МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра химии и инженерной экологии в строительстве

КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ В БИОСФЕРЕ

Методические указания к выполнению
практической работы по дисциплине «Экология»
для студентов очной формы обучения

Казань 2019

УДК 504

ББК 20.1

Ш -25

Ш - 25 Круговорот веществ в биосфере. Методические указания к выполнению практической работы по дисциплине «Экология» для очной и заочной форм обучения /Сост.: А.В.Шарафутдинова, В.Ю.Осипова, Казань: КГАСУ, 2019. - 24с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В методическом указании представлены биогеохимическими круговороты веществ в биосфере и методика расчета с заданиями для проведения практических занятий со студентами по оценке процессами накопления веществ в каждой компоненте экосистемы.

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент КГАСУ
Д.М.Нуриева

© Казанского государственного архитектурно
-строительного университет, 2019
© Шарафутдинова А.В., Осипова В.Ю., 2019

КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ В БИОСФЕРЕ

Цель: Практическое ознакомление с биогеохимическими круговоротами и процессами накопления веществ в каждой компоненте экосистемы.

Задачи:1) Ознакомиться с круговоротами основных веществ.

2) Рассмотреть процесс накопления веществ в экосистеме на примере азота.

Общие положения

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 (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 (большой круговорот веществ в природе) - круговорот веществ, движущей силой которого являются экзогенные и эндогенные геологические процессы.

Эндогенные процессы (процессы внутренней динамики) происходят под влиянием внутренней энергии Земли. Это энергия, выделяющаяся в результате радиоактивного распада, химических реакций образования минералов, кристаллизации горных пород и т.д. К эндогенным процессам относятся: тектонические движения, землетрясения, магматизм, метаморфизм.

Экзогенные процессы (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 (рек, временных водотоков, подземных вод, морей и океанов, озер и болот, льда), а также живых организмов и человека.

Крупнейшие формы рельефа (материки и океанические впадины) и крупные формы (горы и равнины) образовались за счет эндогенных процессов, а средние и мелкие формы рельефа (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.

Магматические горные породы в результате выветривания преобразуются в осадочные. В подвижных зонах земной коры они погружаются вглубь Земли. Там под влиянием высоких температур и давлений они переплавляются и образуют магму, которая, поднимаясь на поверхность и застывая, образует магматические породы.

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

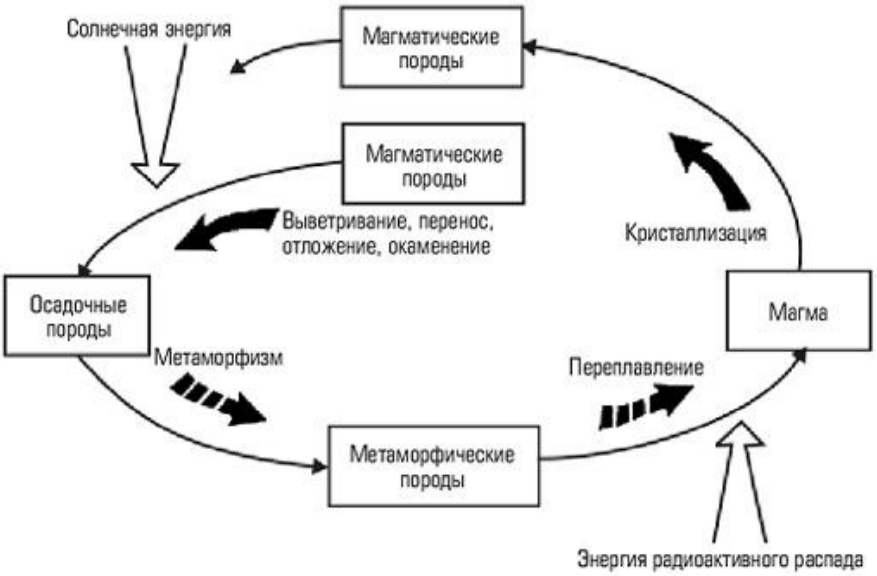


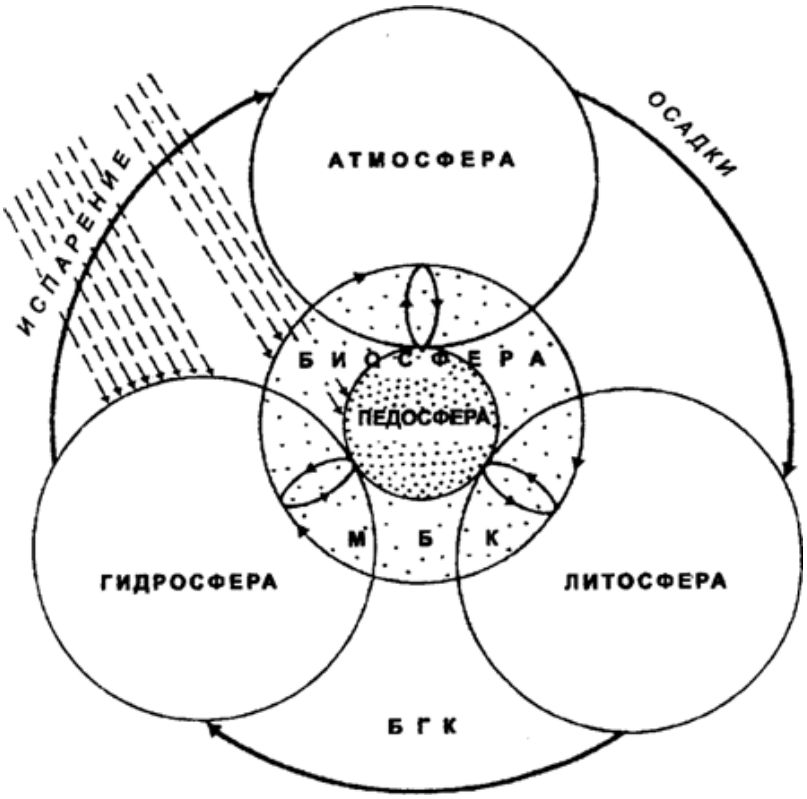
Рис. 1. Большой (геологический) круговорот веществ (тонкие стрелки) и изменение разнообразия в земной коре (сплошные широкие стрелки - рост, прерывистые - уменьшение разнообразия)

