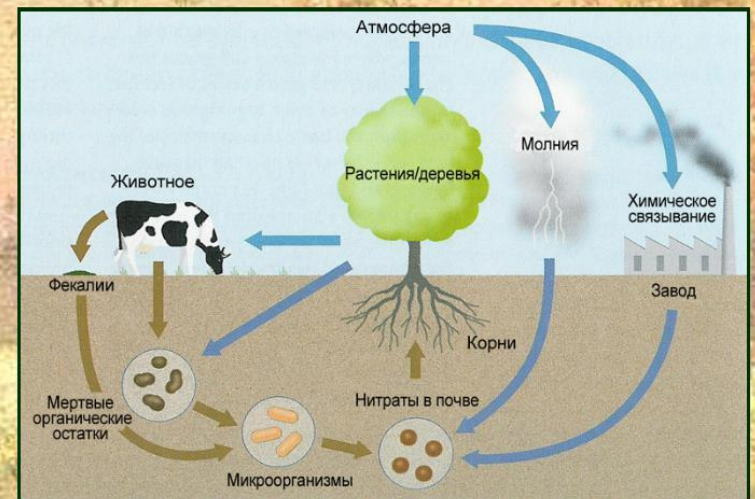


Биогеохимический круговорот углерода.

СХЕМА КРУГОВОРОТА ФОСФОРА



Круговорот азота



-Круговороты в пространстве всегда трехмерны и их надо рассматривать по вертикали, горизонтали; они изменяются во времени.

-Все описанные круговороты не являются круговоротами в точном смысле этого слова. Они не вполне замкнуты, и конечная стадия круговорота вовсе не тождественна его начальной стадии. Разрыв между ними образует вектор направленного изменения — *развитие*.

-Процессы фотосинтеза, идущие с помощью молекул хлорофилла, вливают в организм поток энергии солнечных лучей вместе с веществами неживой природы, создавая материальную и энергетическую базы всей жизни на Земле и отдавая в окружающее пространство часть свободного кислорода. Процессы дыхания, осуществляемые с помощью молекул гемоглобина, освобождают энергию, связанную фотосинтезом, и возвращают в неживую природу часть связанного кислорода, углерода и водорода.

- Круговороты охватывают все геосферы.

-По степени сложности круговороты весьма различны: одни из них сводятся преимущественно к механическим движениям (циркуляция атмосферы, морские течения), другие сопровождаются сменой агрегатного состояния вещества (круговорот воды), в третьих происходит его химическая трансформация (биологический круговорот).

- Вещество, вступившее в круговорот, нередко испытывает перестройку в промежуточных звеньях, изменяя свое физическое или химическое состояние.

▪ ***Ритмическими процессами*** (ритмикой) называют повторяющиеся во времени явления, которые каждый раз развиваются в одном направлении.

