

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тихоокеанский государственный университет»

Методические указания по проведению лабораторной работы:

КРУГОВОРОТ УГЛЕРОДА

Хабаровск
Издательство ТОГУ
2014

КРУГОВОРОТ УГЛЕРОДА

Цель работы: ознакомление с круговоротом углерода и его ролью в биосфере.

Общие сведения

Все вещества на планете находятся в процессе круговорота. Энергия Солнца определяет на Земле два круговорота веществ: большой или геологический и малый или биотический.

Круговорот углерода – это один из важнейших круговоротов, определяющий энергетику биосферы. С ним непосредственно связан круговорот кислорода в биосфере, а также циклы азота, фосфора и серы.

Источники углерода в природе столь же многочисленны, сколь и разнообразны. Содержание углерода в земной коре невелико (0,1-0,02 %), но его соединения являются основой всех форм жизни. Углерод существует в природе во многих формах, начиная с нахождения в виде чистого углерода (графит, уголь и др.), вплоть до высокомолекулярных органических соединений (табл. 1). Он образует молекулярный остов любого органического вещества, т.е. является одним из основных биогенных элементов.

Таблица 1

Содержание углерода в различных веществах

Компонент	Содержание углерода, %
Нефть	82,5-87,0
Бурые угли	До 76
Каменный уголь	До 90 и более
Ткани живых организмов (в пересчете на сухое вещество)	
- водные растения и животные	34,5 – 40,0
- наземные растения и животные	45,4 – 46,5
- бактерии	54

Основная масса углерода находится в земной коре в связанном состоянии. Важнейшие минералы углерода – карбонаты. Количество углерода в них оценивается в $9,6 \times 10^{15}$ т.

Атмосфера и вода океанов представляют собой резервуары активного неорганического фонда углерода, который содержится там в виде диоксида (CO_2) в свободном ($2,1 \cdot 10^{12}$ т) и растворенном ($1,3 \cdot 10^{14}$ т) видах. Между атмосферой и океаном постоянно происходит обмен двуокисью углерода. Повышение концентрации и парциального давления CO_2 в атмосфере и региональное или сезонное охлаждение вод сопровождаются соответствующим увеличением CO_2 в воде и образованием растворов бикарбонатов металлов. В последующем бикарбонаты могут, выпадая в осадок, связывать часть CO_2 в карбонатах. Другая часть CO_2 при этом вновь выделяется в атмосферу. Уменьшение концентрации

диоксида углерода в атмосфере или повышение температуры вызывает дегазацию вод океана. При этом в осадок выпадает эквивалентная часть углекислого кальция. Таким образом, образуются карбонатные породы, и углерод уходит из круговорота в длительный геологический цикл. Такое естественное блокирование круговорота какого-либо вещества называют стагнацией. Общее количество накопленных в осадках карбонатов кальция и магния углерода оценивается миллионами тонн. В целом Мировой океан действует как насос, поглощая CO_2 в высоких широтах и выделяя его в тропиках.

Другим механизмом поглощения диоксида углерода из атмосферы и гидросферы с включением углерода в состав органических веществ является фотосинтез. Этот процесс начался значительно позднее геохимического связывания углерода в виде карбонатов, но протекал очень интенсивно. Образующиеся при фотосинтезе и дальнейшем биосинтезе органические вещества не только составляют ткани фотосинтезирующих организмов, но и служат источником органических веществ для животных и не зеленых растений. В процессе дыхания все организмы окисляют сложные органические соединения, выделяя CO_2 , который может вновь вовлекаться в процесс фотосинтеза. После гибели организмов их ткани подвергаются биологическому разложению под воздействием редуцентов, в результате чего CO_2 также поступает в круговорот. Этот процесс составляет сущность так называемого «почвенного дыхания». Таким образом, возвращение CO_2 в активный неорганический фонд происходит за счет процессов дыхания, разложения и гниения, окисления гумуса, торфа, лесных подстилок, лесных и степных пожаров..

Несмотря на то, что фотосинтез и деструкция органики разделены в пространстве и во времени, проходят множество промежуточных этапов и обусловлены деятельностью колоссального числа различных экосистем, их равенство в экосфере в целом поддерживается с исключительно высокой точностью.

Небольшие ювенильные поступления обусловлены вулканической деятельностью.