Большим круговоротом называется и круговорот воды между гидросферой, атмосферой и литосферой, который движется энергией Солнца. Вода испаряется с поверхности водоемов и суши и затем вновь поступает на Землю в виде осадков. Над океаном испарение превышает осадки, над сушей наоборот. Эти различия компенсируют речные стоки. В глобальном круговороте воды немаловажную роль играет растительность суши. Транспирация растений на отдельных участках земной поверхности может составить до 80-90% выпадающих здесь осадков, а в среднем по всем климатическим поясам - около 30%. В отличие от большого малый круговорот веществ происходит лишь в пределах биосферы. Взаимосвязь большого и малого круговорота воды показана на рис. 4.

Круговороты планетарного масштаба создаются из бесчисленных локальных циклических перемещений атомов, движимых жизнедеятельностью организмов в отдельных экосистемах, и тех перемещений, которые вызваны действием ландшафтных и геологических причин (поверхностный и подземный сток, ветровая эрозия, движение морского дна, вулканизм, горообразование и т.п.).

В отличие от энергии, которая однажды использована организмом, превращается в тепло и теряется, вещества в биосфере циркулируют, создавая биогеохимические круговороты. Из девяноста с лишним элементов, встречающихся в природе, живым организмам нужно около сорока. Наиболее важные для них требуются в больших количествах — углерод, водород, кислород, азот. Круговороты элементов и веществ осуществляются за счет саморегулирующих процессов, в которых участвуют все составные части экосистем. Эти процессы являются безотходными. Существует **закон глобального замыкания биогеохимического круговорота в биосфере**, действующий на всех этапах ее развития. В процессе эволюции биосферы увеличивается роль биологического компонента в замыкании биогеохимического круговорота. Еще большее влияние на биогеохимический круговорот оказывает Человек. Но его роль проявляется в противоположном направлении (круговороты становятся незамкнутыми). Основу биогеохимического круговорота веществ составляют энергия Солнца и хлорофилл зеленых

растений. Другие наиболее важные круговороты - воды, углерода, азота, фосфора и серы - связаны с биогеохимическим и способствуют ему.



вымывание

Рис. 2. Взаимосвязь большого геологического круговорота (БГК) воды с малым биогеохимическим круговоротом (МБК) воды

Круговорот воды в биосфере

Круговорот воды относится к большому геологическому. Влага испарившись с поверхности океана конденсируется в атмосфере и в виде осадков выпадает на сушу или обратно в океан. При попадании на сушу она возвращается в океан в виде поверхностного и подземного стоков.

Его главная функция: формирование природных условий на нашей планете.

Растения используют водород воды при фотосинтезе в построении органических соединений, выделяя молекулярный кислород. В процессах дыхания всех живых существ, при окислении органических соединений вода образуется вновь. В истории жизни вся свободная вода гидросферы многократно прошла циклы разложения и новообразования в живом веществе планеты. В круговорот воды на Земле ежегодно вовлекается около 500 000 км^3 воды. С учетом транспирации воды растениями и

поглощения ее в биогеохимическом цикле, весь запас воды на Земле распадается и восстанавливается за 2 млн. лет.

Биологический (биогеохимический) круговорот (малый круговорот веществ в биосфере) - 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 или после гибели организмов (как автотрофов, так и гетеротрофов) органические вещества подвергаются минерализации, то есть превращению в неорганические вещества. Эти неорганические вещества могут быть вновь использованы для синтеза автотрофами органических веществ.

В биогеохимических круговоротах следует различать две части:

1) *резервный фонд* - это часть вещества, не связанная с живым организмами;

2) *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: 1) круговороты газового типа с резервным фондом веществ в атмосфере и гидросфере (круговороты углерода, кислорода, азота) представлены на рисунках 3, 4,5.

2) круговороты осадочного типа с резервным фондом в земной коре (круговороты фосфора, кальция, железа и др.) представлены на рисунках 6, 7.

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 он может лишь в результате геологических процессов или путем извлечения живым веществом. Однако извлечь нужные живым организмам вещества из земной коры гораздо сложнее, чем из атмосферы.

