

Солнце как источник энергии

Первоисточником энергии для экосистем служит Солнце. Около 70% всей солнечной энергии, доходящей до Земли отражается, поглощается атмосферой, излучается в виде длинноволнового ИФ излучения. Падающая на поверхность Земли солнечная радиация составляет 1,54 млн. ЭДж в год.

Это огромное количество энергии в 5000 раз превышает всю энергетику человечества конца XX столетия и в 5,5 раза – энергию всех доступных ресурсов ископаемого топлива органического происхождения, накопленных в течение, как минимум, 100 млн. лет.



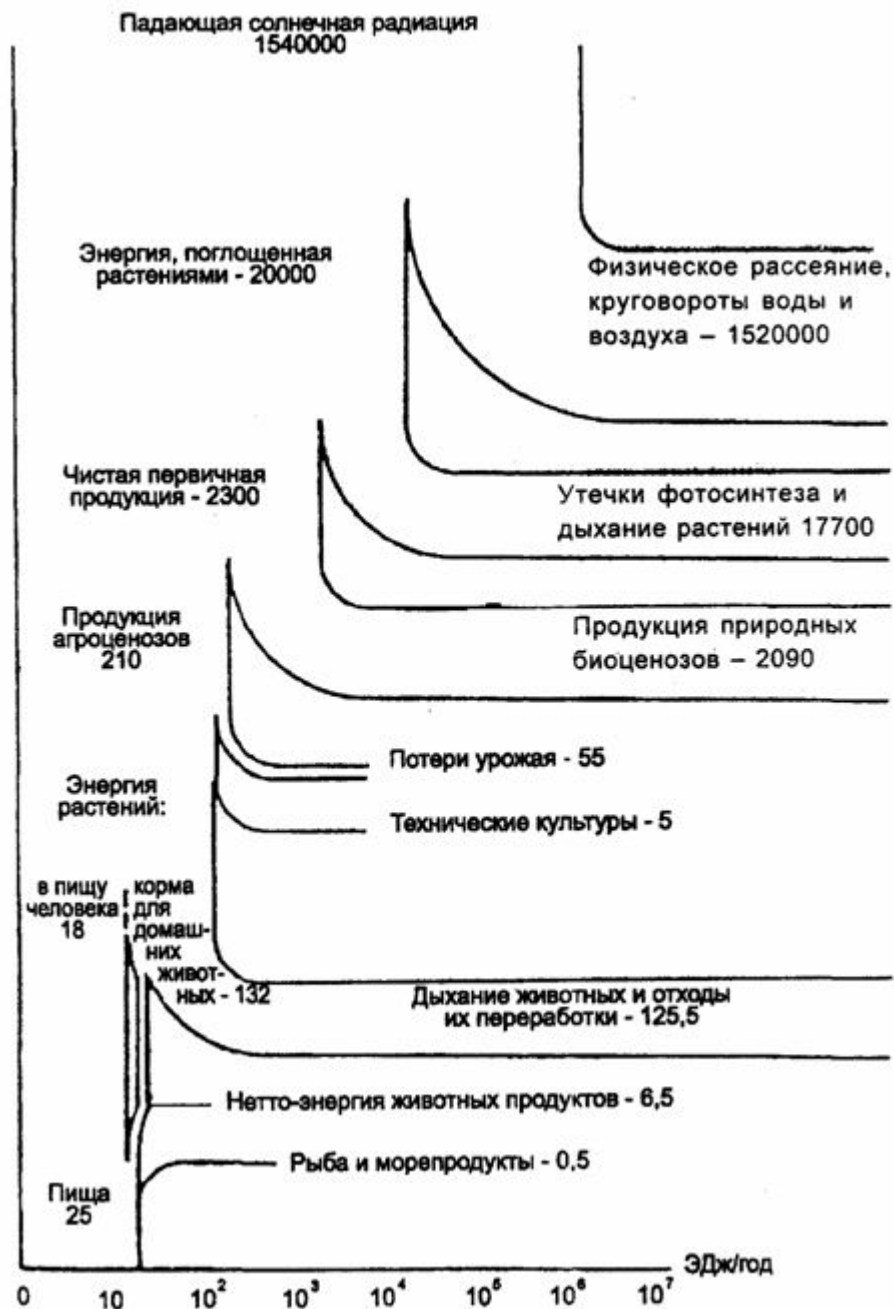


Рис. Трансформация потока солнечной энергии на Земле (Т. А. Акимова, В. В. Хаскин, 1994)

Примечание: энергия в ЭДж/год. 1 ЭДж = 10^{18} Дж; горизонтальное сечение потока энергии - логарифмическое. На каждом из этапов трансформации большая часть энергии теряется.

Большая часть солнечной энергии, достигающей поверхности планеты, превращается непосредственно в тепло, нагревая воду или почву, от которых в свою очередь нагревается воздух. Это тепло служит движущей силой круговорота воды, воздушных потоков и океанических течений, определяющих погоду, постепенно отдается в космическое пространство, где и теряется.

Основной принцип функционирования экосистем: они существуют за счет не загрязняющей среду и практически вечной солнечной энергии, количество которой относительно постоянно и избыточно.

Характеристики солнечной энергии

1. *Избыток.* Растения используют около 0,5% ее количества, достигающую Земли. Поступающего на землю количества солнечной энергии достаточно для удовлетворения потребностей человечества, а так как она в конце концов превращается в тепло, то увеличение ее использования не окажет влияния на динамику биосферы.

2. *Чистота.* Солнечная энергия - «чистая», хотя ядерные реакции, идущие в недрах Солнца и служащие источником ею энергии, и сопровождаются радиоактивным загрязнением, все оно остается в 150 млн. км от Земли.

3. *Постоянство.* Солнечная энергия всегда будет доступна в одинаковом, безграничном количестве.

4. *Вечность.* Ученые считают, что Солнце через несколько миллиардов лет погаснет. Однако для нас это не имеет практического значения, так как люди, по современным данным, существуют только около 3 млн лет. Это всего 0,3% миллиарда. Если даже через 1 млрд. лет жизнь на Земле станет невозможной, у человечества в запасе еще 99,7% этого срока.