В почве при определенных условиях разложение накапливающихся мертвых остатков идет замедленным темпом – через образование сапрофагами гумуса, минерализация которого под действием грибов и бактерий может идти с различной скоростью, иногда очень медленно. Скорость процесса определяется количеством кислорода, химическим составом почвы и ее температурой. В некоторых случаях цепь разложения может быть неполной. В частности, деятельность сапрофагов может подавляться недостатком кислорода, переувлажненностью или повышенной кислотностью. В этом случае органические остатки накапливаются в виде торфа: углерод не высвобождается. В некоторых болотах с мощным покровом из сфагновых мхов слой торфа достигает 20 м и более. Аналогичные процессы в отдаленные геологические эпохи сформировали залежи угля, нефти, горючих сланцев, что приостанавливало круговорот углерода. Разведенные запасы горючих ископаемых (угли, нефть, битумы, торф, сланцы, газы) содержат около $1 \cdot 10^{13}$ т углерода.

В гидросфере приостановка круговорота углерода (стагнация) обусловлена также связыванием углерода в кальците CaCO_3 , входящем в состав коралловых, фузулиновых, ракушечных известняков и др. Это самая глубокая (на целые геологические эпохи) консервация углерода. Лишь поднятие органогенных пород над уровнем моря приводит к возобновлению круговорота через выщелачивание известняков за счет атмосферных осадков, а также при биологическом выветривании под действием лишайников, корней растений и микроорганизмов.

Таким образом, циркуляция углерода в биосфере основана на поступлении CO_2 в атмосферу и его потреблении (рис. 1).