Круговорот кислорода в биосфере.Своей уникальной атмосферой с высоким содержанием свободного кислорода Земля обязана процессу фотосинтеза. С круговоротом кислорода тесно связано образование озона в высоких слоях атмосферы. Кислород освобождается из молекул воды и является по сути побочным продуктом фотосинтетической активности растений. Абиотическим путем основные потоки поступления и расхода кислорода

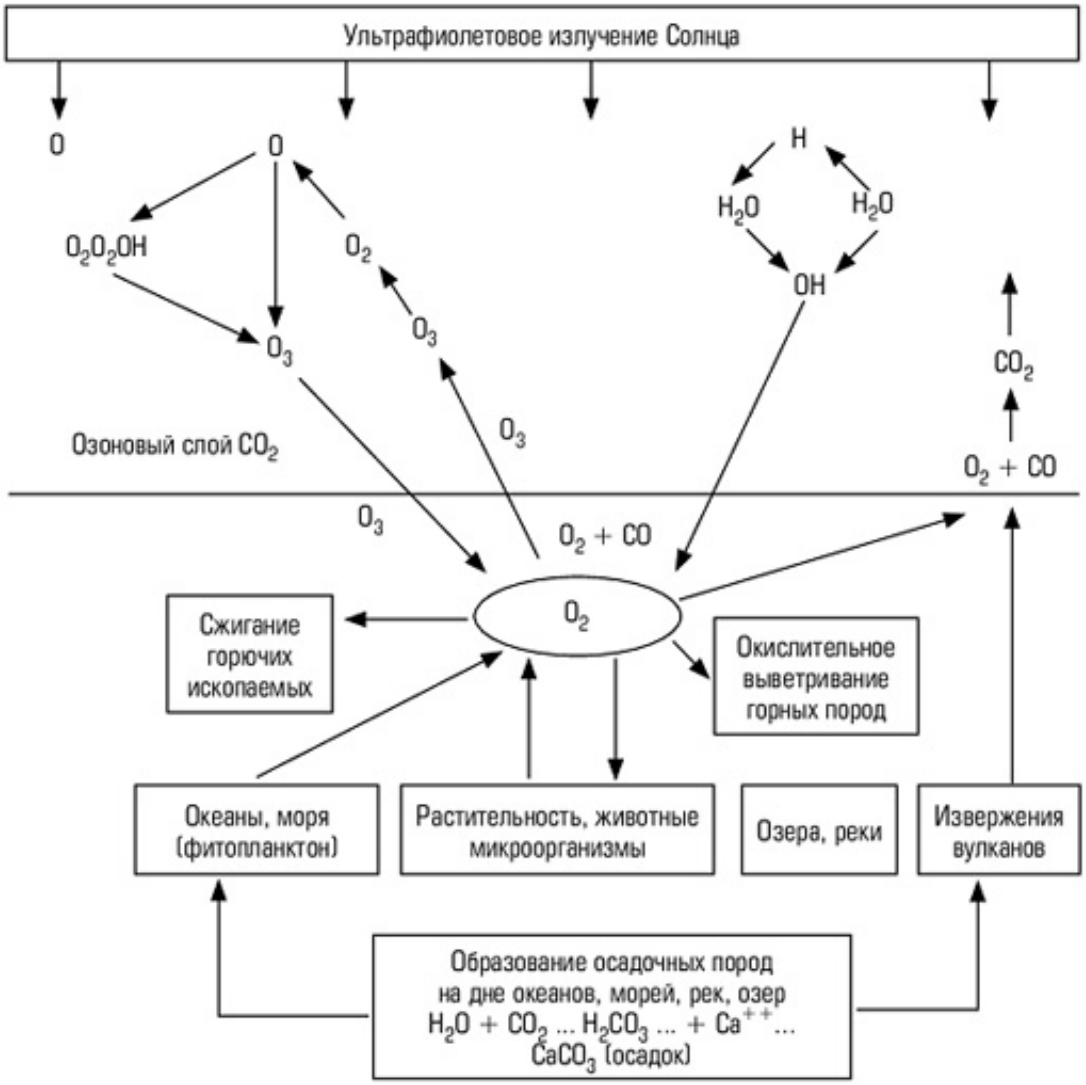


Рис. 3. Схема круговорота кислорода

Полужирные стрелки - кислород возникает в верхних слоях атмосферы за счет фотодиссоциации паров воды, но этот источник составляет лишь тысячные доли процента от поставляемых фотосинтезом. Между содержанием кислорода в атмосфере и гидросфере существует подвижное равновесие. В воде его примерно в 21 раз меньше.

Выделившийся кислород интенсивно расходуется на процессы дыхания всех аэробных организмов и на окисление разнообразных минеральных соединений. Эти процессы происходят в атмосфере, почве, воде, илах и горных породах. Показано, что значительная часть кислорода, связанного в осадочных породах, имеет фотосинтетическое происхождение. Обменный фонд О, в атмосфере составляет не более 5% общей продукции фотосинтеза. Многие анаэробные бактерии также окисляют органические вещества в процессе анаэробного дыхания, используя для этого сульфаты или нитраты.

На полное разложение органического вещества, создаваемого растениями, требуется точно такое же количество кислорода, которое выделилось при фотосинтезе. Захоронение органики в осадочных породах, углях, торфах послужило основой поддержания обменного фонда кислорода в атмосфере. Весь имеющийся в ней кислород проходит полный цикл через живые организмы примерно за 2000 лет.

В настоящее время значительная часть кислорода атмосферы связывается в результате работы транспорта, промышленности и других форм антропогенной деятельности. Известно, что человечество тратит уже более 10 млрд. т свободного кислорода из общего его количества в 430-470 млрд. т, поставляемого процессами фотосинтеза. Если учесть, что в обменный фонд поступает лишь небольшая часть фотосинтетического кислорода, деятельность людей в этом отношении начинает приобретать угрожающие масштабы.

Круговорот кислорода теснейшим образом сопряжен с углеродным циклом.

Круговорот азота. Охватывает все области биосферы. Запасы азота в атмосфере неисчерпаемы (78%), но поглощение его растениями ограниченно, т.к. они усваивают азот только в форме соединений с углеродом и кислородом. Усваивать азот из воздуха могут

азотофиксирующие клубеньковые бактерии, являющиеся симбионтами бобовых культур и обитающие в клубеньках на корнях последних.

