

**ГБОУ ВПО  
Первый Московский государственный медицинский  
университет им. И.М.Сеченова**

**кафедра биологии и общей генетики**

**Дисциплина по выбору  
«Медико-биологические основы экологии»**

**Методические материалы по модулю №5  
«Круговороты веществ»**

**Содержание:**

**5. 1.Текстовая часть (см. Приложение 5.1)**

**Оглавление**

5.1.1	Понятие круговоротов веществ. Их классификация и основные составляющие	стр.3
5.1.2.	Типы круговоротов веществ по содержанию резервного фонда	стр.4
5.1.3	Механизм функционирования круговорота углерода. Влияние человека	стр.6
2.1.4.	Круговорот кислорода. Влияние человека.	стр.10
2.1.5.	Круговорот азота. Влияние человека	стр.12
2.1.6.	Круговорот фосфора. Влияния человека.	стр.19
2.1.7.	Круговорот биогенных катионов	стр.18
<b>5.2.</b>	<b>Вопросы для самоконтроля (см. Приложение 5.2.)</b>	стр.19
<b>5.3.</b>	<b>Тестовые задания (см. Приложение 5.3).</b>	стр.19
<b>5.4.</b>	<b>Темы рефератов (см. Приложение 5.4)</b>	стр.20
<b>5.5.</b>	<b>Список литературы (см. Приложение 5.5)</b>	стр.20

# 1. Приложение 5.1

## Текстовая часть Модуля 5 «Круговороты веществ»

### Оглавление

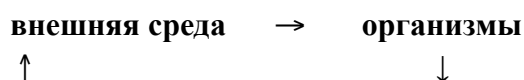
5.1.1	Понятие круговоротов веществ. Их классификация и основные составляющие	стр.3
5.1.2.	Типы круговоротов веществ по содержанию резервного фонда	стр.4
5.1.3	Механизм функционирования круговорота углерода. Влияние человека	стр.6
2.1.4.	Круговорот кислорода. Влияние человека.	стр.10
2.1.5.	Круговорот азота. Влияние человека	стр.12
2.1.6.	Круговорот фосфора. Влияния человека.	стр.19
2.1.7.	Круговорот биогенных катионов	стр.18

# 2. Приложение 5.1

## Текстовая часть Модуля 5 «Круговороты веществ»

### 5.1.1. Понятие круговоротов веществ. Их классификация и основные составляющие.

Химические элементы циркулируют в биосфере посредством биогеохимических круговоротов (циклов):



Их механизмы изучает наука *биогеохимия*, созданная В.И.Вернадским. Содержание важнейших биогенных веществ в разных средах биосферы показано в таб. 5.1.1.

Стабильность круговоротов веществ является важнейшим условием стабильного функционирования биосферы. Без знания механизмов круговоротов невозможно понять законы и принципы функционирования биосферы.

Различают два типа круговоротов веществ:

1. *Глобальные (геологические)* - происходящие в масштабах всей биосферы: состоят в выделении подвижных форм веществ из толщи земной коры с последующим обратным поступлением в неё.
2. *Малые биологические* (почвенные) круговороты - заключаются в циркуляции веществ между почвой или водной средой и телами живых организмов.

Биологические круговороты веществ являются составными частями их глобальных круговоротов.

Показателем интенсивности биологических круговоротов является отношение массы имеющегося в экосистеме мёртвого органического вещества (лесной подстилки, степного войлока) к величине её ежегодного поступления в экосистему - *годового опада*. Чем быстрее идёт разложение органического вещества, тем меньше величина этого коэффициента.

$$K_0 = \frac{\text{мертвое органическое вещество}}{\text{масса опада}}$$

Наибольшие величины индекса характерны для северных экосистем - тундры, северной тайги - 50 - 20, в листопадных лесах умеренного пояса он составляет 5 - 2, в степях и саваннах 2 - 1, в пустынях и тропических лесах - менее 1.

В круговоротах всех веществ различают две составляющие:

- *Резервный фонд* - основная масса медленно движущихся веществ, преимущественно абиогенной природы.
- *Подвижный* или *обменный фонд* - значительно меньший по объему, но гораздо более активный, для него характерно быстрое движение веществ между организмами и их окружением.

### 5.1.2. Типы круговоротов веществ по нахождению резервного фонда

В зависимости от места нахождения резервных фондов, круговороты всех веществ подразделяют на:

1. **Круговороты газообразных веществ**, резервный фонд которых находится в атмосфере или гидросфере - круговороты углерода, азота, кислорода.
2. **Осадочные циклы** с резервным фондом в земной коре - круговороты фосфора, кальция, железа и другие. Общая схема осадочных циклов показана на рис.

Примером активной связи по обмену элементами между всеми средами биосферы: атмосферой, гидросферой и литосферой является круговорот серы, которая активно циркулирует как в каждой из этих сред, так и между ними.

Наиболее устойчивыми, стабильными круговоротами являются круговороты газообразных веществ, имеющие легкодоступные резервные фонды в атмосфере. Благодаря им эти круговороты способны быстро компенсировать внешние воздействия, в частности, антропогенные. Примером является круговорот углерода, который успешно нейтрализует огромные количества  $\text{CO}_2$ , вводимые в него человеком.

В то же время осадочные циклы, например, фосфора и железа, нарушаются гораздо легче, поскольку основная масса их вещества находится в малоподвижном и малодоступном резервном фонде - земной коре. Выход этих веществ из резервного фонда происходит гораздо труднее и медленнее, чем вход в него и поэтому способность к ликвидации внешних воздействий в осадочных циклах гораздо меньше.

Однако даже в случае самой хорошей "забуференности" биогеохимических круговоротов она имеет свои пределы. И в настоящее время многие эти пределы начинают нарушаться человеком.

Человек как биологический вид уникален тем, что в процессе производства материальных благ он использует намного больше веществ, чем нужно ему как биологическому виду - человек имеет чрезвычайно ресурсоёмкие "вторичные потребности". В связи с этим человек значительно ускоряет, а в ряде случаев и смещает ход естественных биогеохимических круговоротов. Для человеческой деятельности характерно и то, что он вводит в круговороты множество новых, искусственно созданных веществ, на многие из которых не действуют имеющиеся в природе разлагающие механизмы.

По этой причине круговороты некоторых веществ в ряде регионов становятся несовершенными, незамкнутыми и, таким образом, создаются избытки этих веществ, образующие **загрязнения**).

Так, чрезмерное применение минеральных удобрений приводит к неполному усвоению их растениями, а следовательно, к их накоплению в почве, продуктах сельского хозяйства, водоемах, эвтрофикации водоёмов, загрязнению атмосферы и другим неблагоприятным следствиям.

