

## КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ В БИОСФЕРЕ

Биосфера Земли характеризуется определенным образом сложившимися круговоротом веществ и потоком энергии. Круговорот веществ — многократное участие веществ в процессах, протекающих в атмосфере, гидросфере и литосфере, в том числе в тех слоях, которые входят в состав биосферы Земли. Круговорот веществ осуществляется при непрерывном поступлении (или как можно еще сказать - потоке) внешней энергии Солнца и внутренней энергии Земли.

В зависимости от движущей силы с определенной долей условности, внутри круговорота веществ, можно выделить геологический, биологический и антропогенный круговороты. До возникновения человека на Земле осуществлялись только первые два.

Геологический круговорот (т.е. большой круговорот веществ в природе) — круговорот веществ, движущей силой которого являются экзогенные и эндогенные геологические процессы.

Эндогенные процессы (т.е. процессы внутренней динамики) происходят под влиянием внутренней энергии Земли. Это энергия, которая выделяется в результате радиоактивного распада, химических реакций образования минералов, кристаллизации горных пород и т.д. К эндогенным процессам относятся: тектонические движения, землетрясения, магматизм и другие. Экзогенные процессы (т.е. процессы внешней динамики) протекают под влиянием внешней энергии Солнца. Экзогенные процессы включают выветривание горных пород и минералов, удаление продуктов разрушения с одних участков земной коры и перенос их на новые участки, отложение и накопление продуктов разрушения с образованием осадочных пород. К экзогенным процессам относятся геологическая деятельность атмосферы, гидросферы (т.е. рек, временных водотоков, подземных вод, морей и океанов, озер и болот, льда), а также живых организмов и человека.

Крупнейшие формы рельефа (такие как материки и океанические впадины) и крупные формы (например, горы и равнины) образовались за счет эндогенных процессов, а средние и мелкие формы рельефа (например, речные долины, холмы, овраги, барханы и др.), наложенные на более крупные формы, — за счет экзогенных процессов. Таким образом, эндогенные и экзогенные процессы противоположны по своему действию. Первые ведут к образованию крупных форм рельефа, вторые — к их сглаживанию.

Таким образом геологический круговорот веществ протекает без участия живых организмов и осуществляет перераспределение вещества между биосферой и более глубокими слоями Земли.

Биогеохимический (или биологический) круговорот (т.е. малый круговорот веществ в биосфере) — этот круговорот веществ, движущей силой которого является деятельность живых организмов. В отличие от большого геологического малый биогеохимический круговорот веществ совершается в пределах биосферы. Главным источником энергии круговорота является солнечная радиация, которая порождает фотосинтез. В экосистеме органические вещества синтезируются автотрофами из неорганических веществ. Затем они потребляются гетеротрофами. В результате выделения в процессе жизнедеятельности организмов или после их гибели органические вещества подвергаются минерализации, то есть превращению в неорганические вещества, которые могут быть вновь использованы для синтеза автотрофами органических веществ.

В биогеохимических круговоротах следует различать две части: резервный фонд — это часть вещества, не связанная с живыми организмами; и обменный фонд — значительно меньшая часть вещества, которая связана прямым обменом между организмами и их непосредственным окружением.

В зависимости от расположения резервного фонда биогеохимические круговороты можно разделить на два типа: круговороты газового типа с резервным фондом веществ в атмосфере и гидросфере (к ним относятся круговороты углерода, кислорода, азота) и круговороты осадочного типа с резервным фондом в земной коре (круговороты фосфора, кальция, железа и др.).

Круговороты газового типа более совершенны, так как обладают большим обменным фондом, а значит, способны к быстрой саморегуляции.

Круговороты осадочного типа менее совершенны, они более инертны, так как основная масса вещества содержится в резервном фонде земной коры в «недоступном» живым организмам виде. Такие круговороты легко нарушаются от различного рода воздействий, и часть обмениваемого материала выходит из круговорота. Возвратиться опять в круговорот она может лишь в результате геологических процессов или путём извлечения живым веществом. Однако извлечь нужные живым организмам вещества из земной коры гораздо сложнее, чем из атмосферы.

Интенсивность биологического круговорота в первую очередь определяется температурой окружающей среды и количеством воды. Так, например, биологический круговорот интенсивнее протекает во влажных тропических лесах,

чем в тундре. Кроме того, в тундре биологические процессы протекают только в теплое время года.