Редуценты (деструкторы) – почвенные бактерии – постепенно разлагают белковые вещества отмерших организмов и превращают их в аммонийные соединения, нитраты и нитриты. Часть нитратов попадает в процессе круговорота в подземные воды, загрязняя их. Азот в форме нитратов и нитритов может усваиваться растениями и передаваться по пищевым цепям.

Азот возвращается в атмосферу вместе с газами, выделяемыми при гниении.

Роль бактерий в цикле азота такова, что по мнению некоторых ученых, если будет уничтожено 12 видов бактерий, участвующих в превращениях азота, жизнь на Земле прекратится.

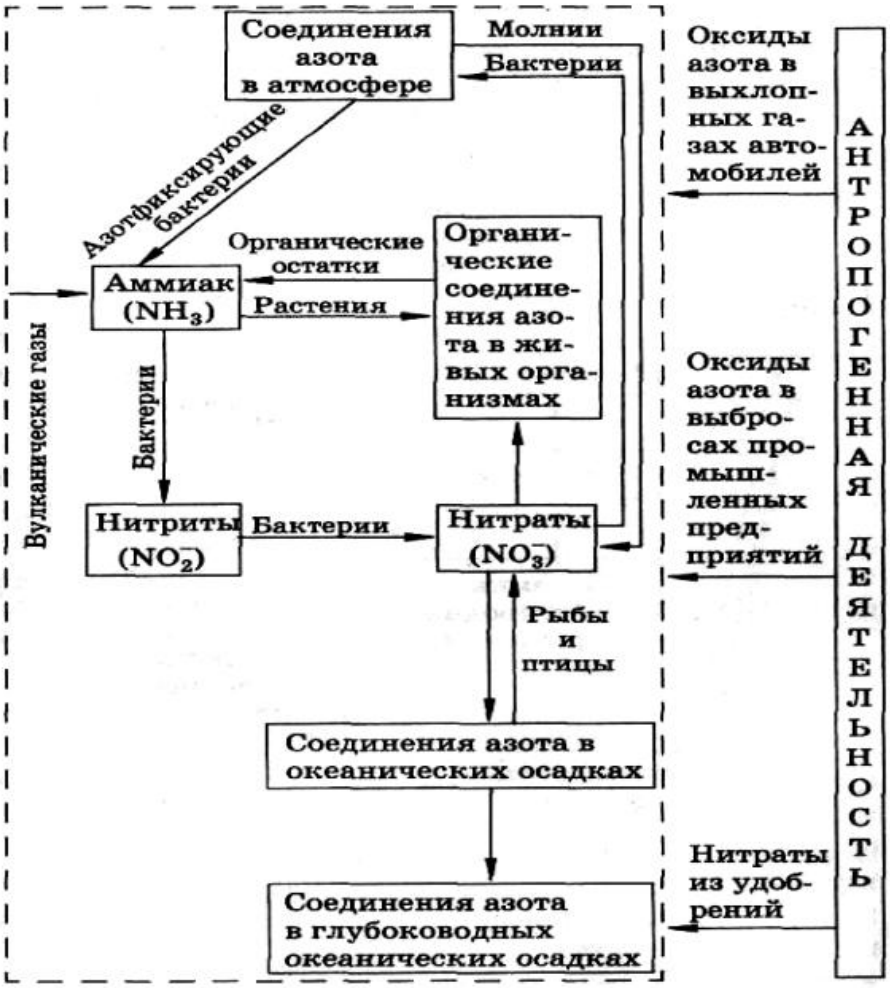


Рисунок 4 - Круговорот азота в биосфере

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.

А круговороты биогенных элементов (углерода, кислорода, азота, фосфора, серы и других биогенных элементов) - к малому биогеохимическому.

Круговорот углерода. В круговороте углерода, точнее, наиболее подвижной его формы – углекислого газа – четко прослеживается его перемещение по трофическим цепям: продуценты, улавливающие углерод в составе углекислого газа при фотосинтезе, консументы – поглощающие углерод в составе органических веществ, составляющих тела продуцентов и консументов более низших порядков, редуцентов – возвращающих углерод вновь в круговорот.