В глобальном масштабе усилия по охране биосферы в конечном счете должны быть направлены на сохранение цикличности, нормального хода биогеохимических круговоротов. Для этого необходимо знать все их тонкости, все "слабые места", которые может нарушить человек.

По поводу количественных оценок составляющих глобальных круговоротов химических элементов имеются многочисленные, сильно различающиеся данные. Для избежания несоответствий в данной главе намеренно использован один источник - пособие В.В.Добровольского "Основы биогеохимии "(1998).

Таб. 5.1.2. Распределение масс химических элементов в биосфере (по В.В. Добровольскому, 1998. )

Резервуар в биосфере	Масса элементов $1 \cdot 10^9$ тонн				
	C	S	N	Cl	P
<b>Атмосфера</b>	668	0,0014	3 870 000		
<b>Мировая суша</b> биомасса растений	900	8,5	25	5,0	5,0
<b>Почва</b>					
лесные подстилки	100				
торф	250				
гумус почв	1200				
в сумме	1550	15,5	110	0,3	4,7
<b>Океан</b>					
биомасса фотосинтетиков	1,7	0,06	0,20	0,03	0,04
- консументов	2,3	0,09	0,32		
растворённое и взвешенное органическое в-во.	2100		300		
растворённые неорганич. ионы (общее )		1 200 000		26 500000	15
- гидрокарбонаты	38539				
- NO <sub>3</sub>			658		
газообразный N <sub>2</sub>			20 000		
<b>Земная кора</b>					
Осадочная оболочка			600 000	6 500 000	1 311 000
С органический	15 млн.				
С карбонатный	81 млн.				

S сульфидная		4 100 000			
S сульфатная		5 200 000			
Г р а н и т н ы й      с л о й континентального блока			165 000	1 700 000	6 330 000
C органический	4 млн.				
C карбонатный	18 млн.				
S сульфидная		5 300 000			
S сульфатная		3 300 000			

### 5.1.3. Круговорот углерода. Значение для биосферы.

#### Влияния человека

Углерод является важнейшим элементом биосферы - он составляет основу всех органических веществ.

Углерод находится в биосфере в трех основных формах:

- в виде гидрокарбонатов и карбонатов;
- в виде живого и мертвого органического вещества;
- в газообразном - в виде углекислого газа  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  и других.

Полное распределение масс углерода в средах биосферы представлено в таб 5.1.3.

Таб. 5.1.3. Миграция углерода в биосфере (по В.В.Добровольскому,1988)

Процессы массообмена	Масса С $1 \cdot 10^9$ т/год
<b>Мировая суша</b>	
Биологический круговорот биосинтез - деструкция	85
Вынос с речным стоком в океан	0,95
<b>Океан</b>	
Круговорот фотосинтетиков океана	50
Растворение $\text{CO}_2$ океаном	30
Выделение $\text{CO}_2$ из океана	30
Осаждение в осадки С <sub>орг</sub>	0,08
Осаждение в осадки С <sub>карб</sub>	0,16

Поступление из индустриальных источников	5
Поступление от сжигания дров и лесных пожаров	4,8

---

Содержание углерода в разных средах биосферы можно расположить в следующей убывающей последовательности ( $1 \times 10^9$  тонн):

1. Карбонатный углерод земной коры - 99 000 000
2. Органический углерод земной коры - 19 000 000  
(в основном он представлен рассеянным органическим веществом, в то время как концентрированные скопления - залежи нефти, газа, угля, составляют незначительную часть).
3. Растворенные гидрокарбонаты океана - 38 539
4. Углерод органического вещества океана - 2 140
5. Органический углерод педосферы (почвы) - 1 550
6. Углерод биомассы суши - 900
7. Углерод атмосферы - 668

Главным резервуаром углерода биосферы является океан, где углерод находится в нескольких формах: в виде растворенного  $\text{CO}_2$ , карбонатных  $\text{CO}_3^{2-}$  и бикарбонатных  $\text{HCO}_3^-$  ионов, живого и мертвого органического вещества, на дне океана залегают осадочные известняки биогенного происхождения  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$  (являются останками погребенных на дне океана тел морских организмов).

Содержание только растворенного гидрокарбонатного углерода в океане составляет  $38\,539 \times 10^9$  тонн, что более чем в 50 раз превышает его содержание в атмосфере -  $668 \times 10^9$  тонн.

По сравнению с другими резервуарами, содержание углерода в атмосфере является самым незначительным. Концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере составляет всего 0,036%, что существенно ограничивает скорость фотосинтеза. При повышении концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере биомасса способна быстро усваивать его излишки.

Несмотря на низкое содержание в атмосфере,  $\text{CO}_2$  является наиболее активной формой углерода, посредством которой осуществляется его круговорот. Первоначальным источником  $\text{CO}_2$  в атмосфере Земли являются вулканические газы.

Круговорот углерода складывается из двух составляющих:

**I Глобальный круговорот с осадочной фазой** - поступление углерода в виде  $\text{CO}_2$  из литосферы в атмосферу с вулканическими газами и его последующее депонирование в океане и литосфере в форме нерастворимых карбонатов кальция и магния -  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ .

Поступивший в атмосферу  $\text{CO}_2$  взаимодействует с природными водами с образованием легко диссоциирующей угольной кислоты:



Угольная кислота реагирует с известняками  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ , находящимися в почве или выстилающими дно континентальных водоемов и превращает их в растворимые гидрокарбонаты  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  и  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , выносимые речными водами в океан. Гидрокарбонаты образуются также при разрушении горных пород в процессах почвообразования.

В океане гидрокарбонаты кальция и магния используются морскими организмами для построения их скелетов и раковин. Скелеты отмерших организмов спускаются на дно океана и образуют там залежи осадочных пород - биогенные карбонаты. Особенно интенсивно этот процесс шел в меловом периоде мезозойской эры. Глубинные морские отложения карбонатов покрывают половину морского дна слоем в 0,5 км.

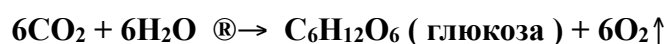
Таким образом, как органический, так и карбонатный углерод биосферы имеют биогенное происхождение.

Залежи карбонатов в океане являются наибольшим депо углерода в биосфере (таб.5.1.3 ).

Малый биологический круговорот углерода происходит в рамках глобального.