Круговороты веществ

Солнечная энергия на Земле вызывает два круговорота веществ:

1. **большой**, или *геологический*, наиболее ярко проявляющийся в круговороте воды и циркуляции атмосферы;

2. **малый**, *биологический* (*биотический*), развивающийся на основе большого и состоящий в непрерывном, циклическом, но неравномерном во времени и пространстве, и сопровождающийся более или менее значительными потерями закономерного перераспределения вещества, энергии и информации в пределах экологических систем различного уровня организации.

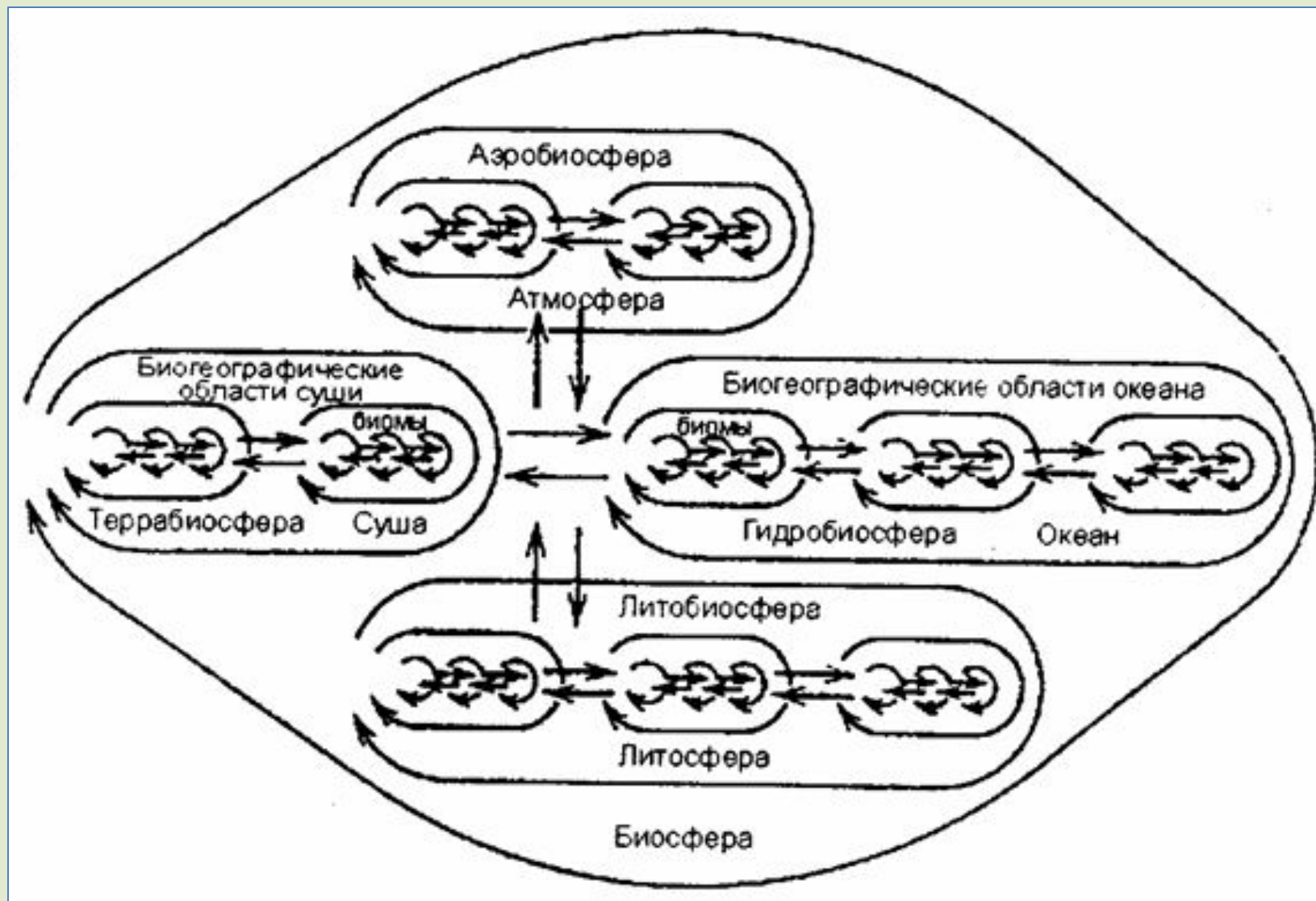


Рис. Схема биологического (биотического) круговорота (К. Ф. Реймерс, 1990).

Оба круговорота взаимосвязаны и представляют единый процесс:

Весь O_2 атмосферы оборачивается через организмы (связывается при дыхании и высвобождается при фотосинтезе) за 2000 лет;

CO_2 атмосферы совершает круговорот в обратном направлении за 300 лет;

Вода на Земле разлагается и воссоздаётся путем фотосинтеза и дыхания за 2 000 000 лет.

Биогеохимический круговорот (*биогеохимический цикл*) — обмен химических элементов между живыми организмами и неорганической средой, между биотопом и биоценозом экосистемы в виде чередующихся то органических, то минеральных соединений.