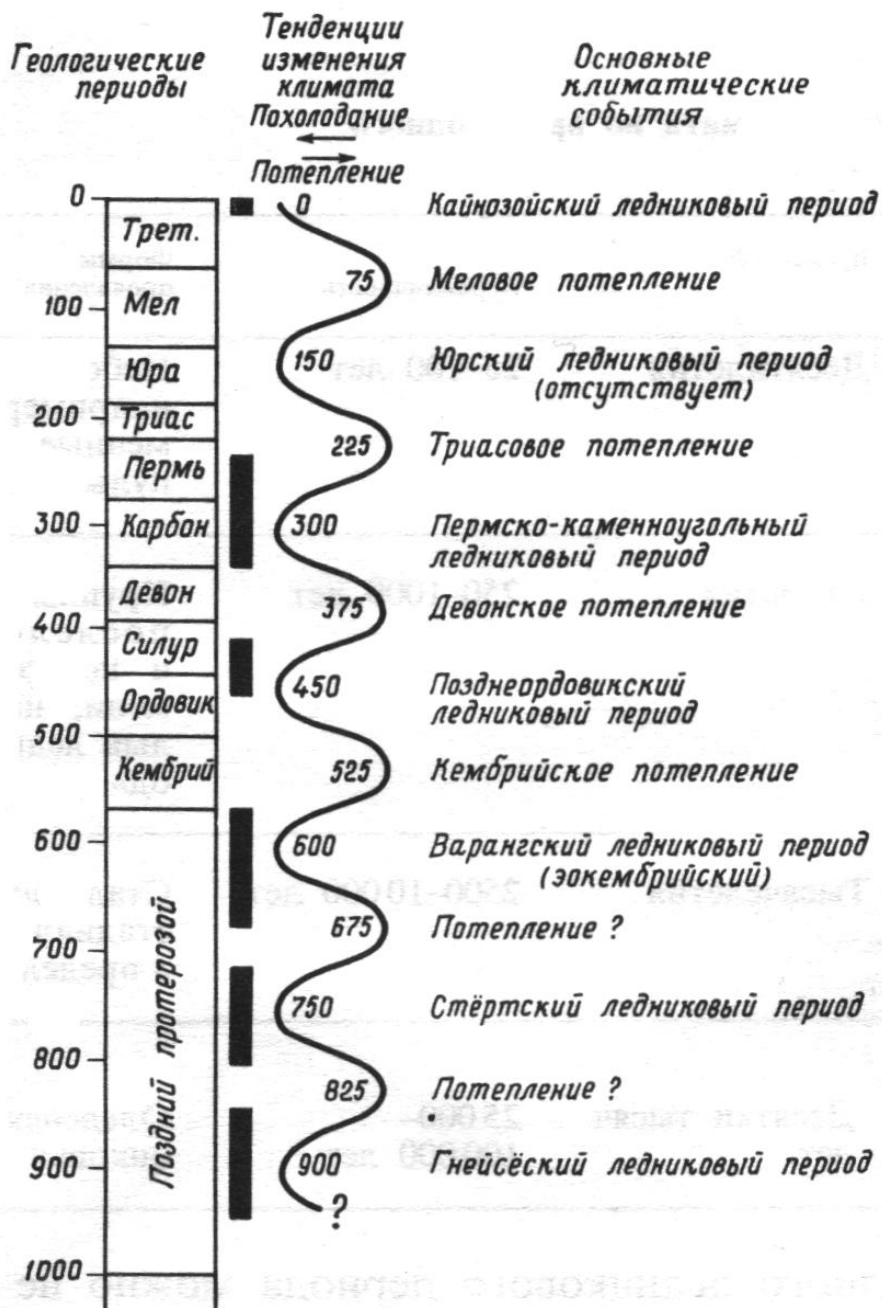
Это одна из закономерностей существования и развития географической оболочки, проявляющаяся в изменчивости всех процессов.

Выделяют *два вида* ритмических движений: периодические и циклические.

Периодичность означает равновеликий характер временных интервалов, а цикличность - возвращение системы в исходное состояние через определенные промежутки времени.

Геологические циклы отразились в смене режимов осадконакопления, вулканизма и магматизма, эпохах расчленения и выравнивания рельефа, периодах формирования кор выветривания и элювиальных образований, в чередовании морских трансгрессий и регрессий, ледниковий и межледниковий, в изменении климата планеты и содержании атмосферных газов.

Наиболее продолжительным астрономическим ***периодом*** является *галактический год* — время между двумя последовательными прохождением Солнца через одну и ту же точку галактической орбиты. Этот период составляет 180—200 млн лет.



Последовательность ледниковых эпох и «теплых» периодов за последний миллиард лет (по Б.Джону и др., 1982). Черные полосы показывают предполагаемую продолжительность ледниковых периодов

▪ Продолжительность *сверхвековых ритмов* составляет от нескольких сотен до нескольких тысяч лет.

✓ В каждом цикле длительностью 1850 лет есть три фазы: *трансгрессивная* (фаза прохладно-влажного климата), развивающаяся весьма быстро и энергично, но относительно короткая — 300 — 500 лет; *регрессивная* (фаза сухого и теплого климата) продолжительностью 600—800 лет, которая протекает медленно и вяло; *переходная*, охватывающая промежуток в 700—800 лет (Шнитников А.В.).

✓ Периодичность наступления равноденствий составляет 21 тыс. лет; изменение наклона эклиптики от $24^{\circ}36'$ до $21^{\circ}58'$ происходит с интервалом в 40 тыс. лет и влияет на положение тропиков и полярных кругов, что обуславливает заметные климатические циклы продолжительностью 40,4—40,7 тыс. лет.