**II Малый биологический круговорот** углерода состоит в связывании  $\text{CO}_2$  фотосинтетиками и хемосинтетиками в органические вещества и его последующем высвобождении из них в процессах "дыхания" и разложения мертвой органики (детрита).

В процессе фотосинтеза образуются органические вещества и побочный продукт - кислород  $\text{O}_2$ , который улетает в атмосферу.



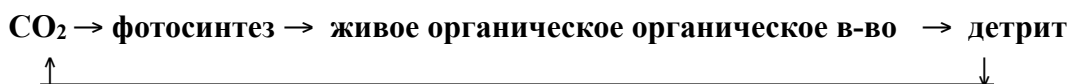
За образованием органического вещества следует его деструкция - расходование на жизнедеятельность организмов - "дыхание" и превращение в мертвое органическое вещество (детрит), разлагаемый редуцентами:

*Дыханием* называют процессы расщепление сложных органических веществ живыми организмами до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  в присутствии кислорода с целью получения энергии и простых веществ для своей жизнедеятельности.



Мертвое органические вещество (детрит) - трупы растений, животных, органические остатки их жизнедеятельности, разлагаются в почве и воде организмами-деструкторами - микробами и грибами. Этап окончательного разложения, при котором высвобождаются  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , аммиак и минеральные соли, называют *минерализацией* органического вещества.

В настоящее время в биологическом круговороте



задействовано более 130 млрд тонн углерода (таб.5.1.3.).

Промежуточные стадии разложения органики образуют органическое вещество почвы - гумус. Наличие гумуса определяет плодородие почв: их способность обеспечивать растения водой и минеральными солями. Гумус почв является важнейшим депо углерода в биосфере, его наличие позволяет поддерживать в атмосфере высокие концентрации кислорода.



Скорости разложения детрита различны в экосистемах разных типов. Они зависят от температуры, наличия кислорода, определенных организмов-деструкторов. В некоторых условиях: при низких температурах или недостатке кислорода, разложение органики замедляется или приостанавливается - наблюдается застой (стагнация) круговорота.

В болотах разложение органики замедлено из-за недостатка кислорода и наличия фенольных веществ, выделяемых сфагновыми мхами, они угнетают деятельность бактерий-деструкторов. Неразложившиеся остатки растений накапливаются в виде торфа, из которого затем образуется уголь.

На протяжении всего времени существования биосферы объемы синтеза ею органического вещества преобладали над объемами его распада. Это обусловило накопление в атмосфере излишков кислорода и формирование кислородной атмосферы Земли (в противном случае весь образующийся кислород расходовался бы на окисление органики). Оставшееся органическое вещество накапливалось в литосфере и гидросфере, причем как было указано выше, его концентрированные скопления (залежи нефти, газа, угля) составляют лишь незначительную часть общей массы.

Таким образом, важнейшей чертой и наземной и океанической частей круговорота углерода, является их **незамкнутость** - превращение больших масс углерода в **депонированные формы**, в которых он остается связанным и выведенным из круговорота на миллионы лет

Такое постоянное выведение из круговорота могло бы привести к постепенному удалению из атмосферы всего  $\text{CO}_2$ , если бы его количество не пополнялось за счет вулканических газов.

Количество депонированного углерода зависело от интенсивности вулканической деятельности в разные исторические эпохи.

Растительность Земли обладает способностью связывать излишки  $\text{CO}_2$  поступающего в атмосферу. В угольный период, когда наблюдалось значительное возрастание концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере, произошло резкое возрастание интенсивности фотосинтеза и поэтому в тот период была накоплена огромная биомасса растений, превратившаяся в залежи ископаемого топлива.

Сезонная динамика изменения концентрации  $\text{CO}_2$ , обусловлена деятельностью растений: меньшие концентрации  $\text{CO}_2$  относятся к вегетационному периоду - весне и лету, а большие - к сезонам, когда преобладают дыхание и разложение. Амплитуды сезонных колебаний максимальны в средних широтах и минимальны на экваторе и полюсах.

Соотношения масс углерода, связанного в виде карбонатов и в виде органического вещества менялось на разных стадиях развития биосферы. В начальный период осаждение в виде карбонатов было преобладающим: 1,5 млрд лет назад соотношение  $C_{\text{карб}}/C_{\text{орг}}$  составляло 18 : 1, а в кайнозойскую эру уже 1 : 2,9 таким образом, содержание углерода, аккумулированного в виде органики, постепенно возрастало (Ронов А.Б., 1976).

Из этого следует, что развитие жизни на Земле способствовало и способствует поддержанию в её атмосфере низкого содержания  $\text{CO}_2$ , в противном случае, произошло бы его накопление в ней.

Избыточное накопление  $\text{CO}_2$  в атмосфере могло бы привести к "парниковому эффекту" - задержке тепла Земли в атмосфере и повышению её температуры вплоть до

испарения Мирового океана. Этого не происходит за счет описанных выше буферных механизмов - фиксации  $\text{CO}_2$  в Мировом океане и биомассе растений.

Большая способность океанической воды захватывать  $\text{CO}_2$  связана с присутствием в ней карбонатных ионов  $\text{CO}_3^{2-}$ , взаимодействующих с  $\text{CO}_2$  с образованием бикарбонат-ионов:



В результате взаимодействий  $\text{CO}_2$  с карбонат-ионом, морская вода способна поглощать в 8 раз больше  $\text{CO}_2$ , чем без него.

Как уже указывалось, Мировой океан является самым мощным <sup>2</sup>«депо» углерода в биосфере. Углерод содержится в нём:

- в виде растворенного  $\text{CO}_2$ , растворенных карбонатов и гидрокарбонатов;
- карбонатных солей Са и Mg осадочных пород,
- живого и мертвого органического вещества.

Факторами, определяющими соотношение всех форм углерода в океане, являются температура и факторы, влияющие на скорость фотосинтеза

Наибольшее содержание концентрации  $\text{CO}_2$  в океанах наблюдается при низких температурах воды - в средних и высоких широтах.

Содержание углерода в океане и его концентрация в атмосфере находятся в динамическом равновесии: при повышении концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере, океан способен "вдыхать" в себя его избытки.

Океан является главным резервуаром, вбирающим в себя все возрастающие объемы  $\text{CO}_2$ , образующиеся в результате хозяйственной деятельности людей. Значительное возрастание этих объёмов началось в середине XIX века, когда человек стал интенсивно использовать ископаемое топливо - уголь, нефть, газ. При их сжигании в воздух выделяются  $\text{CO}_2$  и недоокисленные продукты горения - окись углерода CO, углеводороды, сажа и другие, всего  $2,0 \cdot 10^9$  т С в год.