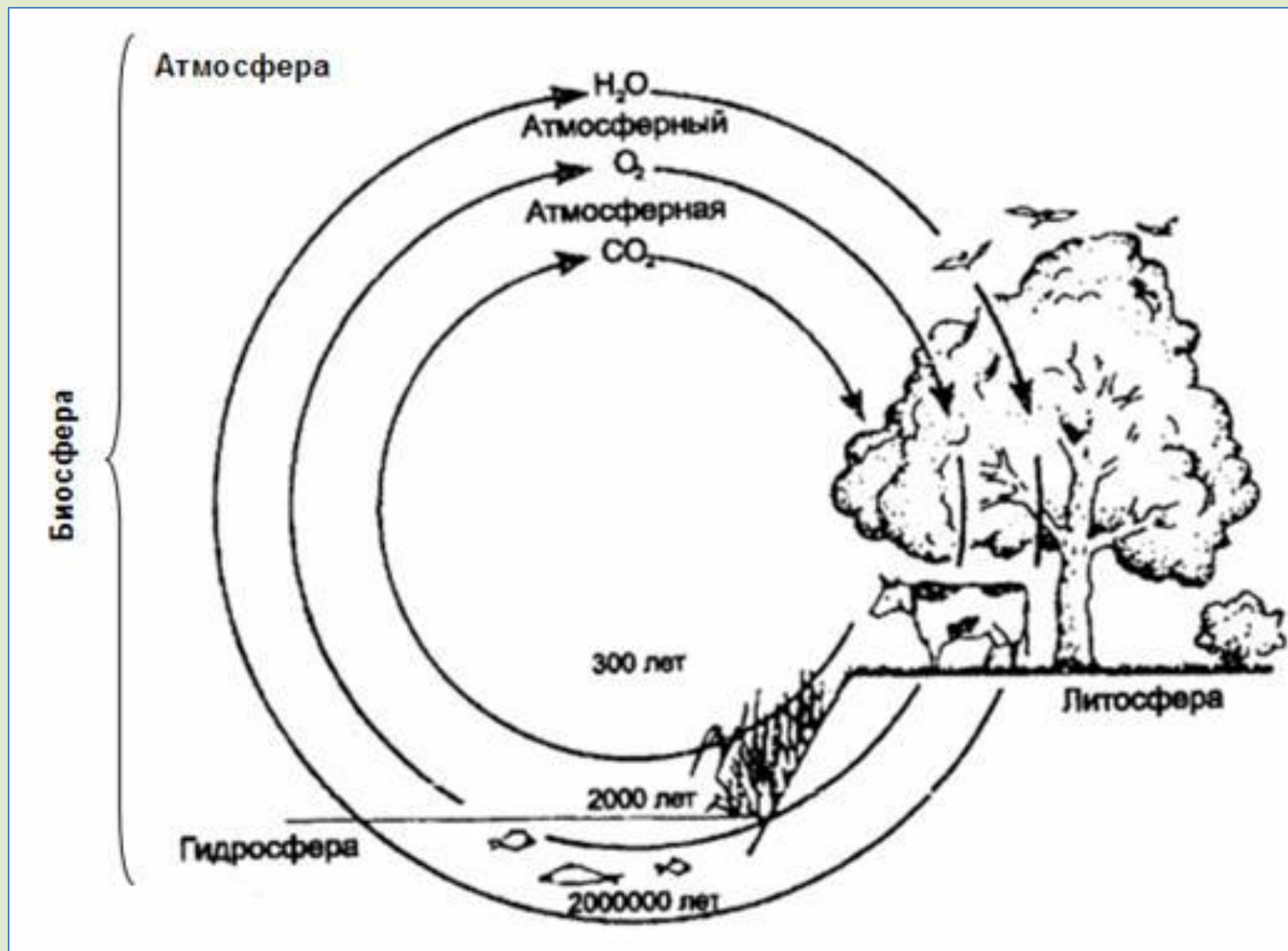


Рис. Круговороты воды, O_2 и CO_2 (П. Клауд и А. Джибор, 1972).

Значение круговоротов: создают возможность для саморегуляции (*гомеостаза*) системы, что придает экосистеме устойчивость: постоянство процентного содержания различных элементов.

Принцип функционирования экосистем: получение ресурсов и избавление от отходов происходят в рамках круговорота всех элементов.

Круговорот воды – самый значительный по переносимым массам и по затратам энергии круговорот на Земле - *планетарный гидрологический цикл*.

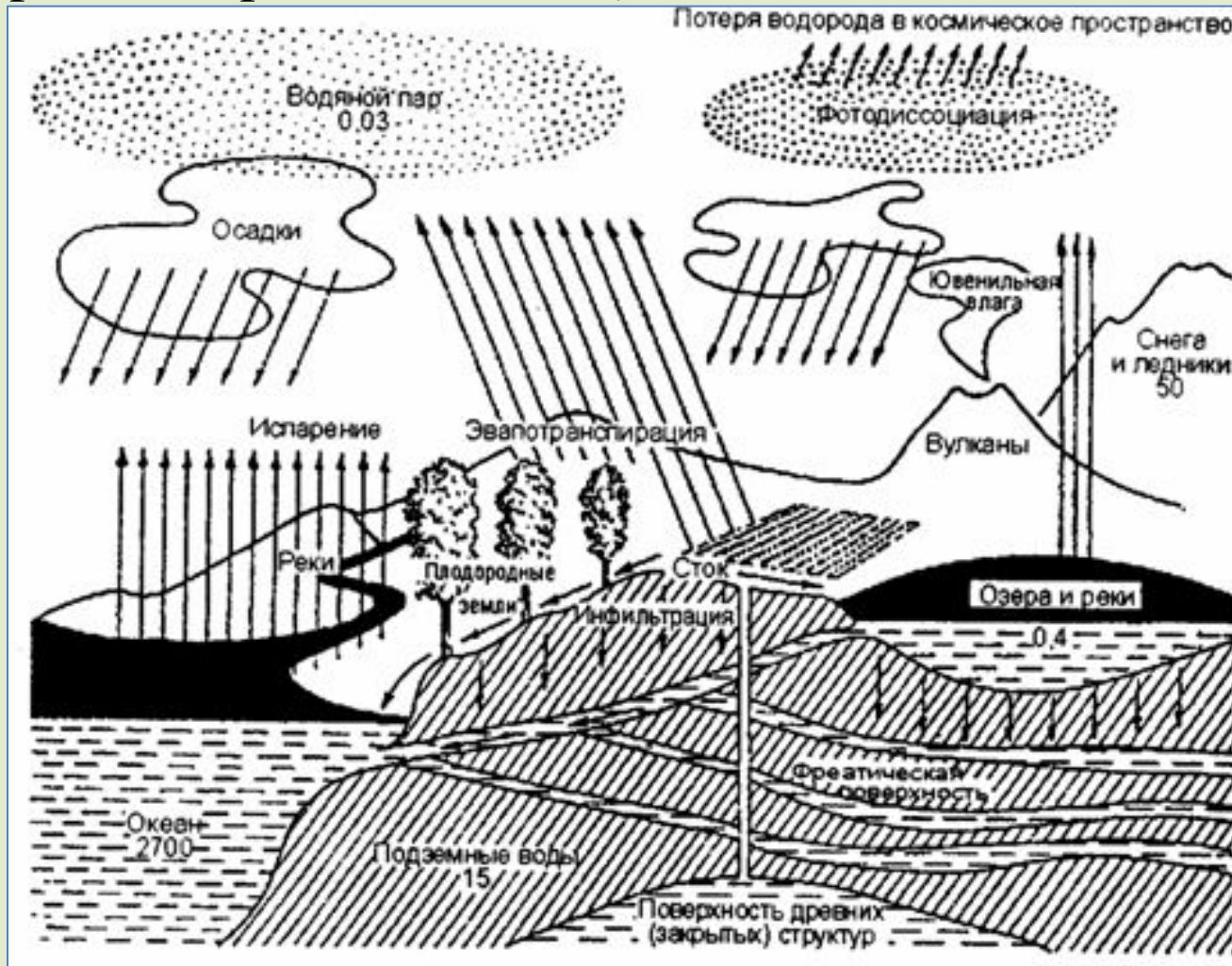


Рис. Общая схема круговорота воды (Ф. Рамад, 1981)

Примечание: цифры - толщина слоя в метрах.