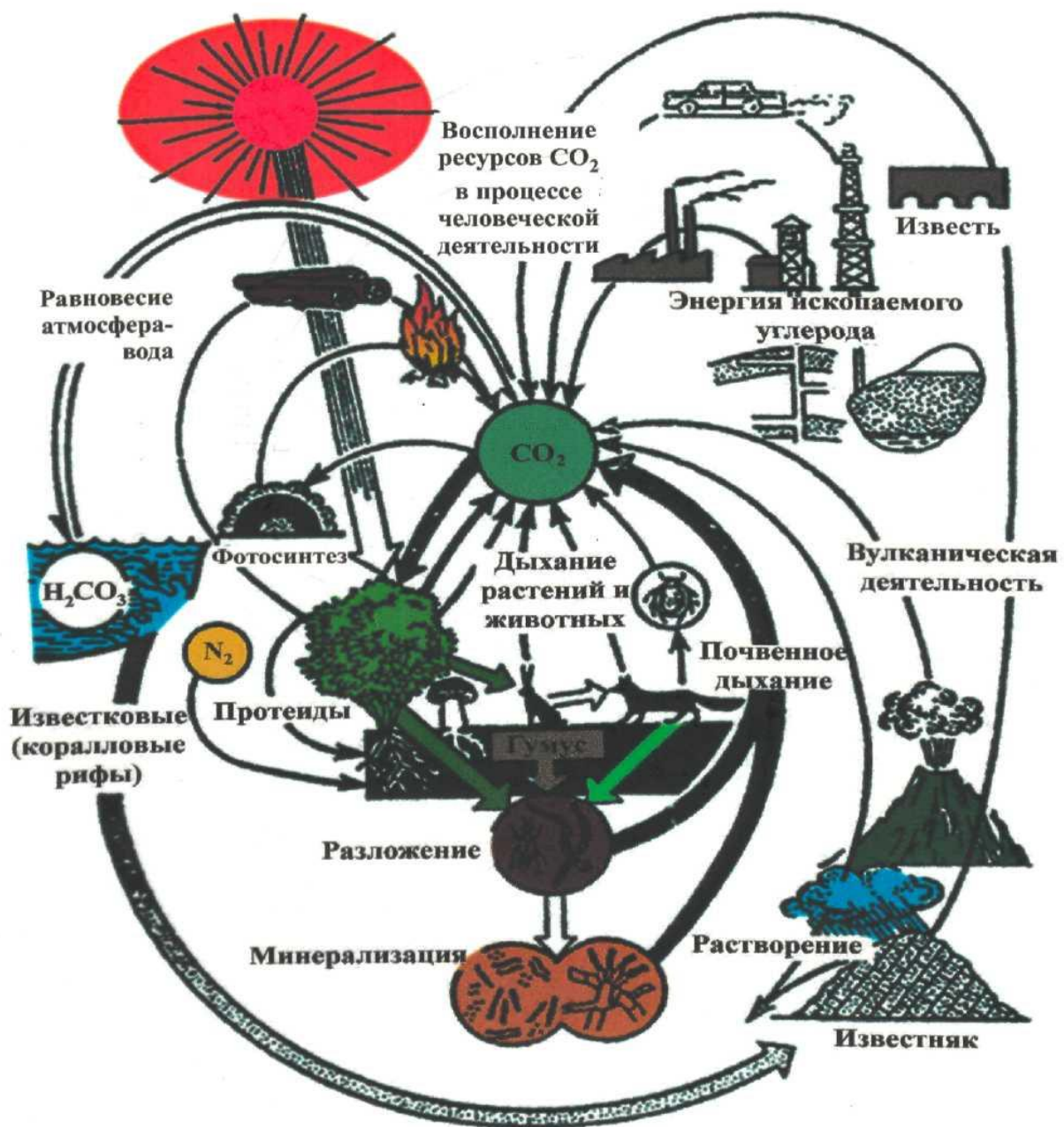


Рисунок 1. Круговорот углерода.

Поступление углекислого газа в атмосферу в современных условиях происходит в результате:

- 1) дыхания всех организмов;
- 2) минерализации органических веществ;
- 3) выделения по трещинам земной коры из осадочных пород (имеют также биогенное происхождение);
- 4) выделения из мантии Земли при вулканических извержениях (незначительная часть - до 0,01 %);
- 5) сжигания топлива.

Потребление углекислого газа происходит главным образом:

- 1) в процессе фотосинтеза;
- 2) в реакциях его с карбонатами в океане;
- 3) при выветривании горных пород.

Низкое содержание CO_2 и высокие концентрации O_2 в атмосфере служат **лимитирующими** факторами для фотосинтеза, а зеленые растения являются регуляторами концентрации этих газов.

Следовательно, «зеленый пояс» Земли и карбонатная система океана поддерживают относительно постоянное содержание CO_2 в атмосфере.

Полагают, что до наступления индустриальной эры потоки углерода между атмосферой, материками и океанами были сбалансированы.

Для равновесия в экосфере огромное значение имеет глобальная замкнутость биотического круговорота. Круговорот полностью замкнут, когда существует точное равенство сумм прямых и обратных расходов. Если же в каком-то из процессов наблюдаются прирост или утечка («дефект замкнутости») Δq , то *замкнутость круговорота*

$$\delta_q = (q - \Delta q) / q$$

Величина *разомкнутости* круговорота

$$\beta_q = 1 - \delta = \Delta q / q$$

Эти величины можно выразить и иначе, сопоставляя продолжительность поддержания равенства расходов T со временем истощения резервуара ΔT при полной остановке процесса наполнения:

$$\delta_T = (T - \Delta T) / T$$

Аналогично

$$\beta_T = 1 - \delta_T = \Delta T / T$$

Детальный количественный анализ круговорота углерода в экосфере провел В.Г. Горшков (1990). Он отмечает, что согласно геологическим данным концентрации биогенных элементов могут изменяться на 100 % за время порядка 100 тыс. лет. За десятки и сотни миллионов лет при отсутствии регуляции эти концентрации вышли бы за пределы, совместимые с жизнью. В действительности по палеохимическим и палеоботаническим данным, концентрация углерода в атмосфере за время 10^5 лет сохраняет порядок величины. Время оборота CO_2 в атмосфере за счет деятельности биоты составляет ориентировочно всего 10

лет. Потоки синтеза и распада органических веществ в экосфере совпадают с точностью 10^{-4} , замкнуты с точностью 10^{-3} и, значит, скоррелированы с точностью 10^{-7} .

Однако, содержание CO_2 в атмосфере уже сейчас начинает возрастать. В начале промышленной революции, примерно в 1800 г., в атмосфере Земли содержалось около 290 частей CO_2 на миллион (0,029 %). В 1958 г. содержание CO_2 составляло 0,0315 %, а в 1980 г. выросло до 0,0335 %.

Главная причина увеличения содержания CO_2 в атмосфере - это сжигание горючих ископаемых, свой вклад вносят транспорт и уничтожение лесов. Сельское хозяйство также приводит к потере углерода в почве, так как фиксация CO_2 из атмосферы агрокультурами в течение части года не компенсирует полностью высвобождающийся из почвы углерод, который теряется при окислении гумуса (результат частой вспашки).