Источниками антропогенных поступлений  $\text{CO}_2$  в атмосферу являются также массовое сведение лесов, сопровождаемое их сжиганием и ускоренное разложение в почве её органического вещества - гумуса, происходящее из-за частых вспашек земли в сельском хозяйстве. Обрабатываемые земли содержат в 20 раз меньше фиксированного углерода, чем зрелые леса. Таким образом, сельскохозяйственная деятельность человека способствует увеличению поступления  $\text{CO}_2$  в атмосферу.

В настоящее время суммарная антропогенная прибавка углерода в атмосферу оценивается в  $5-6,6 \cdot 10^9$  т/год. Однако как видно из таб.5.1.3. , за счет высокой буферной емкости Мирового океана и фотосинтеза растений эти поступления пока не могут серьезно влиять на его глобальный цикл.

Тем не менее в последние годы содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере постепенно нарастает. Мнения ученых по поводу причин этого нарастания неоднозначны, называют как природные, так и антропогенные факторы – сжигание ископаемого топлива.

Кроме  $\text{CO}_2$ , в атмосфере присутствуют также небольшие количества других соединений углерода: угарный газ CO, образующийся в результате процессов горения; углеводороды - метан и другие, выделяющиеся из нефтяных и газовых месторождений, при неполном сгорании и разложении органических веществ. Большие количества

метана образуются при расщеплении органики в условиях недостатка кислорода в болотах и на животноводческих комплексах при разложении навоза.

Как и  $\text{CO}_2$ , метан и  $\text{CO}$  являются парниковыми газами. В атмосфере оба они окисляются до  $\text{CO}_2$ .

#### 5.1.4. Круговорот кислорода. Значение для биосферы. Влияния человека

Кислород является самым распространённым элементом на Земле: он составляет по массе основную часть гидросферы - 86%, половину минералов земной коры и 23% газов в атмосфере.

Свободный кислород атмосферы (21% всех газов) и растворенный в гидросфере, образуется в результате двух процессов:

- путём фотохимического расщепления воды хлорофиллсодержащими структурам организмов-фотосинтетиков - растений и цианобактерий;
- путём фотохимических реакций расщепления воды в атмосфере (очень небольшая часть).

И в том и в другом случае источником энергии при расщеплении воды до кислорода и водорода является световая энергия Солнца.

Под действием высоких энергий - коротковолновых ультрафиолетовых лучей Солнца и грозных разрядов в атмосфере свободный кислород превращается в озон  $\text{O}_3$ . В наибольших масштабах это происходит на границе тропосферы и стратосферы, формируется озоновый слой, а также в небольших объёмах озон образуется у поверхности Земли).

Формой, посредством которой осуществляется круговорот кислорода является свободный кислород  $\text{O}_2$ . Круговорот кислорода тесно связан с круговоротами углерода и водорода.

При связывании в органическое вещество 1 г углерода образуется 2,7 г кислорода:



Суммарное выделение кислорода всеми фотосинтетиками суши составляет  $165 \cdot 10^9$  т/год, а совместно сушей и океаном  $300-350 \cdot 10^9$  т/год. По сравнению с прежними объёмами она снизилась не менее чем на 25% из-за уничтожения большей части растительного покрова Земли человеком.

В настоящее время содержание свободного кислорода в атмосфере составляет  $1,185 \cdot 10^{15}$  т, а воде Мирового океана  $3-10 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup>.

Накопление в атмосфере свободного кислорода связано с удалением из неё водорода. На ранних этапах развития Земли это происходило в основном посредством диссипации - выходом водорода из атмосферы Земли в космическое пространство. В настоящее время основные количества водорода удаляются его связыванием в органическое вещество.

Основная масса произведенных растениями органических веществ подвергается последующему расщеплению, на которое расходуются адекватные произведённым при

их синтезе количества кислорода. При этом кислород связывается с углеродом и водородом:



Расщепление органики с участием кислорода называют *аэробным расщеплением*, этот процесс позволяет получить в 18 раз больше энергии, чем расщепление без кислорода - анаэробные процессы или брожение. Появление у организмов в процессе эволюции аэробного типа метаболизма способствовало значительному ускорению эволюции и накоплению биомассы Земли.

В биологическом круговороте на суше задействовано  $230 \cdot 10^9$  т/год кислорода.

Из приведённых реакций следует, что накопление свободного кислорода в биосфере стало возможным потому, что объёмы произведенного органического вещества превышали объёмы его разложения, иначе бы весь кислород расходовался. Такое превышение наблюдалось на протяжении всей истории биосферы. Особенно большие массы неразложившейся органики были накоплены в ранние исторические эпохи, однако и сейчас за счет неразложившегося органического вещества в атмосфере ежегодно остаётся  $1,55 \cdot 10^9$  т/год кислорода (Добродеев О.П., 1976).

Наибольшие объёмы остающегося свободным кислорода приходятся на экосистемы северных и средних широт - бореальные леса, болота и степи, поскольку в них быстрому разложению органики препятствуют низкие температуры. В то же время в экосистемах тропических широт полное расщепление органики происходит 2-3 раза в течение года, поэтому расход кислорода адекватен его производству.

По этой причине, вопреки сложившему мнению, именно экосистемы северных и средних широт являются истинными "лёгкими планеты" -производителями кислорода и аккумуляторами углерода, в этом состоит их непереоценимое значение для биосферы.

Помимо процессов биорасщепления, кислород расходуется также при горении органического вещества, на реакции окисления неорганических веществ, во многих других химических процессах.

В настоящее время значительно возросло использование кислорода в хозяйственной деятельности человека. На сжигание ископаемого топлива ежегодно расходуется более  $13 \cdot 10^9$  т кислорода. Большие массы кислорода затрачиваются на ускоренное окисление гумуса при распашке почв, при сжигании лесов, на окисление произведенных человеком веществ. Только на окисление произведенных человеком металлов затрачивается  $340 \cdot 10^6$  т/год кислорода.

В настоящее время биосфера пока ещё справляется с окислением продуктов хозяйственной деятельности человека, однако многие ученые отмечают, что за глобальным циклом кислорода необходим самый внимательный контроль (В.В.Добровольский, 1998).

### 5.1.5.Круговорот азота. Значение для биосферы.

#### Влияние человека

Круговорот азота, безусловно, является одним из самых сложных, но и самым идеально организованным круговоротом. Значительную роль в нём играют живые организмы. Несмотря на большое их количество и разнообразие, круговорот азота протекает наиболее быстро и полно (Ф.Рамад, 1981).