Фазовые превращения, образование растворов и взвесей, выпадение осадков, кристаллизация, процессы фотосинтеза, а также разнообразные химические реакции. Вода – основной элемент, необходимый для жизни.

Самая распространенная неорганическая составляющая живой материи:

- у человека вода – 63% массы тела,
- грибов – 80%,
- растений – 80-90%,
- некоторые медузы – 98%.

В жидком, твердом и парообразном состояниях вода присутствует во всех трех главных составных частях биосферы: атмосфере, гидросфере, литосфере.

Малый круговорот воды — испарение воды с поверхности океана, конденсация водяного пара в атмосфере и выпадение осадков на поверхность океана.

Большой круговорот воды — водяной пар переносится воздушными течениями на сушу, часть осадков испаряется и поступает обратно в атмосферу, другая — питает реки и водоемы, но в итоге вновь возвращается в океан речным и подземным стоками.

Над океанами выпадает $\frac{7}{9}$ общего количества осадков, а над континентами $\frac{2}{9}$.

Вода, выпавшая на сушу, в процессе фильтрации через почву обогащается минеральными и органическими веществами, образуя подземные воды. Вместе с поверхностными стоками она поступает в реки, а затем в океаны.

Значение воды:

Атмосферная влага играет основную роль в циркуляции воды и ее биогеохимическом круговороте. Толщина слоя водяного пара в атмосфере 0,03 м. На Земле существует один источник притока воды – атмосферные осадки и один источник расхода – испарение.

В жизнедеятельности растений вода участвует в фотосинтезе и транспирации. *Суммарное испарение* – масса воды, испаряемая растительностью и с поверхности почвы, играет важную роль в круговороте воды на континентах.

Грунтовые воды, проникая в ткани растений при транспирации, приносят мин.соли, необходимые для жизнедеятельности растений.

Наиболее замедленной частью круговорота воды является деятельность полярных ледников. Круговорот совершается за 8,0 тыс. лет, что отражает медленное движение и процесс таяния ледниковых масс. Подземные воды обновляются за 5,0 тыс. лет, воды океанов – за 3,0 тыс. лет, атмосферные воды – за 10 суток. Речные воды сменяются в среднем каждые 11 суток. Происходящий в природе круговорот самоочищающейся воды - вечное движение, обеспечивающее жизнь на Земле.

Биотический (биологический) круговорот — циркуляция веществ между почвой, растениями, животными и микроорганизмами.

Биотический (биологический) круговорот — поступление химических элементов из почвы, воды и атмосферы в живые организмы, превращение в них поступающих элементов в новые сложные соединения и возвращение их обратно в процессе жизнедеятельности с ежегодным опадом части органического вещества или с полностью отмершими организмами, входящими в состав экосистемы (Н. Ф. Реймерс, 1990).