При уничтожении лесов содержание углекислого газа в атмосфере увеличивается при непосредственном сжигании древесины, за счет снижения фотосинтеза и при окислении гумуса почвы (если на месте лесов распахивают поля или строят города). Леса - важные накопители углерода: в биомассе лесов приблизительно в 1,5, а в лесном гумусе - в 4 раза больше углерода, чем в атмосфере. Количество углекислого газа, создаваемого в процессе хозяйственной деятельности человека, в 100-150 раз превышает ювенильные поступления и составляет 6–10% его ежегодного нормального уровня биогенного выделения.

Современное изменение ландшафта человеком заметно повлияло на поток углерода из резервного фонда в обменный. Можно представить, какое огромное количество CO_2 выделится, если будет сожжена хотя бы половина фонда горючих ископаемых. Одновременное уменьшение поглотительной способности «зеленого пояса» может привести к сбою механизмов саморегуляции и природного контроля. Между тем, интенсивность влияния человека на цикл углерода постоянно возрастает.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Задание 1

Проследите в процессе игры случайную миграцию атома углерода в биосфере и составьте соответствующий цикл.

1.1. Рассмотрите схему на рис.2. Начинайте игру с позиции 1, представляющей атом углерода (диоксид углерода) в атмосфере. Подбрасывая монеты, вычерчивайте схему продвижения атома углерода, указывая выпадающие позиции в соответствии с рис. 2. Обратите внимание на обозначение каждой позиции и на то, что перемещение атомов не соответствует порядку номеров, а происходит случайно в зависимости от того, как упадут монеты. Когда Ваш «атом» возвратится в атмосферу - один цикл углерода завершен. Продолжайте играть, начав следующий цикл. Выполните три цикла, показав их разным цветом. Запи-

шите путь «атома» в каждом цикле. Нумеруйте эти позиции-1, 2, 3 и т.д.

Инструкция (по Небелу Б., 1993)

Пункты инструкции соответствуют номерам позиции.

1. АТОМ УГЛЕРОДА ВХОДИТ В СОСТАВ МОЛЕКУЛЫ CO_2 В АТМОСФЕРЕ.

Подбросьте две монеты.

Два орла (ОО)-Атом углерода не поглощается растением и остается в атмосфере до следующего хода.

Орел-решка (ОР) или две решки (РР) - атом углерода поглощается листом растения. -Переход на позицию 2.

2. МОЛЕКУЛА CO_2 С ВАШИМ УГЛЕРОДНЫМ АТОМОМ НАХОДИТСЯ В ЛИСТЕ РАСТЕНИЯ.

Подбросьте две монеты.

ОО.- нет солнечного света! Фотосинтез не происходит. Молекула CO_2 с Вашим углеродным атомом возвращается в атмосферу. - Переход на позицию 1.

ОР или **РР.**- Солнечный свет! Происходит фотосинтез. Ваш углеродный атом в результате включается в молекулу сахара. Переход на позицию 3.

3. АТОМ УГЛЕРОДА ВКЛЮЧЕН В МОЛЕКУЛУ САХАРА В РАСТЕНИИ.

Подбросьте две монеты.

ОО. - Молекула сахара с Вашим атомом углерода окисляется в процессе клеточного дыхания, обеспечивающего растение энергией для роста. Углеродный атом возвращается в составе молекулы CO_2 в атмосферу - на позицию 1.

ОР или **РР.**- Молекула сахара с Вашим углеродным атомом превращается в молекулу, входящую в состав ткани растения, - Переход на позицию 4.

4. АТОМ УГЛЕРОДА ВКЛЮЧЕН В МОЛЕКУЛУ, ВХОДЯЩУЮ В СОСТАВ РАСТИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ.

Подбросьте две монеты.

ОО.- Растение съедено животным. - Переход на позицию 5; подбросьте одну монету 2 раза и определите, какое это животное.

ОР или **РР.**-Часть растения отмирает; образуется мертвое органическое вещество-детрит. -Переход на позицию 6.

5. ТКАНЬ РАСТЕНИЯ С УГЛЕРОДНЫМ АТОМОМ СЪЕДЕНА ПЕРВИЧНЫМ КОНСУМЕНТОМ

Подбросьте две монеты.

ОО. - Травоядное млекопитающее, - Переход на позицию 8а.

ОР.- Птица. - Переход на позицию 8б.