#### I Глобальный геологический круговорот азота.

Главным источником азота биосферы являются недра Земли, откуда он поступает в составе вулканических газов.

В отличие от углерода, основным резервуаром азота в биосфере является не океан, а атмосфера, где его газообразная форма  $N_2$  составляет 79 % всех газов (таб. 5.1.5).

Таб. 5.154. Миграция масс азота в биосфере ( по В.В Добровольскому, 1998)

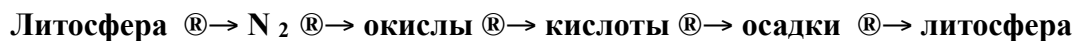
Процессы массообмена	Масса, $10^6$ т/год
<b>Мировая суша</b>	
Круговорот у растений фотосинтез - деструкция	3 400
Бактериальный круговорот	
- азотфиксация	40 - 200
- денитрификация	от 40-50 до 350-400
Круговорот с участием животных	90 - 190
Поступление в атмосферу при лесных пожарах	10 - 200
Вымывание из атмосферы	50
Вынос с речным стоком	24 - 61
Поступление из недр Земли	1- 9
<b>Океан</b>	
Круговорот фитопланктона	6000
Бактериальный круговорот	
- азотфиксация	1 - 20
- денитрификация	0 - 330
Вымывание из атмосферы	82
Удаление в осадки	1- 9
<b>Поступление в составе промышленных и бытовых отходов</b>	
Индустриальная фиксация из воздуха	60

Из всех соединений азота форма  $N_2$  является самой устойчивой, благодаря чему смогло произойти её значительное накопление в атмосфере. При грозových разрядах и в процессах горения из атмосферного азота  $N_2$  образуются его окислы -  $NO$ ,  $NO_2$ , они реагируют с парами воды, образуя кислоты ( $HNO_2$  и  $HNO_3$ ), выпадающие на Землю в составе осадков.

Кроме вулканических газов, азот и его окислы поступают в атмосферу при деятельности бактерий-денитрификаторов, разлагающих почвенные нитраты (см. ниже).

Содержание азота в средах биосферы представлено в таб...

На первых этапах развития биосферы круговорот азота имел очень простую структуру: его газообразные соединения, поступавшие в атмосферу с извержениями вулканов, трансформировались посредством фотохимических реакций и удалялись из атмосферы с осадками:



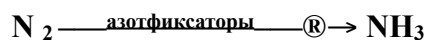
Со временем, все большую роль в круговороте азота приобретали живые организмы.

**II Биологический круговорот азота на суше** отличается тем, что состоит из двух составляющих - малого и большого почвенного круговоротов.

Одним из главных свойств азота, определяющим специфику его круговорота, является его поливалентность - способность изменять степень окисления. Её используют бактерии-хемосинтетики, они переводят азот из одних форм в другие и благодаря этому получают энергию для жизнедеятельности. Бактерии играют в круговороте азота определяющую роль.

Бактерии, участвующие в круговороте азота, делят на несколько экологических групп:

1. **Азотфиксирующие бактерии** - фиксируют азот атмосферы и превращают его в аммиак:
- 2.



**2. Нитрифицирующие бактерии** - превращают  $\text{NH}_3$  в нитриты  $\text{NO}_2^-$  и нитраты  $\text{NO}_3^-$ :



К группе нитрозных бактерий относятся роды *Nitrosomonas*, *Nitrococcus*, *Nitrospira*, *Nitrolobus*, *Nitrosovibrio*, к нитратным - *Nitrobacter*, *Nitrospina*, *Nitrococcus*.

Нитриты и нитраты являются формами, в которых азот усваивают растения. Растения вводят нитраты в аминокруппы своих белков.

Из тел организмов соединения азота снова поступают в среду в виде мертвых тел растений и животных ие прижизненных выделений животных - мочевины, мочевой кислоты и других.

**3,4.5.** Бактерии, относящиеся к **деструкторам** почвы - **гумификаторы** и **аммонификаторы**, превращают детрит сначала в гумус почв, а затем производят его аммонификацию - высвобождают из гумуса неорганический аммиак  $\text{NH}_3$ , часть из которого опять переходит в нитриты и нитраты и вновь может быть усвоена растениями:



В этом состоит *малый биологический круговорот азота*, происходящий в почве.

Оставшаяся часть аммиака выделяется в атмосферу, адсорбируется на почвенных частицах и нейтрализует кислоты.

Необходимо отметить, что круговорот азота в почвах умеренных и высоких широт идет очень медленно. Это связано с высокой устойчивостью к разложению гумусовых кислот. В почвах умеренных широт возраст гумуса, а значит, и связанного в нём азота, составляет сотни лет.

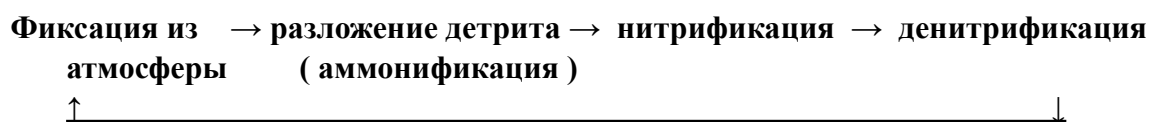
6. Однако малый круговорот почва - растительность не является полностью замкнутым. До 30 % нитратов почвы потребляет еще одна группа бактерий - **денитрификаторы** из родов *Pseudomonas* и *Micrococcus*. Они получают из нитратов кислород для расщепления органики. В результате из нитратов высвобождается свободный азот  $N_2$ , улетучивающийся в атмосферу:



Газообразные потери азота из почвы происходят не только в виде  $N_2$ , но и в виде его окислов. Процесс денитрификации сильно снижает содержание азота в почве. Особенно интенсивно денитрификация идет в теплую влажную погоду и в плохо дренированных почвах.

Исследованиями показано, что из общего количества вносимых в почву азотных удобрений, растениями усваивается не более 40 %, при этом 30% улетучивается вследствие денитрификации, а остальные смываются в поверхностные и грунтовые воды.

Таким образом *большой биогеохимический круговорот* азота на суше включает следующие процессы:



Однако и большой биологический круговорот азота на суше не является полностью замкнутым, поскольку с речным стоком часть соединений азота попадает в океан. В воде океана содержание азота очень мало и он быстро захватывается фитопланктоном (наряду с дефицитом фосфора, низкое содержание азота в океане является основным фактором, лимитирующим продуктивность фитопланктона). В составе фитопланктона азот вводится в океанические пищевые цепи. Азот, высвобождающийся из тел мертвых организмов, вновь захватывается фитопланктоном. По этой причине биологический круговорот азота в океане происходит намного быстрее, чем на суше.