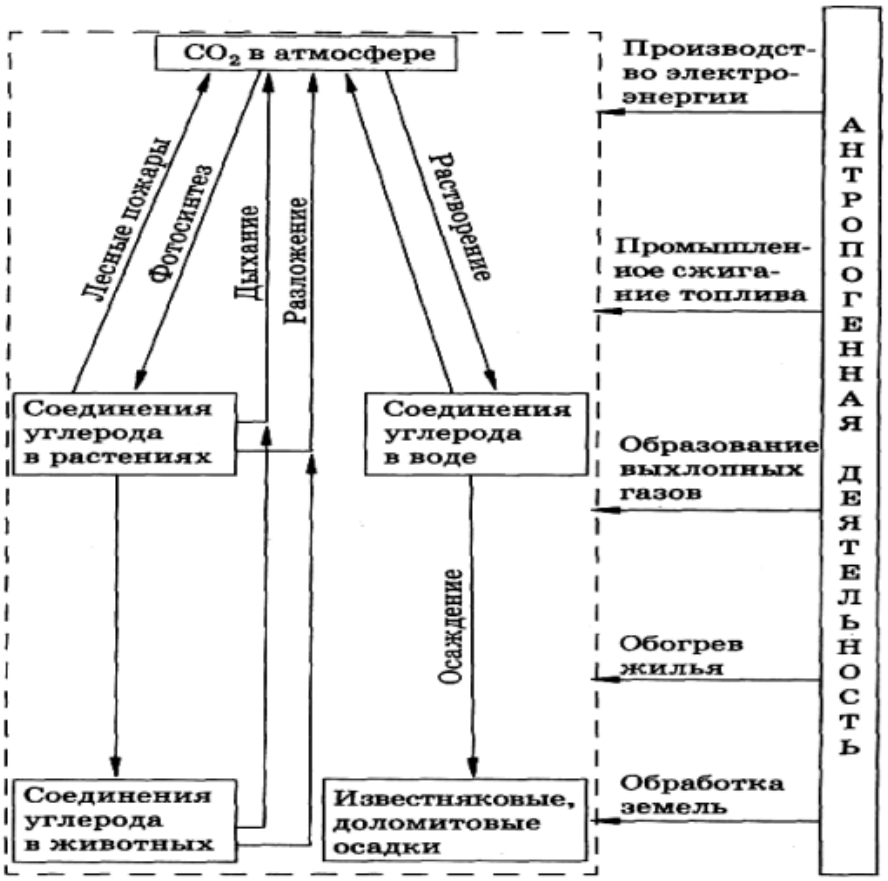


Рисунок 5 - Круговорот углерода в биосфере

Скорость оборота углекислого газа – порядка 300 лет.

В мировом океане трофическая цепь: продуценты (фитопланктон) – консументы (зоопланктон, рыбы) – редуценты (микроорганизмы) – осложняется тем, что некоторая часть углерода мертвого организма, опускаясь на дно, «уходит» в осадочные породы и участвует уже не в биологическом, а в геологическом круговороте вещества.

Главным резервуаром биологически связанного углерода являются леса (содержат до 500 млрд т), что составляет 2/3 его запаса в атмосфере. Вмешательство человека в круговорот углерода приводит к возрастанию содержания углекислого газа в атмосфере.

Круговорот фосфора. Не менее важны кругообороты серы и фосфора, но они менее совершенны, т.к. основная масса данных элементов содержится в резервном фонде земной коры, в недоступном фонде. Это типичные осадочные биогеохимические циклы. Такие циклы очень зависимы от внешних воздействий и легко нарушаются, поскольку часть вещества выводится из круговорота. Возврат веществ в круговорот возможен только в результате геологических процессов или путем извлечения живым веществом биофильных компонентов.

Фосфор содержится в горных породах, образовавшихся в прошлые геологические эпохи. В биогеохимический круговорот он может попасть в случае подъема этих пород из глубины земной коры на поверхность земли в зону выветривания. Эрозионными процессами он выносится в море в виде апатита.

Общий круговорот фосфора можно подразделить на две часть: водную и наземную.

В водных экосистемах он усваивается планктоном и передается по трофической цепи до консументов 3-го порядка – морских птиц. Их экскременты (гуано) вновь попадают в море и вступают в круговорот или накапливаются на берегу и затем смываются в море с осадками. Из отмирающих животных фосфор частично попадает по трофическим цепям в круговорот, а частично скелеты достигают больших глубин и заключенный в них фосфор снова попадает в осадочные породы.

В наземных экосистемах фосфор извлекается из почвы растениями и далее распространяется по трофической цепи. В почву он возвращается

или с экскрементами или после отмирания животных. Теряется фосфор из почв в результате водной эрозии. Повышенное содержание фосфора в водных путях вызывает бурное увеличение биомассы водных растений, «цветение» водоемов, их эвтрофикацию. Большая часть фосфора уносится в море и там осаждается, выводясь из круговорота на долгие годы.