РО.- Насекомое. Переход на позицию 8в.

РР.- Человек (возможно, Вы сами).- Переход на позицию 9.

6. АТОМ УГЛЕРОДА НАХОДИТСЯ В МОЛЕКУЛЕ МЁРТВОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА (ДЕТРИТА).

Подбросьте две монеты.

ОО или **ОР.**- Детрит съеден детритофагом или редуцентом.- Переход на позицию 10, и сыграйте еще раз, чтобы определить, каким именно,

РР.-Пожар! - Переход на позицию 7.

7. МОЛЕКУЛА С УГЛЕРОДНЫМ АТОМОМ ОКИСЛЯЕТСЯ (СГОРАЕТ). КИСЛОРОД СОЕДИНЯЕТСЯ С УГЛЕРОДНЫМ АТОМОМ, И ТОТ ВЫСВОБОЖДАЕТСЯ В АТМОСФЕРУ В СОСТАВЕ МОЛЕКУЛЫ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА. Немедленно возвращайтесь на позицию 1, не делая хода.

8а, б, в. ТКАНЬ РАСТЕНИЯ С УГЛЕРОДНЫМ АТОМОМ СЪЕЛ ПЕРВИЧНЫЙ КОНСУМЕНТ.

Подбросьте две монеты.

ОО. - Молекула с углеродным атомом метаболизировалась, и он вошел в состав соединения, образующего ткань тела консумента. - Переход на позицию 11б.

ОР. - Клеточное дыхание-Переход на позицию 12.

РР. - Молекула с углеродным атомом не переварена; пройдя через желудочно-кишечный тракт, она вышла наружу с фекалиями. Переход на позицию 6.

9. ТКАНЬ РАСТЕНИЯ С УГЛЕРОДНЫМ АТОМОМ СЪЕЛ ЧЕЛОВЕК (ВОЗМОЖНО, ВЫ САМИ);

Подбросьте две монеты.

ОО. - Молекула с углеродным атомом метаболизировалась, и он вошел в состав соединения, образующего ткань человеческого тела. - Переход на позицию 11а. **ОР.**- Клеточное дыхание-Переход на позицию 12.

РР.- Молекула с углеродным атомом не переварена; пройдя через желудочно-кишечный тракт, она вышла наружу с фекалиями. - Переход на позицию 6.

10. МОЛЕКУЛА С УГЛЕРОДНЫМ АТОМОМ СЪЕДЕНА ПЕРВИЧНЫМ ДЕТРИТОФАГОМ ИЛИ РЕДУЦЕНТОМ,

Подбросьте две монеты.

ОО .-Земляной червь. - Переход на позицию 15б.

ОР. - Гриб .-Переход на позицию 15в.

РО. - Бактерия. - Переход на позицию 15а.

РР. - Насекомое, - Переход на позицию 15г.

11а. АТОМ УГЛЕРОДА ВХОДИТ В СОСТАВ СОЕДИНЕНИЯ, ОБРАЗУЮЩЕГО ТКАНЬ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ТЕЛА.

Подбросьте монету.

О. - Соединение подверглось расщеплению и метаболизируяю в процессе клеточного дыхания. - Переход на позицию 12.

Р. - Человек умирает и его тело кремируют. - Переход на позицию 7. '

116. АТОМ УГЛЕРОДА ВХОДИТ В СОСТАВ СОЕДИНЕНИЯ, ОБРАЗУЮЩЕГО ТКАНЬ ПЕРВИЧНОГО КОНСУМЕНТА, ИЛИ ФИТОФАГА.

Подбросьте две монеты.

ОО. - Соединение подверглось расщеплению и метаболизировано в процессе клеточного дыхания. - Переход на позицию 12.

ОР. - Первичный консумент съеден вторичным консументом. - Переход на позицию 13.

РР.-Первичный консумент погиб от ранения или болезни. - Переход на позицию 6.

11в. АТОМ УГЛЕРОДА ВХОДИТ В СОСТАВ СОЕДИНЕНИЯ, ОБРАЗУЮЩЕГО ТКАНЬ ВТОРИЧНОГО КОНСУМЕНТА (ПЛОТЯДНОГО ЖИВОТНОГО),

Подбросьте две монеты.

ОО. - Молекула подверглась расщеплению и метаболизирована в процессе клеточного дыхания. - Переход на позицию 12.

ОР.- Вторичный консумент съеден консументом третьего порядка. - Переход на позицию 14.