С появлением человека возник антропогенный круговорот, или обмен, веществ. Антропогенный круговорот — это обмен веществ, движущей силой которого является деятельность человека. В нем можно выделить две составляющие: биологическую, связанную с функционированием человека как живого организма, и техническую, связанную с хозяйственной деятельностью людей (т.е. техногенный круговорот).

Геологический и биологический круговороты в значительной степени замкнуты, чего нельзя сказать об антропогенном круговороте.

Поэтому часто говорят не об антропогенном круговороте, а об антропогенном обмене веществ. Незамкнутость антропогенного круговорота веществ приводит к истощению природных ресурсов и загрязнению природной среды — основным причинам всех экологических проблем человечества.

Процессы, протекающие в экосистеме (число живых организмов, скорость их развития и т.п.), зависят от количества энергии, поступающей в экосистему, и от циркуляции веществ в экосистеме. Биосфера является энергетически незамкнутой системой, в которой идет поглощение энергии из внешней среды.

Непрерывный поток солнечной энергии, воспринимаясь молекулами живых клеток, преобразуется в энергию химических связей. Создаваемые таким образом (например, при фотосинтезе) химические вещества последовательно переходят от одних организмов к другим: от растений к растительноядным животным, от них - к плотоядным животным первого порядка, затем второго и т.д. Этот переход рассматривается как последовательный упорядоченный поток вещества и энергии. Часть потенциальной химической энергии пищи, высвобождаясь, позволяет организму осуществлять свои жизненные функции, и параллельно теряется в виде тепла.

Биогенный круговорот происходит на уровне экосистемы и заключается в том, что питательные вещества почвы, вода, углерод аккумулируются в веществе растений, расходуются на построение тела и жизненные процессы как их самих, так и организмов-консументов. Редуценты разлагают органические вещества до минеральных компонентов, опять-таки доступных растениям и вновь вовлекаемых ими в поток вещества.

Важный принцип функционирования экосистем - получение ресурсов и избавление от отходов происходит в рамках круговорота всех элементов.

Основные элементы: углерод, водород, кислород, азот – необходимы организмам в больших количествах; их называют макроэлементами. Другие используются в относительно незначительных количествах – микроэлементы. Тем не менее все химические элементы циркулируют в биосфере по определенным путям: из внешней среды в организмы и из них опять во внешнюю среду. Эти пути, в большей или меньшей степени замкнутые, называются биогеохимическими циклами.

Рассмотрим круговороты наиболее значимых для живых организмов веществ и элементов.

Круговорот воды между сушей и океаном через атмосферу. Он относится к большому геологическому круговороту. Вода испаряется с поверхности Мирового океана и либо переносится на сушу, где выпадает в виде осадков, которые вновь возвращаются в океан в виде поверхностного и подземного стока, либо выпадает в виде осадков на поверхность океана. Круговорот воды в целом играет основную роль в формировании природных условий на нашей планете. С учетом транспирации воды растениями и поглощения ее в биогеохимическом цикле весь запас воды на Земле распадается и восстанавливается за 2 млн лет.

Круговорот углерода. Углерод, содержащийся в виде  $\text{CO}_2$  в атмосфере служит "сырьем" для фотосинтеза растений. 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. Большая часть углерода, вовлеченного в круговорот, содержится в океанах. 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 исключается из биологического круговорота и поступает в геологический круговорот веществ. Главным резервуаром биологически связанного углерода являются леса, они содержат  $2/3$  его запаса в атмосфере. Вмешательство человека в круговорот углерода (например, сжигание угля, нефти, газа) приводит к возрастанию содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере и развитию парникового эффекта.

Круговорот кислорода. Главным образом круговорот кислорода происходит между атмосферой и живыми организмами. В основном свободный кислород поступает в атмосферу в результате фотосинтеза зеленых растений, а потребляется в процессе дыхания животными, растениями и микроорганизмами и при ми-



нерализации органических остатков. Незначительное количество кислорода образуется из воды и озона под воздействием ультрафиолетовой радиации. Большое количество кислорода расходуется на окислительные процессы в земной коре, при извержении вулканов и т.д. Основная доля кислорода продуцируется растениями суши, остальная часть — фотосинтезирующими организмами Мирового океана.