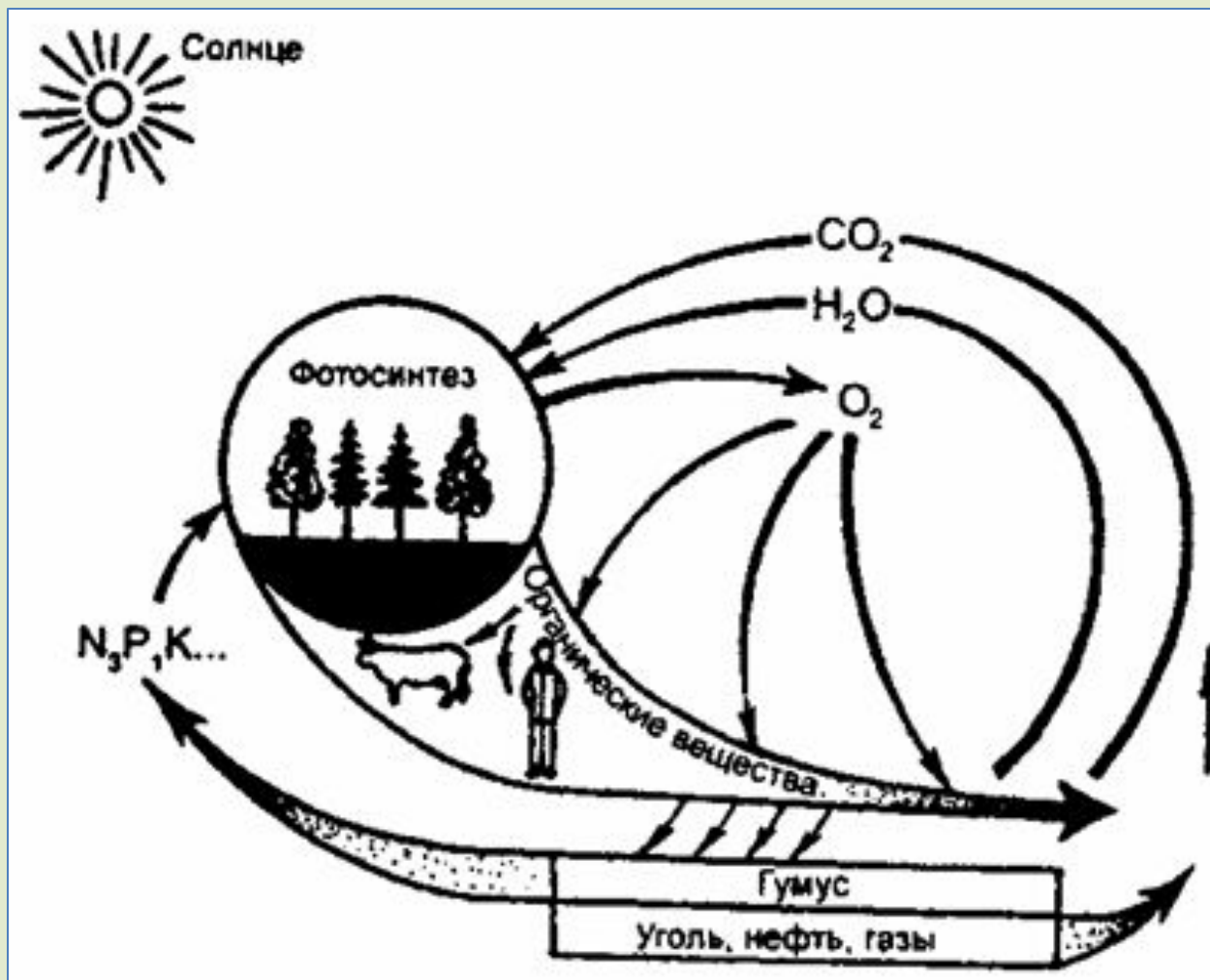


Рис. Биотический (биологический) круговорот веществ в экосистеме (А. И. Воронцов, Н. З. Харитонова, 1979)

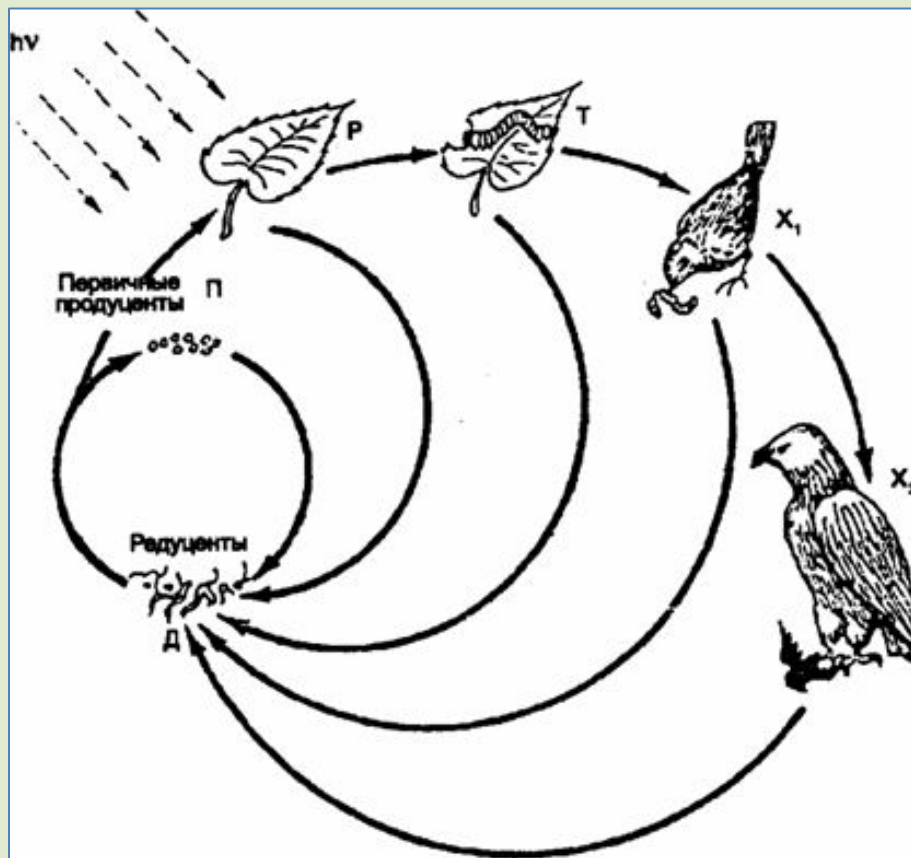


Рис. Структурные циклы биотического круговорота (Т. А. Акимова, В. В. Хаскин, 1994) *Пояснения:* внутреннее малое кольцо - первичный биотический круговорот с участием примитивных продуцентов (П) и редуцентов-деструкторов (Д); Р - растения; Т - первичные консументы (растительоядные животные); X₁ и X₂ - вторичные и третичные консументы (хищники). Все циклы замыкаются редуцентами

Первичный биотический круговорот состоял из примитивных одноклеточных продуцентов (П) и редуцентов-деструкторов (Д).

Микроорганизмы быстро размножаются и приспосабливаются к разным условиям: используют для питания всевозможные источники углерода.

Высшие организмы такими способностями не обладают. В целостных экосистемах они существуют в виде надстройки на фундаменте микроорганизмов.

Вначале развиваются многоклеточные растения (Р) – высшие продуценты. Они создают в процессе фотосинтеза органическое вещество, используя энергию солнца.

Затем подключаются первичные консументы – растительноядные животные (Т) и плотоядные консументы.

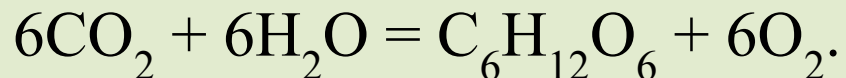
Все организмы занимают определенное место в биотическом круговороте и выполняют свои функции по трансформации достающихся им ветвей потока энергии и по передаче биомассы. Всех объединяет, обезличивает их вещества и замыкает общий круг система одноклеточных редуцентов (деструкторов). В абиотическую среду биосферы они возвращают все элементы, необходимые для новых и новых оборотов.

Фотосинтез (Ф.) — естественный процесс, вовлекающий в круговорот огромные массы вещества биосферы и определяющий ее высокий O_2 потенциал. Регулятор основных геохимических процессов в биосфере и фактор, определяющий наличие свободной энергии верхних оболочек Земли. *Фотосинтез* — химическая реакция, протекающая за счет солнечной энергии при участии хлорофилла зеленых растений:



За счет CO_2 и воды синтезируется орг. вещество и выделяется свободный O_2 . Прямые продукты **Ф.** - различные орг. соединения.

Глюкоза – простейший продукт **Ф.**:



Ф. с участием O_2 (*кислородный фотосинтез*) существует и *бескислородный Ф.*, или **хемосинтез**.

К хемосинтезирующим организмам относятся нитрификаторы, карбоксидобактерии, серобактерии, тионовые железобактерии, водородные бактерии. Называются по субстратам окисления – NH_3 , NO_2 , CO , H_2S , S , Fe^{2+} , H_2 .

Некоторые – облигатные *хемотрофы*, другие – факультативные (карбоксидобактерии и водородные бактерии). Хемосинтез характерен для глубоководных гидротермальных источников.