РР.-Вторичный консумент погиб от ранения или болезни. -Переход на позицию 6.

11г. АТОМ УГЛЕРОДА ВХОДИТ В СОСТАВ СОЕДИНЕНИЯ, ОБРАЗУЮЩЕГО ТКАНЬ КОНСУМЕНТА ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА (ПЛОТЯДНОГО ЖИВОТНОГО).

Подбросьте две монеты.

ОО. Молекула подверглась расщеплению и метаболизирована в процессе клеточного дыхания. Переход на позицию 12.

ОР.- Консумент третьего порядка съеден консументом четвертого порядка. - Переход на позицию 14.

РР.-Консумент третьего порядка погиб от ранения или болезни. Переход на позицию 6.

12. МОЛЕКУЛА, СОДЕРЖАЩАЯ АТОМ УГЛЕРОДА, РАСЩЕПЛЯЕТСЯ В ПРОЦЕССЕ КЛЕТОЧНОГО ДЫХАНИЯ С ВЫСВОБОЖДЕНИЕМ ЭНЕРГИИ,

НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ДВИЖЕНИЯ КОНСУМЕНТА. ПРИ ЭТОМ УГЛЕРОДНЫЙ АТОМ СОЕДИНЯЕТСЯ С АТОМАМИ КИСЛОРОДА И ВЫСВОБОЖДАЕТСЯ В АТМОСФЕРУ В СОСТАВЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА.

Немедленно возвращайтесь на позицию 1, не сделав хода.

13. МОЛЕКУЛА С УГЛЕРОДНЫМ АТОМОМ СЪЕДЕНА ВТОРИЧНЫМ КОНСУМЕНТОМ,

Подбросьте две монеты.

ОО.- Молекула с углеродным атомом метаболизирована с образованием соединения, входящего в состав ткани консумента. - Переход на позицию 11в.

ОР. - Клеточное дыхание-Переход на позицию 12.

РР.-Молекула с углеродным атомом не переварена; пройдя через желудочно-кишечный тракт, она вышла наружу с фекалиями. - Переход на позицию 6.

14. МОЛЕКУЛА С УГЛЕРОДНЫМ АТОМОМ СЪЕДЕНА КОНСУМЕНТОМ ТРЕТЬЕГО ИЛИ ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА.

Подбросьте две монеты.

ОО. - Молекула с углеродным атомом метаболизировалась с образованием соединения, входящего в состав ткани тела консумента. - Переход на позицию 11г.

ОР. - Клеточное дыхание! - Переход на позицию 12.

РР.- Молекула с углеродным атомом не переварена; пройдя через желудочно-кишечный тракт, она вышла наружу с фекалиями. - Переход на позицию 6.

15а. МОЛЕКУЛА С УГЛЕРОДНЫМ АТОМОМ ПОГЛОЩЕНА БАКТЕРИЕЙ.

Подбросьте монету,

О. - Молекула включена в состав бактериальной клетки. - Переход на позицию 16.

Р. - Молекула расщепляется и метаболизируется в процессе клеточного дыхания. - Переход на позицию 12.

156. МОЛЕКУЛА С УГЛЕРОДНЫМ АТОМОМ СЪЕДЕНА ЗЕМЛЯНЫМ ЧЕРВЕМ.

Подбросьте две монеты.

ОО. - Молекула включается в состав тела червя. - Переход на позицию 17.

ОР.- Молекула расщепляется и метаболизируется в процессе клеточного дыхания. - Переход на позицию 12.

РР.- Молекула не переварена; пройдя через желудочно-кишечный тракт, она выходит наружу с фекалиями. - Переход на позицию 6.

15в. МОЛЕКУЛА С УГЛЕРОДНЫМ АТОМОМ ПОГЛОЩЕНА ГРИБОМ

Подбросьте монету.

О. - Молекула включается в состав гриба. - Переход на позицию 18.

Р.- Молекула расщепляется и метаболизируется в процессе клеточного дыхания
Переход на позицию 12.

15г. МОЛЕКУЛА С УГЛЕРОДНЫМ АТОМОМ СЪЕДЕНА ЛИЧИНКОЙ НАСЕКОМОГО.

Подбросьте две монеты.

ОО. - Молекула включается в состав тела насекомого.-Переход на позицию 19.

ОР. - Молекула расщепляется и метаболизируется в процессе клеточного дыхания. - Переход на позицию 12.

