



УДК 504

Составители: В.В. Юшин, В.М. Попов, О.И. Белякова.

Рецензент

Кандидат химических наук, доцент *В.В. Протасов*

**Круговорот углерода: методические указания к проведению практических занятий по дисциплинам «Общая экология», «Экология», «Экология Курского края» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В.В. Юшин, В.М. Попов, О.И. Белякова. Курск, 2013. 15 с.: ил. 3. Библиогр.: 4.**

Излагаются сущность круговорота углерода, влияние на него деятельности человека.

Предназначены для студентов всех специальностей и направлений очной и заочной формы обучения, изучающих дисциплины «Общая экология», «Экология», «Информационная экология», «Экология Курского края».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать                      Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 0,9 . Уч.-изд.л. 0,8 . Тираж 50 экз. Заказ. Бесплатно. 187  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

### ***Цель занятия:***

- изучить круговорот углерода;
- проследить различные пути гипотетического атома углерода из атмосферы через различные организмы и обратно в атмосферу.

### ***Общие положения***

В настоящее время биогенные элементы земной коры охвачены глобальными и локальными круговоротами, причем движущей силой являются сами живые организмы. Наиболее значимыми для функционирования биосферы являются круговороты углерода, кислорода, азота, серы, фосфора.

В биологическом круговороте углерода участвуют только органические соединения и диоксид углерода.

Фонды углерода в биосфере обширны. Основная его масса аккумулирована в карбонатных отложениях дна океана ( $1,3 \cdot 10^{16}$  т), в кристаллических породах ( $1 \cdot 10^{16}$  т), каменном угле и нефти ( $0,34 \cdot 10^{16}$  т). В атмосфере углекислого газа сравнительно немного ( $1,3 \cdot 10^{12}$  т), менее 1/10000 общего запаса углерода. Аккумулированный углерод принимает участие в геологическом круговороте Земли. Влияние этого круговорота на краткосрочное функционирование экосистемы незначительно. Поэтому жизнь на Земле и газовый баланс атмосферы поддерживаются относительно небольшим количеством углерода, участвующего в малом круговороте. Фотосинтез и дыхание полностью комплементарны. Весь ассимилированный в процессе фотосинтеза углерод включается в углеводы, а в процессе дыхания весь углерод, содержащийся в органических соединениях, превращается в диоксид углерода (рис.1).

Биологический круговорот углерода протекает по схеме: биоассимиляции углерода из атмосферы, водной или наземной среды растениями → потребление органических соединений животными → окисление органических веществ до углекислого газа в процессе дыхания и разложения отходов → возврат углекислого газа в атмосферу. Если принять за 100 % углерод, ассимилированный растениями в ходе фотосинтеза, то примерно 30 % возвращается в фонд атмосферного углекислого газа в результате дыхания растений, а остальные 70 % обеспечивают дыхание и продукцию животных, бактерий и грибов в растительноядных и детритных пищевых цепях. В на-