▪ *Внутривековые ритмы*. Циклы колебания системы «атмосфера—океан—суша»: 111 лет, 80—90 лет, 44 года, 35—40 лет, 22 года, 19 лет, 11 лет, 6—7 лет, 3—4 года, 2 года.

Солнечная активность ответственна за возникновение в географической оболочке (через возмущение магнитного поля и циркуляцию атмосферы) ритмов средней продолжительностью в 2—3 года, 5—6 лет, 11 лет, 22—23 года, 44 года, в 80—90 лет.

Ритмы, обусловленные изменениями *приливобразующей силы* в результате взаимного положения Земли, Луны и Солнца: 18,6 лет (лунный деклинационный период); 1—2 года, 8—9 лет и около 111 лет.

Климат испытывает циклические колебания со средней продолжительностью одного цикла около 30—35 лет.

Продолжительность ритмов уровня озер, водоносности рек и горных ледников, ледовитости, температуры воздуха и др. может колебаться от 20 до 45 лет.

Средняя продолжительность ритмов *сейсмической активности* Земли составляет 22—23 года.

Нестабильность вращения Земли (изменения скорости ее вращения и колебания земной оси) порождает в океане и атмосфере полюсной прилив, который, в свою очередь, влияет на движения атмосферы и океана и протекающие в них процессы. Его амплитуда в океане составляет 0,5 см и зависит от величины смещения полюса.

Система «Земля — атмосфера — океан» совершает согласованные колебания с периодичностью 3 и 6 лет.

▪ **Внутригодовые ритмы** характеризуют сезонные колебания, наиболее выражены в высоких и умеренных широтах, а также некоторых тропических районах (например, в муссонной зоне Индийского океана).

Внутригодовая (сезонная) ритмика проявляется в смене времен года, ходе климатических элементов, гидрологических явлениях (ледостав, ледоход, половодье), почвообразовательных и геоморфологических процессах (усиление речных врезов при увеличении расходов воды в паводки и половодья и их затишье в межень, активизация термокарста летом и его замирание зимой, изменение величины плоскостной и почвенной эрозии в разные времена года) и др.

▪ **Внутримесячная ритмика** связана с изменчивостью периода обращения Солнца, изменением фаз и склонений Луны, обуславливает соответствующие колебания атмосферных, гидрологических и биологических процессов.

Внутримесячные колебания скорости вращения Земли обнаруживают периодичность в 27, 14 и 9 суток.

▪ **Внутрисуточная ритмика** проявляется в изменении всех гидрометеорологических параметров (температуры, влажности, атмосферного давления), приливо-отливных явлениях, фотосинтезе, биологической активности животных и др. Нагревание горных пород днем и остывание их ночью создает суточный ритм физического выветривания; процессы почвообразования; бризы и горно-долинные ветры .

- Ритмичность явлений — это форма своеобразного «дыхания» географической оболочки как целостной системы.

- Вследствие пространственной изменчивости своей структуры, географическая оболочка реагирует неодинаково на синхронные (одновременные) и периодические внешние возмущения. Поэтому наблюдается сдвиг фаз ритмов во времени и пространстве, что придает природе определенную мозаичность.

- Ритмические процессы не замкнуты. Каждый географический процесс происходит только один раз.

- Методы и способы изучения ритмики различны и во многом зависят от длины временного ряда, который анализируется.

▪ *Саморегулирование* в географической оболочке сохраняет её устойчивость, а многие параметры геосистем находятся в состоянии динамического равновесия, несмотря на резкие колебания внешних факторов.

Термодинамический принцип подвижного равновесия Ле-Шателье— Брауна (1884 г.):
если на систему, находящуюся в равновесии, воздействовать извне, изменяя какое-нибудь из условий (температура, давление, концентрация), то равновесие смещается таким образом, чтобы компенсировать изменение.

В географической оболочке основная причина постоянства – всеобщая взаимосвязанность концентраций веществ;
связи осуществляются неравномерно в пространстве и во времени.

Во многих случаях динамическое равновесие принимает форму *автоколебаний* (колебание величины относительно некоторого среднего ее значения).

Таковы суточные и годовые колебания большинства физико-географических параметров.



Схема взаимодействия компонентов тепло- и влагооборота