РР. - Молекула не переварена; пройдя через желудочно-кишечный тракт, она выходит наружу с фекалиями. - Переход на позицию 6

16. АТОМ; УГЛЕРОДА ВХОДИТ В СОСТАВ БАКТЕРИАЛЬНОЙ КЛЕТКИ.

Подбросьте две монеты.

ОО. - Молекула расщепляется и метаболизируется в процессе клеточного дыхания. - Переход на позицию 12.

ОР. - бактерия съедена земляным червем. - Переход на позицию 156.

РР.-Бактерия погибла. - Переход на позицию 6.

17. АТОМ УГЛЕРОДА ВХОДИТ В СОСТАВ ТЕЛА ЗЕМЛЯНОГО ЧЕРВЯ.

Подбросьте две монеты.

ОО.- Молекула расщепляется и метаболизируется в процессе клеточного дыхания. Переход на позицию 12.

ОР. - Земляного червя съела птица .-Переход на позицию 86.

РР.-Земляной червь погиб от ранения или болезни. -Переход на позицию 6.

18. УГЛЕРОДНЫЙ АТОМ ВХОДИТ В СОСТАВ ГРИБА;

Подбросьте две монеты.

ОО. - Молекула расщепляется и метаболизируется в процессе клеточного дыхания. - Переход на позицию 12.

ОР. - Гриб съеден насекомым. - Переход на позицию 15.

РР. - Гриб отмер. -Переход на позицию 6.

19. АТОМ УГЛЕРОДА ВХОДИТ В СОСТАВ ТЕЛА НАСЕКОМОГО.

Подбросьте две монеты.

ОО. - Молекула расщепляется и метаболизируется в процессе клеточного дыхания, - Переход на позицию 12,

ОР. - Насекомое съедено мелким млекопитающим. - Переход на позицию 14.

РР. - Насекомое погибло от ранения или болезни. - Переход на позицию 6.