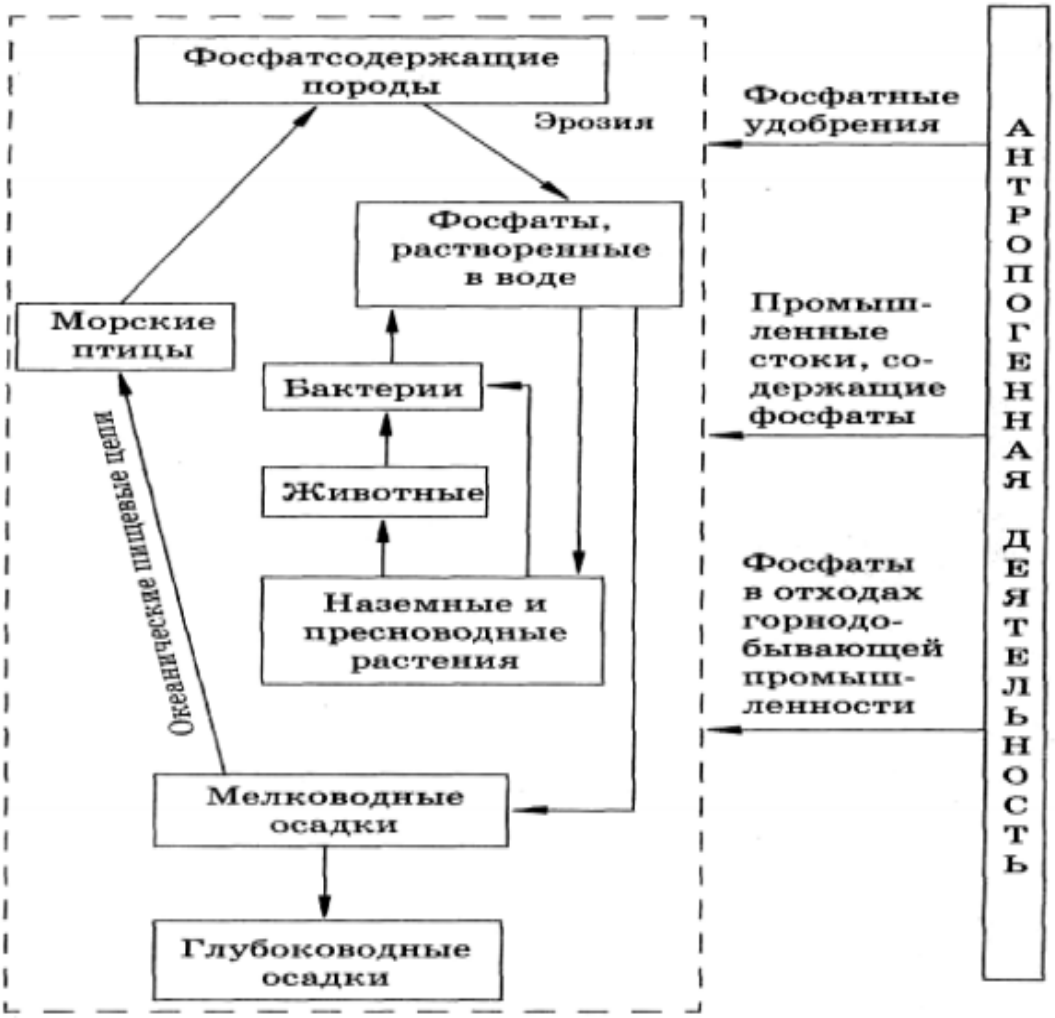


Рисунок 6 - Круговорот фосфора в биосфере

Круговорот серы. *Сера* также имеет основной резервный фонд в отложениях и почве, но в отличие от фосфора у нее есть резервный фонд и в атмосфере. В обменном фонде преобразования серы идут в процессе жизнедеятельности организмов, одни из которых являются окислителями, другие восстановителями.

В горных породах сера встречается в виде сульфидов(FeS_2 и др.), в растворах в виде иона (SO_4^{2-}), в газообразной фазе в виде сероводорода

сера накапливается в чистом виде (S2) и при их отмирании на дне морей образуются залежи чистой самородной серы.

В морской среде сульфат - ионы являются основной доступной формой серы, которая восстанавливается автотрофами и включается в состав аминокислот.

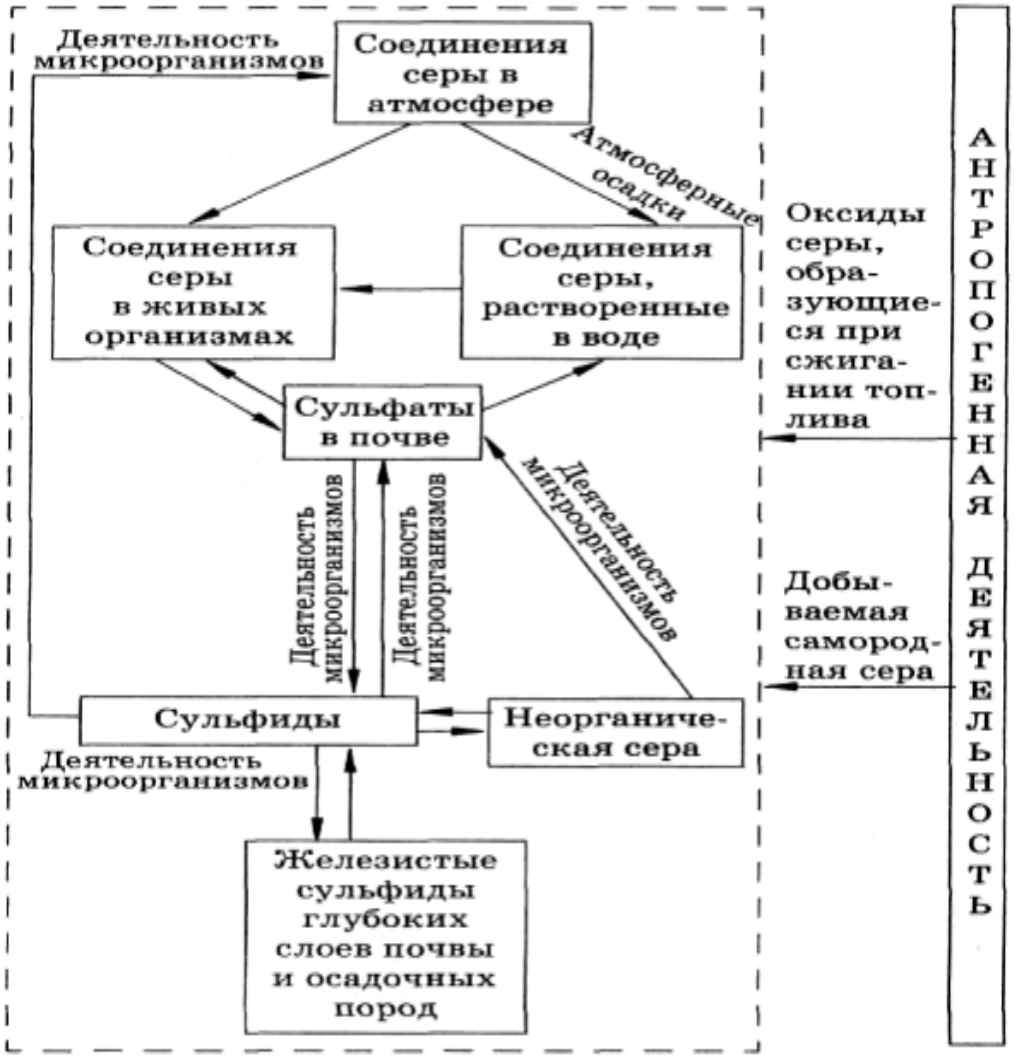


Рисунок 7 - Круговорот серы в биосфере

В наземных экосистемах сера возвращается в почву при отмирании растений, захватывается микроорганизмами, которые восстанавливают ее до сероводорода. Другие микроорганизмы и воздействие самого кислорода приводят к окислению этих продуктов. Образовавшиеся сульфаты растворяются и поглощаются растениями из поровых растворов почвы – так продолжается круговорот.