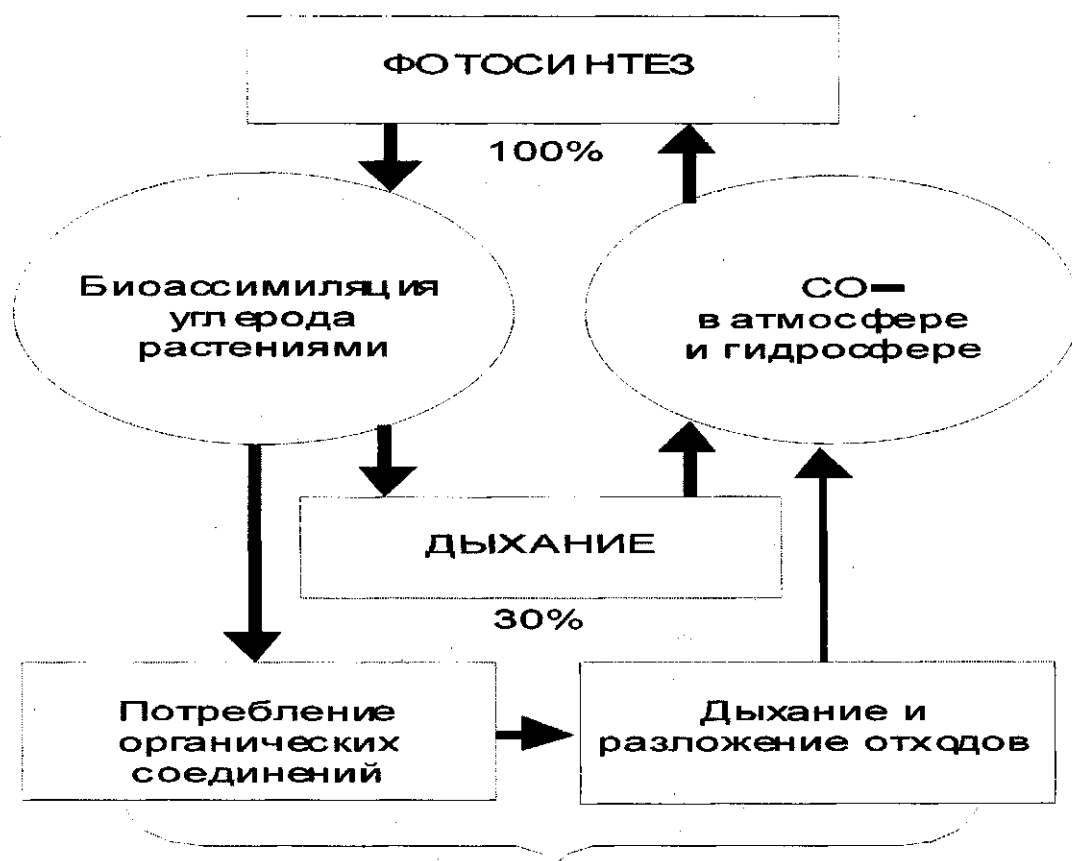


Рис.1. Круговорот углерода

земных экосистемах в круговорот вовлекается ежегодно 12 % содержащегося в атмосфере углекислого газа. Поэтому углерод сравнительно быстро циркулирует между атмосферой, гидросферой и живыми организмами. Время переноса атмосферного углерода равно примерно восьми годам. В связи с этим система круговорота атмосферного углерода очень чувствительна к внешним воздействиям.

На рис.2 показаны некоторые другие звенья круговорота углерода, учитывающие геологический круговорот. Например, некоторая часть планетарного углерода на длительные периоды связывается в форме ископаемых видов топлива – каменного и бурого угля, нефти, природного газа, торфа, битумных песков и сланцев, - процесс образования которых в литосфере длился миллионы лет. В таком виде углерод остается «связанным» до тех пор, пока не будет снова введен в атмосферу в форме углекислого газа, что происходит при добыче и сжигании минерального топлива.

В водных экосистемах углерод и кислород, соединяясь с кальцием, образуют нерастворимый карбонат кальция, из которого состо-

ят раковины моллюсков и минералы. Когда моллюски умирают, они опускаются на дно, и их раковины погружаются в слой донных осадков.