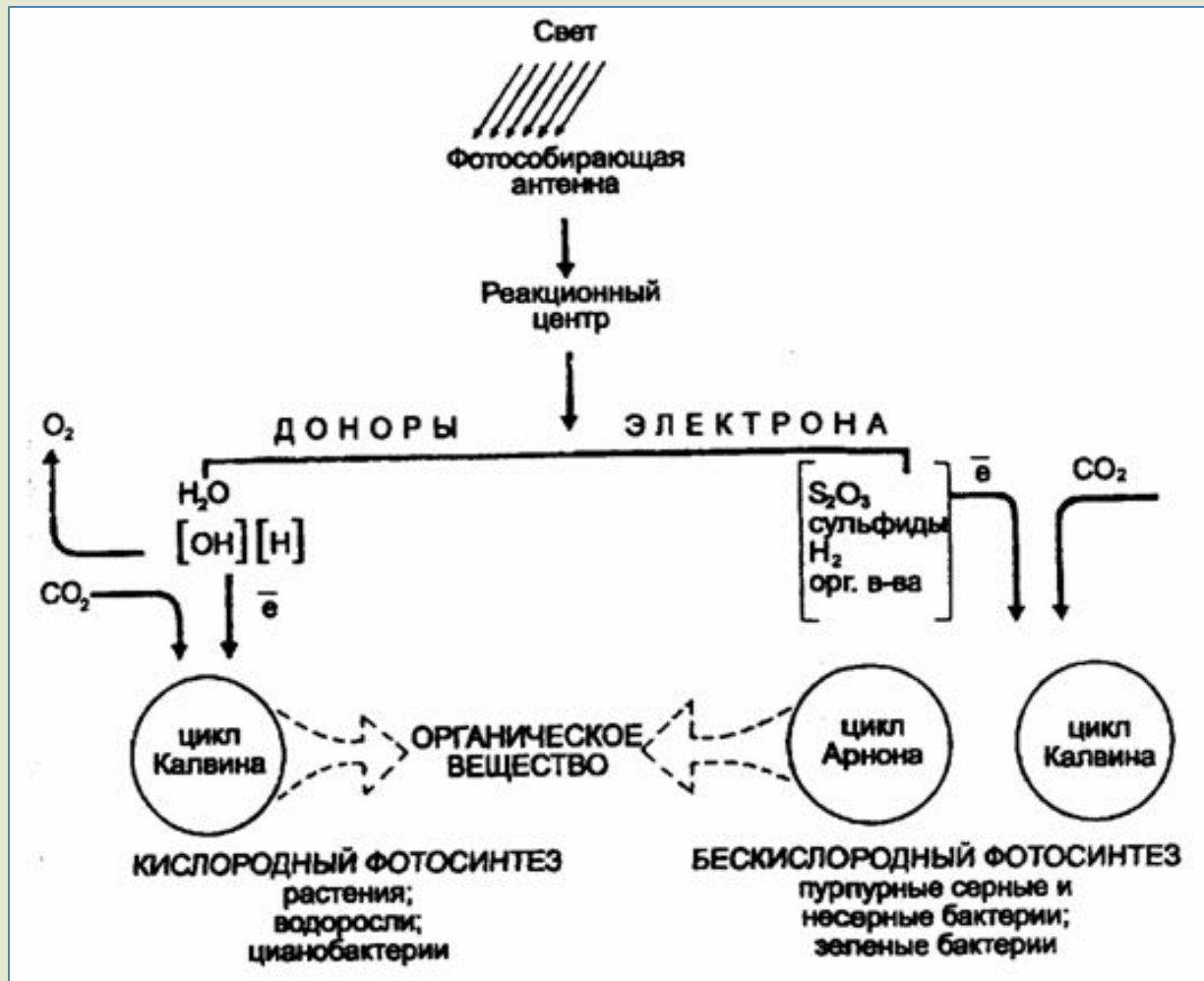


Рис. Схема фотосинтеза у растений, водорослей и бактерий

Ф. происходит за немногим исключением на всей поверхности Земли, создает огромный геохимический эффект и может быть выражен как количество всей массы углерода, вовлекаемой ежегодно в построение органического - живого вещества всей биосферы.

В общий круговорот материи, связанной с построением путем **Ф.** органического вещества, вовлекаются химические элементы, как N, P, S, а также металлы – K, Ca, Mg, Na, Al.

При гибели организма происходит обратный процесс - *разложение* органического вещества путем окисления, гниения и т. п. Общая реакция **Ф.** :



В биосфере Земли этот процесс приводит к тому, что количество биомассы живого вещества постоянно. Биомасса экосферы (2×10^{12} т) на семь порядков меньше массы земной коры (2×10^{19} т). Растения Земли ежегодно продуцируют органическое вещество, равное $1,6 \times 10^{11}$ т, или 8% биомассы экосферы.

Деструкторы, составляющие менее 1% суммарной биомассы организмов планеты, перерабатывают массу органического вещества, в 10 раз превосходящую их собственную биомассу.

В среднем период обновления биомассы равен 12,5 годам. Допустим, что масса живого вещества и продуктивность биосферы были такими же от кембрия до современности (530 млн. лет), то суммарное количество органического вещества, которое прошло через глобальный биотический круговорот и было использовано жизнью на планете, составит $2 \times 10^{12} \times 5,3 \times 10^8 / 12,5 = 8,5 \times 10^{19}$ т, что в 4 раза больше массы земной коры.

По поводу данных расчетов Н. С. Печуркин (1988) писал: «Мы можем утверждать, что атомы, составляющие наши тела, побывали в древних бактериях, и в динозаврах, и в мамонтах».

Закон биогенной миграции атомов (В. И. Вернадский): миграция химических элементов на земной поверхности и в биосфере осуществляется или при непосредственном участии живого вещества (*биогенная* миграция), или же она протекает в среде, геохимические особенности которой (O_2 , CO_2 , H_2 и т. д.) обусловлены живым веществом, как тем, которое в настоящее время населяет биосферу, так и тем, которое действовало на Земле в течение всей геологической истории.

Основные биогеохимических функции живого вещества (В. И. Вернадский; 1928-1930)

1. *Газовая.* Большинство газов верхних горизонтов планеты порождено жизнью. Подземные горючие газы являются продуктами разложения органических веществ растительного происхождения, захороненных ранее в осадочных толщах. Наиболее распространенный - болотный газ метан (CH_4).