Круговорот серы может быть нарушен вмешательством человека. Виной тому – сжигание ископаемого топлива – угля. Сернистый газ (SO2) нарушает процессы фотосинтеза и приводит к гибели растительности.

Биогеохимические циклы легко нарушаются человеком. В процессе добычи и использования полезных ископаемых, загрязнения природных вод в результате хозяйственной деятельности люди воздействуют на круговороты превращая их из циклических в ациклические. Охрана природных ресурсов должна быть, в частности направлена на то, чтобы сохранить цикличность биогеохимических процессов. Это необходимое условие поддержания гомеостаза планеты.

С появлением человека возник антропогенный круговорот или обмен веществ. Антропогенный круговорот (обмен) - круговорот (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 (антропогенный 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, загрязнению природной среды. Именно они и являются основной причиной всех экологических проблем человечества.

СКОРОСТЬ КРУГОВОРОТА ВЕЩЕСТВ

Все круговороты веществ происходят с различной скоростью (рис.8) разных частей биосферы. Они формируются деятельностью разных по функциям групп организмов, системой стока и испарения, связывающих океан и сушу, процессами циркуляции вод и воздушных масс, действием сил гравитации, тектоникой литосферных плит и другими масштабными геологическими и геофизическими процессами.

Биосфера действует как единая сложная система, в которой происходят различные круговороты веществ. *Главным двигателем этих*

круговоротов является живое вещество планеты, все живые организмы, обеспечивающие процессы синтеза, трансформации и разложения органического вещества.

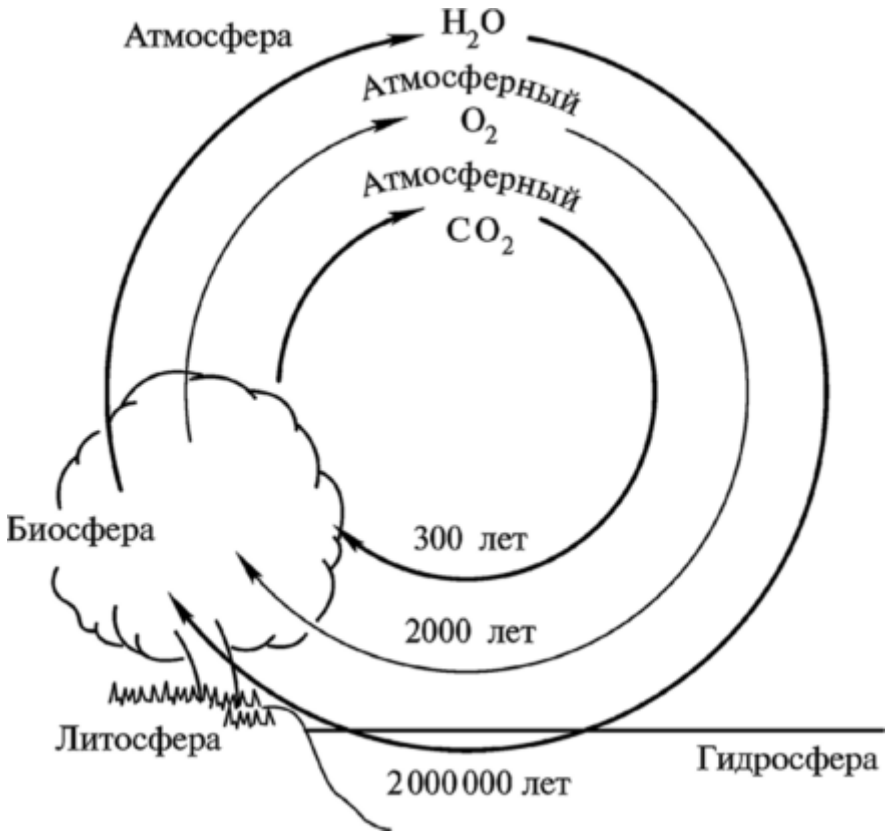


Рис. 8. Темпы циркуляции веществ (П. Клауд, А. Джибор, 1972)

Задание 1. Ознакомиться со схемой круговорота кислорода, азота, углерода, фосфора и заполнить таблицу 1.

Таблица 1

Основные черты биологических циклов химических элементов

Черты биологического круговорота	Углерод	Азот	Фосфор	Кислород	Сера
1.Форма существования эле мента в неорганической среде.					
2.Форма элемента, вовлекаю щаяся в биологический круго					

ворот.					
3. Организмы, участвующие в вовлечении элемента в биологический круговорот.					
4.Степень совершенства (замкнутости) биологического цикла элемента.					
5.Реакции превращения элемента внутри биологического круговорота.					
6. Какие организмы принимают участие в таких превращениях.					
7. Процесс, благодаря которому элемент возвращается в неорганическую среду.					
8. Организмы, участвующие в процессе выхода элемента из биологического круговорота.					