**Круговорот азота.** Организмы нуждаются в различных химических формах азота для образования белков и генетически важных нуклеиновых кислот типа ДНК. Большинству зеленых растений требуется азот в форме нитрат-ионов и ионов аммония. Газообразный азот, который составляет 78 % объема земной атмосферы, ни растениями, ни людьми, ни большинством других организмов не может быть использован непосредственно. Газообразный азот может преобразовываться в растворимые в воде соединения, содержащие нитрат-ионы и ионы аммония, усваиваемые корнями растений в процессе круговорота азота.

Преобразование атмосферного газообразного азота в усваиваемые растениями химические формы называется фиксацией азота. Осуществляется она, в основном, либо сине-зелеными водорослями и определенными видами бактерий в почве и воде, либо бактериями, обитающими в небольших клубеньках на корнях люцерны, клевера, гороха, фасоли и других бобовых растений.

Особые бактерии-редуценты превращают азотсодержащие органические соединения биологических отходов в неорганические вещества. Другие специальные группы бактерий затем преобразуют эти неорганические формы азота в нитрат-ионы в почве и в газообразный азот, который, попадая в атмосферу, замыкает цикл.

**Круговорот фосфора** Основная масса фосфора содержится в горных породах, образовавшихся в прошлые геологические эпохи. В биогеохимический круговорот фосфор включается в результате процессов выветривания горных пород, растворяется почвенной влагой и поглощается корнями растений. В наземных экосистемах растения извлекают фосфор из почвы и включают его в состав органических соединений или оставляют в неорганической форме. Далее фосфор передается по цепям питания. После отмирания живых организмов и с их выделениями фосфор возвращается в почву. Тем не менее, в большинстве почв содержатся очень незначительные количества фосфора, так как фосфатные соединения очень плохо растворяются в воде и встречаются лишь в определенных типах горных пород. Таким образом, во многих почвах и водных экосистемах содержание фосфора является лимитирующим фактором роста растений.

При неправильном применении фосфорных удобрений, водной и ветровой эрозии почв большие количества фосфора удаляются из почвы. С одной стороны, это приводит к перерасходу фосфорных удобрений и истощению запасов фосфорсодержащих руд (таких как фосфоритов, апатитов и др.). С другой стороны, поступление из почвы в водоемы больших количеств таких биогенных элементов, как фосфор, азот, сера и др., вызывает бурное развитие сине-зеленых водорослей и других водных растений, что способствует эвтрофикации водоемов. Но большая часть фосфора уносится в море.

В водных экосистемах фосфор усваивается фитопланктоном и передается по трофической цепи вплоть до морских птиц. Их экскременты либо сразу попадают назад в море, либо сначала накапливаются на берегу, а затем все равно смываются в море. Из отмирающих морских животных, особенно рыб, фосфор снова попадает в водную среду и, соответственно в круговорот, но часть скелетов рыб достигает больших глубин, и заключенный в них фосфор снова попадает в осадочные породы, то есть выключается из биогеохимического круговорота.

Круговорот серы. Основной резервный фонд серы находится в отложениях и почве, но в отличие от фосфора имеется резервный фонд и в атмосфере. Главная роль в вовлечении серы в биогеохимический круговорот принадлежит микроорганизмам. Одни из них восстановители, другие — окислители. В горных породах сера встречается в виде сульфидов, в растворах — в форме иона, в газообразной фазе в виде сероводорода или сернистого газа. В некоторых организмах сера накапливается в чистом виде (S), и при их отмирании на дне морей образуются залежи самородной серы. В наземных экосистемах сера поступает в растения из почвы в основном в виде сульфатов. После гибели живых организмов часть серы восстанавливается в почве микроорганизмами. Образовавшийся сероводород улетучивается в атмосферу, там окисляется и возвращается в почву с осадками.

Сжигание человеком ископаемого топлива (особенно угля), а также выбросы химической промышленности приводят к накоплению в атмосфере сернистого газа ( $\text{SO}_2$ ), который, реагируя с парами воды, выпадает на землю в виде кислотных дождей.

**1. Николайкин, Н. И., Николайкина Н. Е., Мелехова О. П. Экология.- 3-е изд. перераб. и доп.- М.: Дрофа, 2004.- 624с.**

**2. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Экология. Человек – Экономика – Биота – Среда: Учебник для студентов вузов / 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: ЮНИТИ. – 2009. – 556 с**



**3. Стадницкий Г.В. Экология: Учебник для вузов, 9-е изд., перераб.  
и доп. – СПб: Химиздат, 2007**