Однако часть тел мертвых организмов не успевает разложиться в верхних слоях воды, где обитает фитопланктон. Она опускается на дно океана в виде "дождя трупов", где азот накапливается в виде глубоководных осадков. В отличие от углерода, депонированного в виде карбонатов, азот глубоководных осадков находится в форме органического вещества. Потери азота на дне океана компенсируются его поступлениями в атмосферу с вулканическими газами.

Помимо  $N_2$  в атмосфере имеются небольшие количества других соединений азота -  $NH_3$ ,  $N_2O$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ . Их источниками являются грозные разряды, все виды процессов горения, деятельность денитрифицирующих бактерий. Большой вклад в загрязнение атмосферы окислами азота вносит деятельность человека - сжигание ископаемого топлива и лесов.

Накопления соединений азота в атмосфере до больших концентраций не происходит благодаря реакциям с парами воды, в ходе которых  $NO$  и  $NO_2$  превращаются в азотистую и азотную кислоты. Аммиак реагирует с оксидами серы и образует сульфат аммония  $NH_4HSO_4$ . Все эти соединения азота выпадают из атмосферы в составе осадков - дождей и снега. Благодаря этому содержание соединений азота в атмосфере поддерживается на низком уровне.

Таким образом, атмосфера является не только главным резервуаром азота биосферы, но и предохранительным клапаном его круговорота.

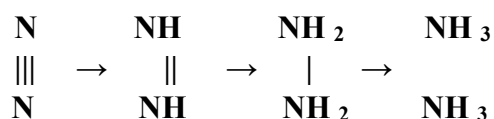
В последние годы хозяйственная деятельность человека привела к значительному возрастанию выбросов газообразных соединений азота в атмосферу -  $10-20 \times 10^6$  т/год. Следствиями этого является повышение кислотности осадков - "кислотные дожди", фотохимический смог и разрушение озона).

Значительные изменения в структуру цикла азота вносит сельское хозяйство. Стремясь компенсировать потери почвенного азота с урожаем, человек вносит в почву огромные массы азотных удобрений. Их получают путем промышленной фиксации азота из воздуха. Её объем в настоящее время достиг огромных цифр -  $60 \cdot 10^6$  т/год. Массивное применение азотных удобрений усугубляет загрязнение атмосферы газообразными продуктами денитрификации, приводит к повышению содержания нитритов и нитратов в почвах, грунтовых водах и водоемах. В ряде случаев при потреблении воды и продуктов растениеводства происходят отравления ими людей и животных.

Для уменьшения негативных следствий применения минеральных удобрений необходимо строгое соблюдение агротехнических приемов: ограничение доз вносимых удобрений, соблюдение сроков и способов их внесения и другие.

Подводя итоги, можно констатировать, что круговорот азота в биосфере в настоящее время является достаточно стабильным, "забуферным" и в глобальном масштабе приток азота в атмосферу (с вулканическими газами и денитрификацией) уравновешен его оттоком из неё (биологической и промышленной азотфиксацией и выпадением с осадками). Однако наличие локальных изменений свидетельствует об ограниченности возможностей даже этого стабильного круговорота.

Начало биологического круговорота азота, а следовательно, его объемы и скорость протекания, связаны с интенсивностью процесса азотфиксации - улавливания свободного азота из воздуха бактериями-азотфиксаторами. Зеленые растения, будучи эукариотами, самостоятельно усваивать атмосферный азот не могут. Азотфиксаторы обладают сильнейшим ферментом - нитрогеназой, расщепляющей молекулу  $N_2$ . На образование из одной молекулы  $N_2$  двух молекул аммиака требуется 225 ккал энергии:





## азот      диимид      гидразин      аммиак

Способностью к азотфиксации обладают многие группы бактерий: наземные и водные, хемосинтетики и фотосинтетики, аэробные и анаэробные, симбиотические и несимбиотические. Среди несимбиотических азотфиксаторов выделяют свободноживущих (не связанных с корневыми системами растений) и ассоциативных (обитающих в прилегающей к корням почве или на поверхности корней).

Симбиотические азотфиксаторы обитают в тканях корней растений, образуя в них специфические разрастания - клубеньки. Один из родов азотфиксаторов - род *Rhizobium*, обитает на корнях растений семейства бобовых (клевера, люпина, люцерны): бактерии поставляют растениям азот, а растения им - органические вещества. Таким образом, введением в севообороты бобовых, возможно обогащение почвы азотом.

Ведущая роль в глобальном объеме азотфиксации принадлежит водным формам, относящимся к цианобактериям. В частности, цианобактерии обеспечивают высокую продуктивность рисовых полей. Значительной способностью к азотфиксации обладают водоросли и бактерии, обитающие на листьях растений-эпифитов, произрастающих на стволах тропических деревьев. При этом часть фиксированного эпифитами азота используется самими деревьями.

Уровень биологической фиксации азота различен для разных типов почв, а в среднем составляет около 1 г/м<sup>2</sup>. Большую роль играет содержание в почвах веществ, из которых бактерии получают энергию. Общий мировой объем азотфиксации оценивают до 200×410 млн т/год (таб.5.1.4.). Характерно, что доля биологического азота в урожае достигает 60 - 90%.

Высокие уровни азотфиксации позволяют снизить объёмы применения минеральных удобрений и, таким образом, предотвратить загрязнение ими почв, природных вод и водоёмов. Увеличение объемов азотфиксации является перспективным направлением экологически чистого земледелия.

Повышение азотфиксации возможным путем введения в севообороты бобовых культур, их совместным выращиванием с другими культурами, применением бактериальных биопрепаратов. Так, еще Н.И.Вавилов описал, как в Южной и Центральной Америке местное население многие века успешно выращивало совместно кукурузу и фасоль, при этом долгое время сохранялось плодородие почв. Симбиоз азотфиксаторов с бобовыми способен обогатить почву азотом в количествах до 300 кг/га азота.

Для повышения азотфиксации используют также искусственно получаемые биопрепараты, приготовляемые на основе культур активных азотфиксаторов, например препарат нитрагин, полученный в Германии ещё в 1896 году. В настоящее время имеются препараты на основе несимбиотических микроорганизмов - родов *Klebsiella* и др. Весьма эффективным является применение различных комбинаций азотфиксаторов. Такие комбинации могут подбираться для разных сельскохозяйственных культур и конкретных почвенных условий.