Задание 2. Задана экосистема пихтового леса, которая состоит из нескольких компонентов, таких как надземная часть, корни, микориза, лесная подстилка, грибы, органические вещества почвы. Необходимо рассчитать:

1) Максимальное количество азота, накопленное каждой компонентой экосистемы, и определить в какой из них он содержится в максимальном количестве;

2) Определить количество азота, проходящее (массоперенос) через каждую компоненту экосистемы пихтового леса.

Исходные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2

№ варианта	Компоненты экосистемы	Биомасса, кг/га	Массоперенос, кг/га	Содержание азота, %
1	Надземные части	260000	3200	0,16
	Корни	49000	0	0,08
	Микориза	25000	14600	0,62
	Лесная подстилка	19000	3000	0,47
	Грибы	23000	9200	0,80

	Органические вещества почвы	450000	-	1,70
2	Надземные части	200000	2800	0,14
	Корни	42000	0	0,07
	Микориза	22000	14100	0,60
	Лесная подстилка	17000	2800	0,41
	Грибы	21000	9000	0,78
	Органические вещества почвы	400000	-	1,60
3	Надземные части	230000	3000	0,15
	Корни	45000	0	0,08
	Микориза	24000	14500	0,61
	Лесная подстилка	18000	3000	0,44
	Грибы	22000	9100	0,80
	Органические вещества почвы	430000	-	1,65
4	Надземные части	280000	3300	0,17
	Корни	51000	0	0,10
	Микориза	28000	14900	0,60
	Лесная подстилка	22000	3200	0,47
	Грибы	25000	9400	0,80
	Органические вещества почвы	480000	-	1,60
5	Надземные части	300000	3400	0,16
	Корни	52000	0	0,08
	Микориза	28000	15200	0,62
	Лесная подстилка	22000	3300	0,49
	Грибы	26000	9600	0,80
	Органические вещества почвы	500000	-	1,80
6	Надземные части	260000	3200	0,16
	Корни	49000	0	0,08
	Микориза	25000	14600	0,62
	Лесная подстилка	20000	2500	0,41
	Грибы	21000	9000	0,85
	Органические вещества почвы	450000	-	1,70
7	Надземные части	160000	2200	0,15
	Корни	39000	0	0,08
	Микориза	15000	13600	0,59
	Лесная подстилка	11000	2000	0,41

	Грибы	13000	7200	0,70
	Органические вещества почвы	350000	-	1,70
8	Надземные части	200000	3000	0,16
	Корни	42000	0	0,07
	Микориза	21000	14100	0,62
	Лесная подстилка	13000	2000	0,47
	Грибы	20000	8200	0,80
	Органические вещества почвы	410000	-	1,50
9	Надземные части	290000	37300	0,18
	Корни	49000	0	0,18
	Микориза	27000	15600	0,69
	Лесная подстилка	29000	3800	0,57
	Грибы	28000	9700	0,80
	Органические вещества почвы	490000	-	1,70
10	Надземные части	260000	3200	0,16
	Корни	47000	0	0,07
	Микориза	25000	14600	0,62
	Лесная подстилка	19000	3000	0,47
	Грибы	23000	9200	0,80
	Органические вещества почвы	410000	-	1,60

Решение задания

Способностью фиксировать азот обладают лишь небольшое число видов бактерий. В связи с этим многие экосистемы характеризуются низкой суммарной скоростью усвоения азота. Поэтому для большинства экосистем важную роль играет высвобождение азота после гибели организмов и деградации образующихся органических соединений.

Величина накопления (ретенции) азота компонентами экосистемы определяется по формуле:

$$P=M*N/100,$$

где

P – накопление азота, кг/га;

M – биомасса компонентов экосистемы, кг/га;

N – содержание азота в компонентах экосистемы, %.

$$F=L*N/100,$$

где

F – массоперенос азота, кг/га;

L – величина переносимых биомасс (массоперенос), кг/га;

N – содержание азота в компонентах экосистемы, %.

Полученные результаты занести в таблицу 3.

Таблица 3

№ п/п	Компоненты экосистемы	Ретенция азота, кг/га	Массоперенос азота, кг/га
1	Надземные части		
2	Корни		
3	Микориза		
4	Лесная подстилка		
5	Грибы		
6	Органические вещества почвы		

Контрольные вопросы для семинара

1. Схема круговорота кислорода.
2. Схема круговорота азота.
3. Схема круговорота углерода.
4. Схема круговорота фосфора.
5. Биосфера – глобальная экосистема Земли.
6. Состав и границы биосферы.
7. Круговорот веществ в природе.

Список используемой литературы

1. Потапов А.Д. Экология: - М.: Высшая школа, 2000. – 446 с.: ил.

2. Потапов А.Д. Экология: - 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 2004. – 528 с.: ил.

3. Шилов И.А. Экология. – М.: Высшая школа, 1998. – 512 с.: ил.

4. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. – Ростов н/Д: изд-во «Феникс», 2003. – 576 с.

КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ В БИОСФЕРЕ

Методические указания к выполнению
практической работы по дисциплине «Экология»
для студентов очной и заочной форм обучения

Составители: ШАРАФУТДИНОВА Анастасия Валерьевна
ОСИПОВА Венера Юсуповна

Редакция и корректура авторов

Редакционно-издательский отдел
Казанского государственного архитектурно-строительного
университета

Подписано в печать Формат
60x84/16

Заказ Печать ризографическая Усл.печ.л. 2
Тираж 30 экз. Бумага офсетная № 1 Уч.-изд.л. 2

Печатно-множительный отдел КГАСУ
420043, Казань, ул.Зеленая, 1