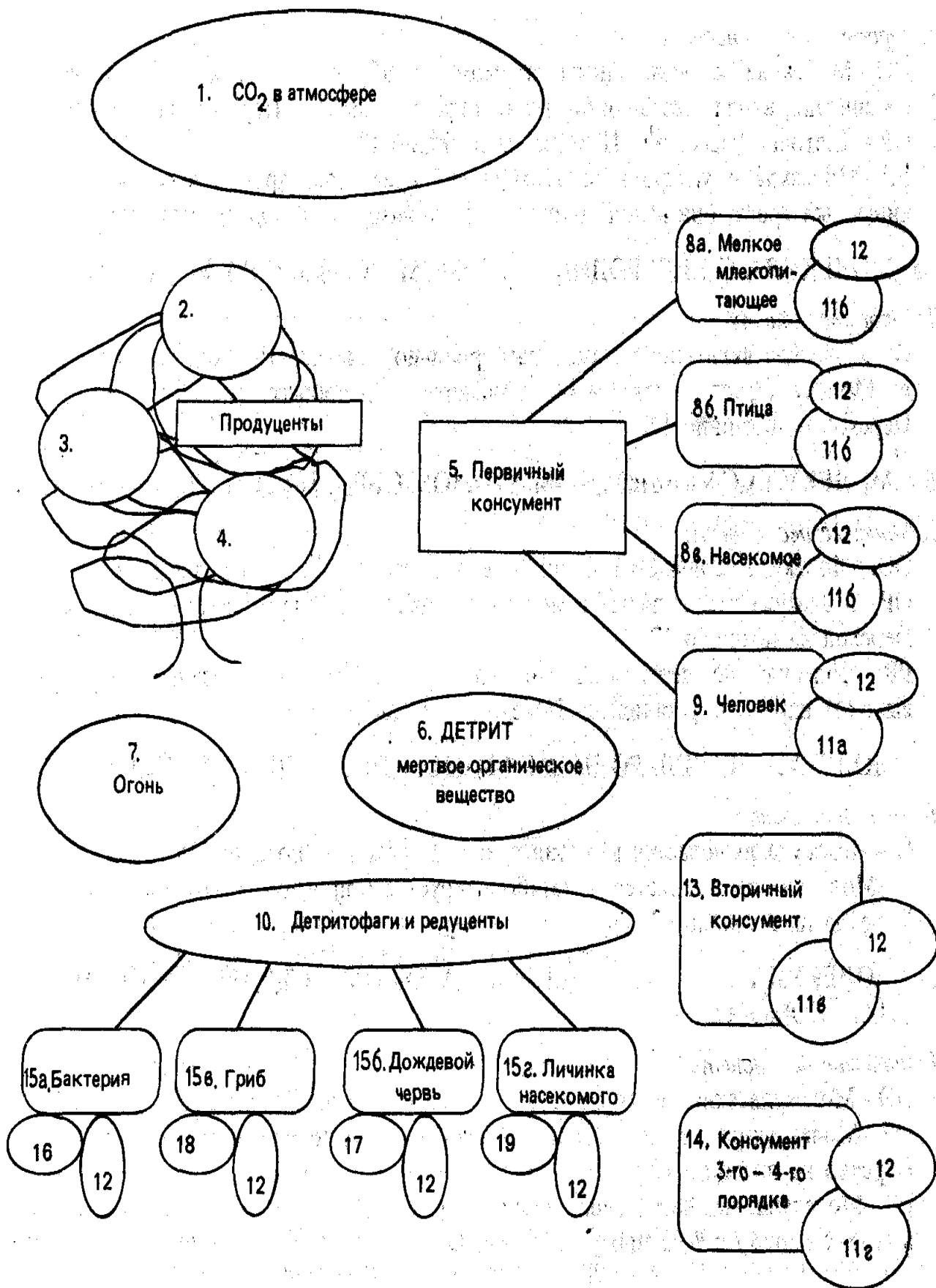


Рисунок 2 Цикл углерода

Задание 2

Используя инструкцию, вычертите круговорот углерода, задействовав все перечисленные в инструкции позиции.

Задание 3

Ответьте на вопросы

3.1. Какие важные пути миграции атома углерода пропущены в игре? Опишите, как атомы углерода в них попадают и как по ним проходят?

3.2. Почему атомы углерода из диоксида углерода не включаются в молекулу сахара в темноте?

3.3. Почему не происходит загрязнения природной экосистемы отходами различных организмов? Приведите примеры, иллюстрирующие Вашу точку зрения, заполнив следующую таблицу.

№ п/п	Тип отходов	Источник (организм)	Как используется
1			
2			
3			

Состав отчета:

1. Цель работы.
2. Три «игровых» цикла углерода.
3. Цикл углерода, соответствующий всем позициям инструкции.
4. Ответы на вопросы.

Словарь терминов

Детритофаги – организмы, питающиеся мертвым органическим веществом.

Лимитирующий фактор - экологический фактор, наиболее отклоняющийся от оптимального значения и ограничивающий жизнедеятельность организма, популяции или экосистемы.

Метаболизм – (от греч. metabole) – совокупность биохимических реакций и превращений веществ и энергии в клетках живых организмов, сопровождающихся обменом веществ между организмом и средой.

Сапрофаги – организмы, питающиеся органическими остатками.

Литература

1. Небел. Б. Наука об окружающей среде: Как устроен мир: в 2-х т. Т 2. Пер. с англ. М.: Мир, 1993.- 336 с.
2. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Экология: Учебник для вузов. М.: ЮНИТИ, 1998. -455 с.
3. Экология: Учебник для технических вузов/ Л.И. Цветкова, М.И. Алексеев, и др.; Под ред. Л.И. Цветковой. –М.: АСВ; СПб: Химиздат, 2001.-552с
4. Шилов И.А. Экология: Учеб для биол. и мед. Спец. Вузов. – М.: Высш. Шк., 1997.-512 с.
5. Потапов А.Д. Экология. Учебник для вузов - М.: Высш. Шк., 2000.-446 с.
6. Киселев В.Н. Основы экологии: Учеб. Пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Мн.: Універсітэцкае, 2000.- 383с.
7. Биogeография с основами экологии: Учебник. – 4-е изд. / А.Г. Воронов, Н.Н. Дроздов, Д.А. Криволицкий, Е.Г. Мяло.- М.: Изд-во МГУ: Изд-во «Высшая школа», 2002.- 392 с.
8. Зайцев В.А., Макаров С.В. Введение в промышленную экологию: Учебное пособие по курсу «Охрана природы, текст лекций. М.: МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1983.-68 с.
9. Смирнов Г.В., Карташев А.Г., Зиновьев Г.Г., Воскресенский В.В. Экология: Учебное пособие. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2000.- 145 с.