2. *Концентрационная.* Содержание углерода в углях по степени концентрации в тысячи раз больше, чем в среднем для земной коры. Нефть - концентратор углерода и водорода, имеет биогенное происхождение. Среди металлов по концентрации 1-е место - кальций. Целые горные хребты сложены остатками животных с известковым скелетом. Концентраторами Si являются диатомовые водоросли, радиолярии и некоторые губки, йода – ламинарии, железа и марганца – бактерии. Позвоночные накапливают P в костях.

3. *Окислительно-восстановительная.* Организмы, обитающие в разных водоемах, в процессе своей жизнедеятельности и после гибели регулируют кислородный режим и тем самым создают условия, благоприятные для растворения или же осаждения ряда металлов с переменной валентностью (V, Mn, Fe).

4. *Биохимическая.* Связана с ростом, размножением и перемещением живых организмов в пространстве. Размножение приводит к быстрому распространению живых организмов, распространению живого вещества в разные географические области.

5. *Биогеохимическая деятельность человека*, охватывающая все возрастающее количество вещества земной коры для нужд промышленности, транспорта, с/х.

Таким образом, живое вещество находится в постоянном круговороте биофильных химических элементов. Биологический круговорот веществ в биосфере связан с большим геологическим круговоротом.

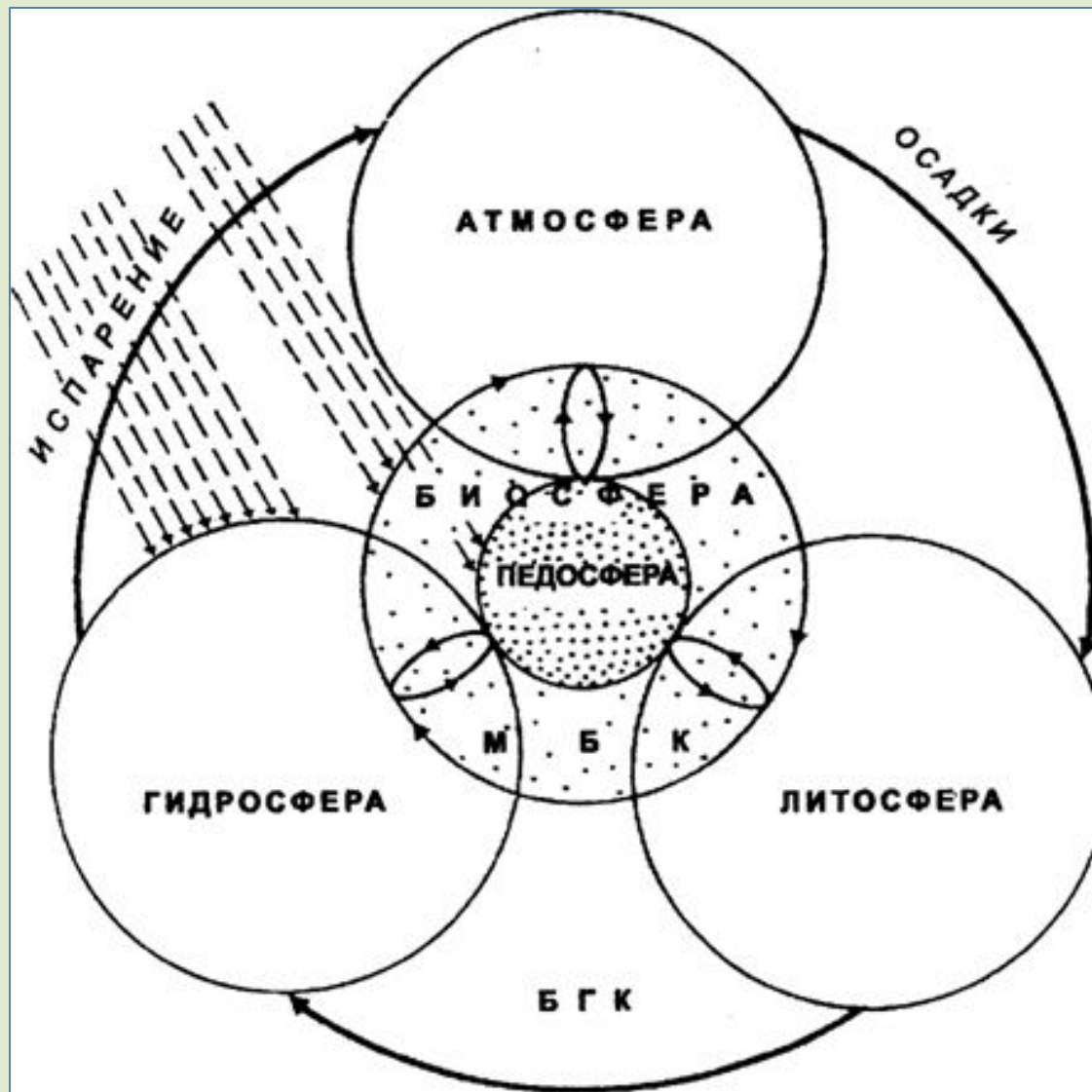


Рис. Взаимосвязь малого *биологического* круговорота веществ в биосфере с большим *геологическим* круговоротом.

Круговорот углерода. Самый интенсивный. С высокой скоростью углерод циркулирует между различными неорганическими средствами и через посредство пищевых сетей внутри сообществ живых организмов.