### 5.1.6. Круговорот фосфора. Значение для биосфера.

#### Влияние человека.

Фосфор играет в организмах значительную роль - он входит в состав АТФ, нуклеиновых кислот и других важных веществ. Однако содержание фосфора в биосфере очень мало, и поэтому во многих экосистемах фосфор является лимитирующим фактором - его недостаток сдерживает их продуктивность.

Круговорот фосфора очень прост, но в краткосрочном периоде времени является незамкнутым, происходит с большими потерями: большие объёмы осаждения фосфора в океане намного превышают его поступления на сушу. Это связано с отсутствием в биосфере постоянно действующих биохимических потоков, возвращающих фосфор из океана на сушу.

Главным отличием круговорота фосфора от круговоротов углерода, азота и серы, является полное отсутствие в нём газообразных форм (таб 5.1.7.)

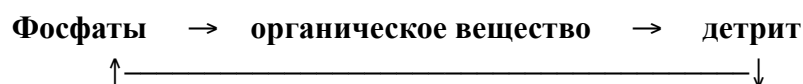
Таб.5.1.7. Миграции масс фосфора в биосфере ( по данным В.В.Добровольского, 1998 ).

Процессы массообмена	Масса 10 <sup>6</sup> т/год
<b>Мировая суша</b>	
Биологический круговорот	345
Речной сток	23
<b>Океан</b>	
Биологический круговорот	1210
Осаждение в осадочные породы	2-10
<b>Использование в составе фосфорных удобрений</b>	14
<b>Антропогенные поступления из всех источников</b>	12

Основным резервуаром фосфора в биосфере являются горные породы - апатиты и фосфориты. Процесс разрушения этих пород - выветривание, является единственным источником поступления фосфора в глобальный и биологический круговороты.

Большую роль в разрушении горных пород играет человек, добывающий их для производства фосфорных удобрений ( см. ниже ).

После высвобождения из литосферы, фосфор в форме растворимых фосфатов, поступает в почву, где включается в пищевые цепи:



Таким образом, биологический круговорот фосфора очень прост.

Однако большая часть растворимых фосфатов попадает в грунтовые воды и выносится с речным стоком в океан. В океане фосфор быстро захватывается фитопланктоном и проходит по океаническим пищевым цепям. Часть трупов организмов, не успевших разложиться в верхних слоях воды, оседает на дне океана, поэтому возврата содержащегося в них фосфора в круговорот не происходит. На дне

океана фосфор включается в осадочные породы и оказывается выведенным из круговорота на миллионы лет.

В отличие от углерода и азота, компенсации утраченных количеств фосфора с вулканическими газами не происходит. По этой причине в краткосрочном масштабе времени круговорот фосфора является незамкнутым.

Низкое содержание фосфора в воде открытого океана является главным фактором, лимитирующим его продукцию, которая является крайне низкой. Однако фосфор, осевший на небольших глубинах может возвращаться в круговорот посредством перемешивания воды - в приливно-отливных зонах, зонах апвеллинга (поднятия придонных вод к поверхности). По этой причине в таких экосистемах наблюдается высокая продуктивность.

Некоторая часть фосфора возвращается на сушу посредством вылова рыбы человеком и рыбацкими птицами в составе их помета - гуано. На побережье Перу колонии птиц образуют огромные залежи гуано, используемые как удобрение. Однако по сравнению с масштабами осаждения фосфора в океане, эти количества ничтожны.

Таким образом, естественные механизмы возвращения фосфора на сушу не компенсируют его потери в океане и поэтому во многих природных экосистемах низкое содержание фосфора является лимитирующим фактором. По словам французских экологов П.Дювиньо и М.Танга (1968), фосфор - самое слабое звено в жизненной цепи.

Хозяйственная деятельность человека внесла серьезные изменения в круговорот фосфора. В настоящее время в некоторых районах наблюдается сильная антропогенная фосфатизация суши. Стремясь уменьшить дефицит фосфора в почвах, человек вносит его в виде минеральных удобрений, которые производит из фосфорсодержащих горных пород. При этом значительная часть удобрений смывается в водоемы, где служит фактором их эвтрофикации - зарастания вследствие усиленного размножения водных растений. Количества фосфора, вносимые в почвы с удобрениями, показано в таб 5.1.7..

Значительный вклад в загрязнение фосфором водоемов вносят фекально-хозяйственная канализация, а также наличие фосфатов в составе синтетических моющих средств. В большинстве развитых стран мира применение фосфатов в производстве моющих средств запрещено, но в России таких ограничений нет.

### **5.1.7. Круговорот биогенных катионов. Значение для биосферы.**

#### **Влияние человека**

Продукция биомассы определяется не только рассмотренными выше важнейшими биогенными элементами - углеродом, азотом, серой и фосфором, но и другими важными веществами: макро- Ca, Mg, Cl, Fe, Na, K и микроэлементами - Cu, Zn, Mo, V, Co, B, Si, I, F, Mn и др..

От них зависят постоянство внутренней среды организмов, активность их ферментных систем, другие важные процессы. О важности микроэлементов в продуцировании биомассы писал ещё Ю.Либих (J. Liebig, 1840), который на основании изучения их роли разработал понятие о лимитирующих факторах.

Абсолютное и относительное (в соотношении с другими веществами) содержание всех биогенных элементов в почвах определяет общий объем продуцируемой биомассы и видовой состав фитоценозов.

Источником биогенных катионов в природных экосистемах является разрушающаяся материнская порода, и небольшие их количества могут поступать в почвы с осадками. Человек вводит в почвы многие элементы в составе удобрений, а также посредством загрязнений.

Из почвы элементы поступают в тела растений, а из них - в пищевые цепи. При разложении детрита элементы возвращаются в почву. В некоторых экосистемах по разным причинам (низкая скорость разложения органики вследствие низких температур, длительные сроки жизни больших деревьев) этот процесс сильно замедлен.

Решающее значение на содержание биогенных элементов в почвах оказывают свойства материнской породы, количество осадков, кислотность почв, содержание и состав гумусовых веществ.

При обильных осадках, высокой кислотности и фульватном составе гумуса, большинство элементов вымывается из почвы и выносится в грунтовые воды - происходит их выщелачивание. Постоянный круговорот элементов возможен только почвах, состав которых способен противостоять выщелачиванию, в противном случае почва теряет эти элементы, а значит и плодородие.

Особенно интенсивно выщелачивание биогенных веществ происходит при снятии с почв растительного покрова и низком содержании гумуса.

Для предупреждения выщелачивания элементов необходимы щадящие методы обработки почв.