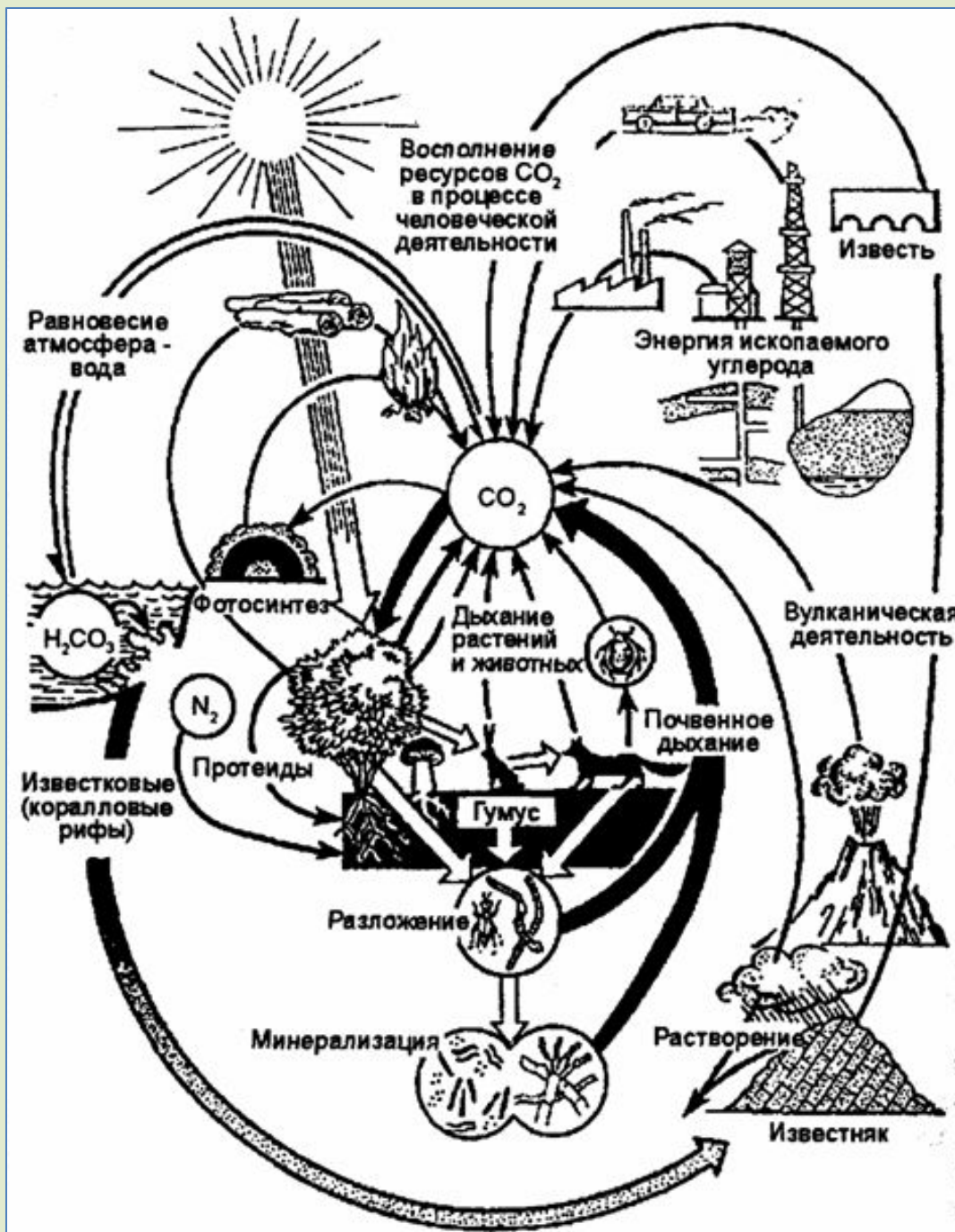


Рис. Круговорот углерода (И. П. Герасимов, 1980)

В биосфере Земли углерод представлен наиболее подвижной формой CO_2 . Источником первичной углекислоты биосферы является вулканическая деятельность, связанная вековой дегазацией мантии и нижних горизонтов земной коры.

Пути миграции CO_2 в биосфере:

1. Поглощение С при Ф. с образованием глюкозы и др. орг. веществ. Они переносятся по пищевым цепям и образуют ткани живых существ экосистемы. Вероятность отдельно взятого С «побывать» в течение одного цикла в составе многих организмов мала, т.к. при каждом переходе с одного трофического уровня на другой содержащая его органическая молекула будет расщеплена в процессе клеточного дыхания для получения энергии. Атомы С вновь поступают в окружающую среду в составе CO_2 , завершив один цикл и готовы начать следующий. В пределах суши с растительностью CO_2 атмосферы при Ф. поглощается в дневное время. В ночное время часть его выделяется растениями во внешнюю среду. С гибелью растений и животных на поверхности происходит окисление орг. веществ с образованием CO_2 .

Атомы **С** возвращаются в атмосферу и при сжигании орг. вещества. В геологические эпохи, сотни миллионов лет назад, значительная часть орг. вещества, созданного при **Ф.**, не использовалась, а накапливалась в литосфере в виде ископаемого топлива; нефти, угля, горючих сланцев, торфа и др. Это ископаемое топливо добывается в огромных количествах для обеспечения энергетических потребностей индустриального общества. Сжигая его, мы в определенном смысле завершаем круговорот **С**.

2. Миграция С при создании карбонатной системы

водоемов, где CO_2 переходит в H_2CO_3 , HCO_{13} , CO_{23} . С помощью растворенного в воде Са (или Mg) происходит осаждение карбонатов (CaCO_3) биогенным и абиогенным путями. Образуются толщи известняков. По А. Б. Ронову, отношение захороненного С в продуктах Ф. к С карбонатных пород составляет 1:4. Существует наряду с большим круговоротом С и ряд малых его круговоротов на поверхности суши и в океане.

Без антропогенного вмешательства содержание **С** в биогеохимических резервуарах: биосфере (биомасса+почва и детрит), осадочных породах, атмосфере и гидросфере, - сохраняется с высокой степенью постоянства.

Постоянный обмен **С**, с одной стороны, между биосферой, а с другой – между атмосферой и гидросферой, обусловлен газовой функцией живого вещества – процессами **Ф.**, дыхания и деструкции, и составляет 6×10^{10} т/год.

Существует поступление С в атмосферу и гидросферу и при вулканической деятельности в среднем $4,5 \times 10^6$ т/год. Общая масса С в ископаемом топливе (нефть, газ, уголь и др.) – $3,2 \times 10^{15}$ т, что соответствует средней скорости накопления 7 млн.т/год. Это количество по сравнению с массой циркулирующего С незначительное и как бы выпадало из круговорота, терялось в нем. Степень разомкнутости (несовершенства) круговорота составляет 10^{-4} , или 0,01%, а соответственно степень замкнутости – 99,99%. Каждый атом С принимал участие в цикле десятки тысяч раз, прежде чем выпал из круговорота в недры. С другой стороны – потоки синтеза и распада орг. веществ в биосфере с высокой точностью подогнаны друг к другу.