## **2. Приложение 5.2.**

### **Вопросы для самоконтроля Модуля 5**

#### **«Круговороты веществ»**

1. Чем занимается наука биогеохимия? Кто был её основателем?
2. В чем состоит роль живого вещества в круговороте веществ?
3. По каким критериям классифицируются круговороты веществ?
4. Круговороты каких веществ имеют резервный фонд в атмосфере?
5. Круговороты каких веществ имеют резервный фонд в земной коре?
6. Какая группа круговоротов веществ является более уязвимой для воздействий человека?
8. Какие круговороты веществ в настоящее время подвержены влиянию человека в наибольшей мере?
2. Какова роль функциональных групп организмов (согласно трофической классификации) в круговоротах разных веществ.
3. Какова роль в круговороте кислорода организмов относящихся к разным царствам: растений, цианобактерий, животных, грибов.
4. Объяснить ход круговорота кислорода. Влияние человека
5. Объяснить ход круговорота углерода. Влияние человека.
6. Объяснить ход круговорота фосфора. Влияние человека.

## **5.3 Приложение 5.3.**

## Тестовые задания Модуля 5 «Круговороты веществ»

001. Живые организмы участвуют в образовании вещества биосферы -  
 1) биокосного 2) косного 3) биогенного  
 4) осадочных пород океана 5) кислорода атмосферы
002. Окислительно-восстановительную, средообразующую, концентрационную функции в биосфере осуществляет вещество -  
 1) косное 2) живое 3) биокосное 4) биогенное  
 5) биогенное и биокосное
003. Наибольшее количество биомассы имеют -  
 1) леса 2) луга и пастбища 3) открытое море  
 4) морское дно 5) почва
004. В биоценозе взаимодействуют биотические факторы -  
 1) почвенные, климатические, биотические  
 2) климатические и межвидовые  
 3) межвидовые и почвенные  
 4) внутривидовые и гидрологические  
 5) внутривидовые и межвидовые
005. Редуценты в экосистемах -  
 1) железобактерии и азотфиксирующие бактерии  
 2) азотфиксирующие бактерии и бактерии гниения  
 3) бактерии гниения и грибы  
 4) грибы и сине-зеленые водоросли  
 5) сине-зеленые водоросли
006. Согласно В.И. Вернадскому в биогенной миграции атомов участвуют -  
 1) только микроорганизмы и животные  
 2) микроорганизмы и все многоклеточные организмы кроме человека  
 3) только растения  
 4) только микроорганизмы и растения  
 5) все живые организмы
007. Самые первые организмы Земли являлись -  
 1) гетеротрофными аэробами  
 2) хемосинтетиками  
 3) одноклеточными фотосинтетиками, продуцирующими кислород  
 4) гетеротрофными анаэробами  
 5) фотосинтетиками не продуцирующими
008. Первичный источник энергии в большинстве экосистем -  
 1) солнечный свет  
 2) солнечный свет и растительная пища  
 3) солнечный свет и минеральные соли  
 4) солнечный свет и животная пища  
 5) мертвые тела организмов

*Соотнесите фразу из левого столбца и ответ (-ты) из правого столбца.*

009. КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ
- |                         |                                   |
|-------------------------|-----------------------------------|
| 1) круговорот кислорода | а) с резервным фондом в атмосфере |
| 2) круговорот серы      | б) с резервным фондом в литосфере |

- 3) круговорот азота
- 4) круговорот фосфора
- 5) круговорот углерода

#### 4. **Приложение 5.4.** **Темы рефератов по модулю 5** **«Круговороты веществ»:**

- 1 Круговороты веществ. Классификация и основные составляющие круговоротов веществ.
2. Круговороты веществ с осадочным резервным фондом
3. Круговороты веществ с газовым резервным фондом
4. Воздействие человека на круговороты веществ

#### 5.5. Приложение 5.5. Список литературы по модулю 5

##### «Круговороты веществ»

#### 1. **Чебышев Н.В., Филиппова А.В. Основы экологии./Новая волна, 2010, 335 стр**

2. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. Учеб. пособие для геогр., биол., геол., с.-х. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1998
3. Каменский А.А., Соколова Н.А., Валовая М.А. Основы биологии. Полный курс общеобразовательной средней школы/ А.А. Каменский, Н.А. Соколова, М.А. Валовая. – М.: Издательство «Экзамен», 2004 – 448 с.
4. Интернет-ресурс <http://ru.wikipedia.org/>
5. Скиннер Б. *Хватит ли человечеству земных ресурсов?*: Пер. с англ.– М.: Мир, 1989. – 264 с.
6. Реймерс Н.Ф. *Природопользование: Словарь – справочник.* – М.: Мысль, 1990. – 637 с.
7. Андрианов В. *Главное о главном.* – «ЭКОС-информ», 1995, №8, стр.88.
8. Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. *Биология: В 3-х т. Т.1.*: Пер. с англ./ Под ред. Р. Сопера. – М.: Мир, 1993. – 368 с.
9. Франсуа Рамад *Основы прикладной экологии* : Пер. с франц./ Под ред. Матвеева Л.Т. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1981. – 544 с.

1. <http://biofile.ru/bio/2582.html>
2. <http://vodavodoy.ru/krugovorot-vodyi-v-prirode/>
3. <http://www.bibliotekar.ru/ecologia-5/11.htm>
4. [http://krutoto.ucoz.ru/news/krugovorot\\_ugleroda/2010-02-07-121](http://krutoto.ucoz.ru/news/krugovorot_ugleroda/2010-02-07-121)
5. <http://www.gitak.ru/krugovorot-azota-v-prirode>
6. <http://2dip.ru/%D1%80%D0%B5%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%8B/14545/>
7. <http://ecology-education.ru/index.php?action=full&id=351>
- 8.

[http://www.bankreferatov.ru/referats/964D9F9B0C94A2E4C3257804003F6CFC/  
%D0%A0%D0%B5%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82.doc.html](http://www.bankreferatov.ru/referats/964D9F9B0C94A2E4C3257804003F6CFC/%D0%A0%D0%B5%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82.doc.html)

9. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%CA%F0%F3%E3%EE%E2%EE%F0%EE%F2\\_%E2%EE  
%E4%FB\\_%E2\\_%EF%F0%E8%F0%EE%E4%E5](https://ru.wikipedia.org/wiki/%CA%F0%F3%E3%EE%E2%EE%F0%EE%F2_%E2%EE%E4%FB_%E2_%EF%F0%E8%F0%EE%E4%E5)

10. <http://agroinf.com/mikrobiologiya/14/krugovorot-ugleroda-i-kisloroda.html>