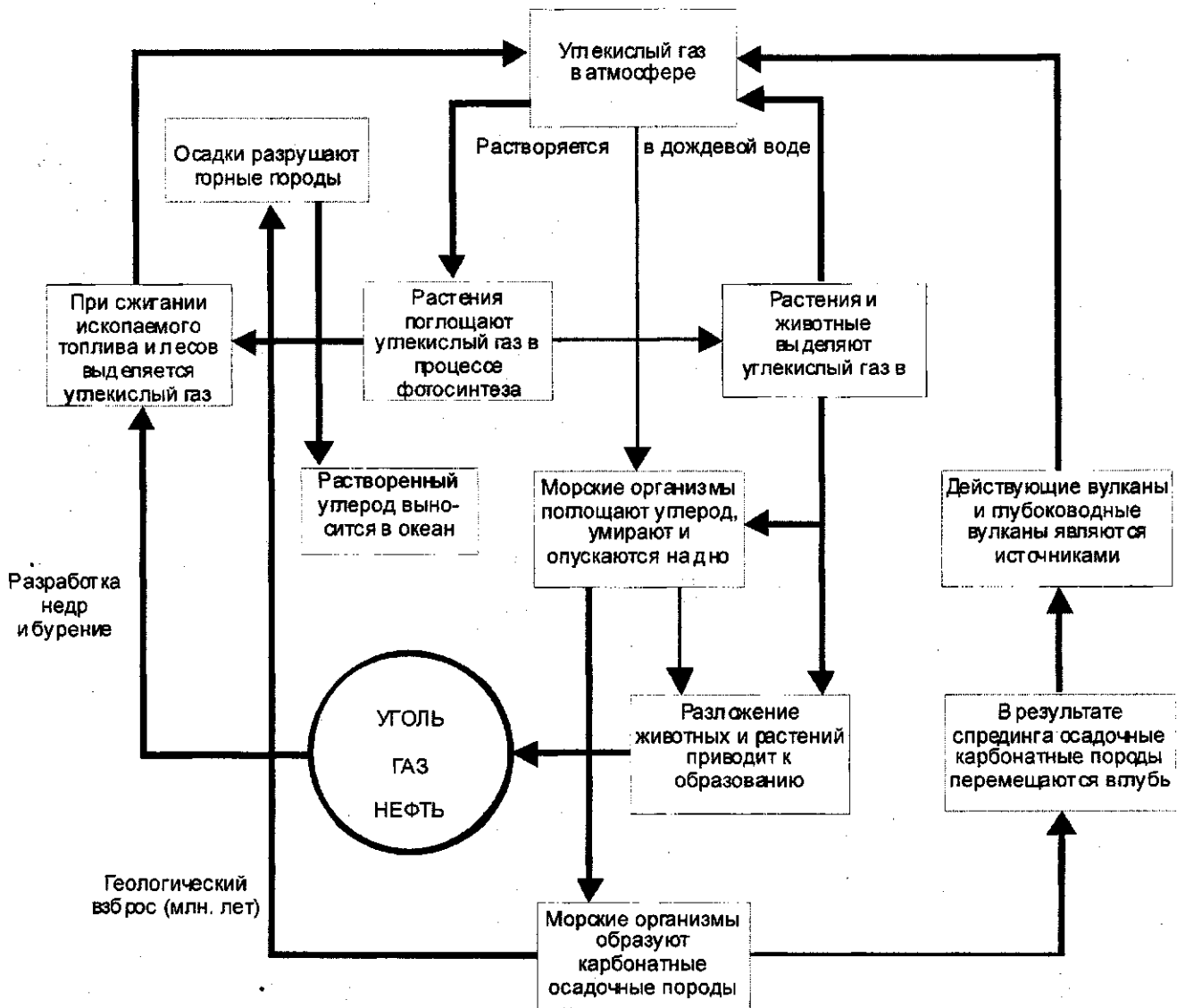


Рис.2. Диаграмма других частей углеродного цикла, включающая последствия антропогенной деятельности.

Возврат углерода из осадочных отложений в активный круговорот происходит чрезвычайно медленно на протяжении миллионов лет, путем растворения этих отложений в океанической воде и образования растворенного углекислого газа, который впоследствии может попадать в атмосферу. Расплавление горных пород в ходе дли-

тельных геологических процессов и при вулканических извержениях также приводит к выбросу углекислого газа в воздух и в воду. Кроме того, вертикальные движения земной коры могут поднимать блоки осадочных пород выше уровня моря, что приводит к образованию островов и целых материков, а также подвергает обнажившиеся карбонатные породы активным химическим реакциям с выделением углекислого газа.

Другой важной частью круговорота углерода (не показанной на рис.2) является анаэробное дыхание, происходящее без доступа кислорода. В ходе этого процесса различные виды анаэробных бактерий преобразуют органические соединения в газообразный метан. Такой тип дыхания встречается в основном в болотных экосистемах. Он может также наблюдаться на свалках, где происходит захоронение промышленных и бытовых отходов.

С середины XX в. ускорился процесс вмешательства человека в круговорот углерода:

- сведение лесов и другой растительности без достаточных лесовосстановительных работ, в связи с чем уменьшается общее количество растительности, способной поглощать  $\text{CO}_2$ . Кроме того, дополнительные количества углекислого газа поступают в атмосферу при разложении порубочных остатков на лесосеках и при взаимодействии атмосферного кислорода с корнями и органикой из нарушенного почвенного покрова;

- сжигание углеродсодержащих ископаемых видов топлива и древесины. Образующийся при этом углекислый газ попадает в атмосферу.

Содержание в атмосфере  $\text{CO}_2$  значительно увеличилось и продолжает расти. Такое положение вызывает серьезную озабоченность, так как нарушается сложившееся в природе энергетическое равновесие.  $\text{CO}_2$  является парниковым газом (способным поглощать инфракрасное излучение), в связи с чем, увеличение его содержания в атмосфере приводит к появлению проблемы "глобального потепления". Ученые предсказывают, что этот углекислый газ вместе с другими летучими техногенными выбросами может в ближайшее десятилетие вызвать потепление земной атмосферы и тем самым нарушить процесс производства продуктов питания.

## Задание

Проследить путь атома углерода в ходе круговорота.

### Порядок проведения работы.

1. Изучить схему на рис.3, на которой представлены элементы экосистемы, в которые может попадать атом углерода в ходе круговорота, и инструкцию к ней.

2. Провести первый цикл углерода. Принять, что атом углерода входит в состав молекулы  $\text{CO}_2$  в атмосфере. По очереди, подбрасывая монеты, продвигать атом углерода в соответствии с тем, что выпадет, на позиции, указанные в приводимой инструкции. При этом отмечать позицию и что означает каждая позиция. Перемещение атомов не соответствует порядку номеров, а происходит случайно в зависимости от того, как упадут монеты. Когда атом возвратится в атмосферу, цикл углерода завершён.

Пример цикла:



3. Аналогично провести еще четыре цикла.

4. Сделать вывод в каком цикле атом углерода:

- «посетил» максимум различных организмов;
- прошёл самый длинный цикл;
- больше всего времени провёл в атмосфере.

5. Подумайте об одном из атомов углерода, входящих в состав Вашего тела. Каким образом он попал в Ваш организм? Где был до этого? Какова его гипотетическая история за последний миллиард лет? Где окажется этот атом в дальнейшем? Опишите его гипотетическое будущее в течение ближайших нескольких тысяч лет.

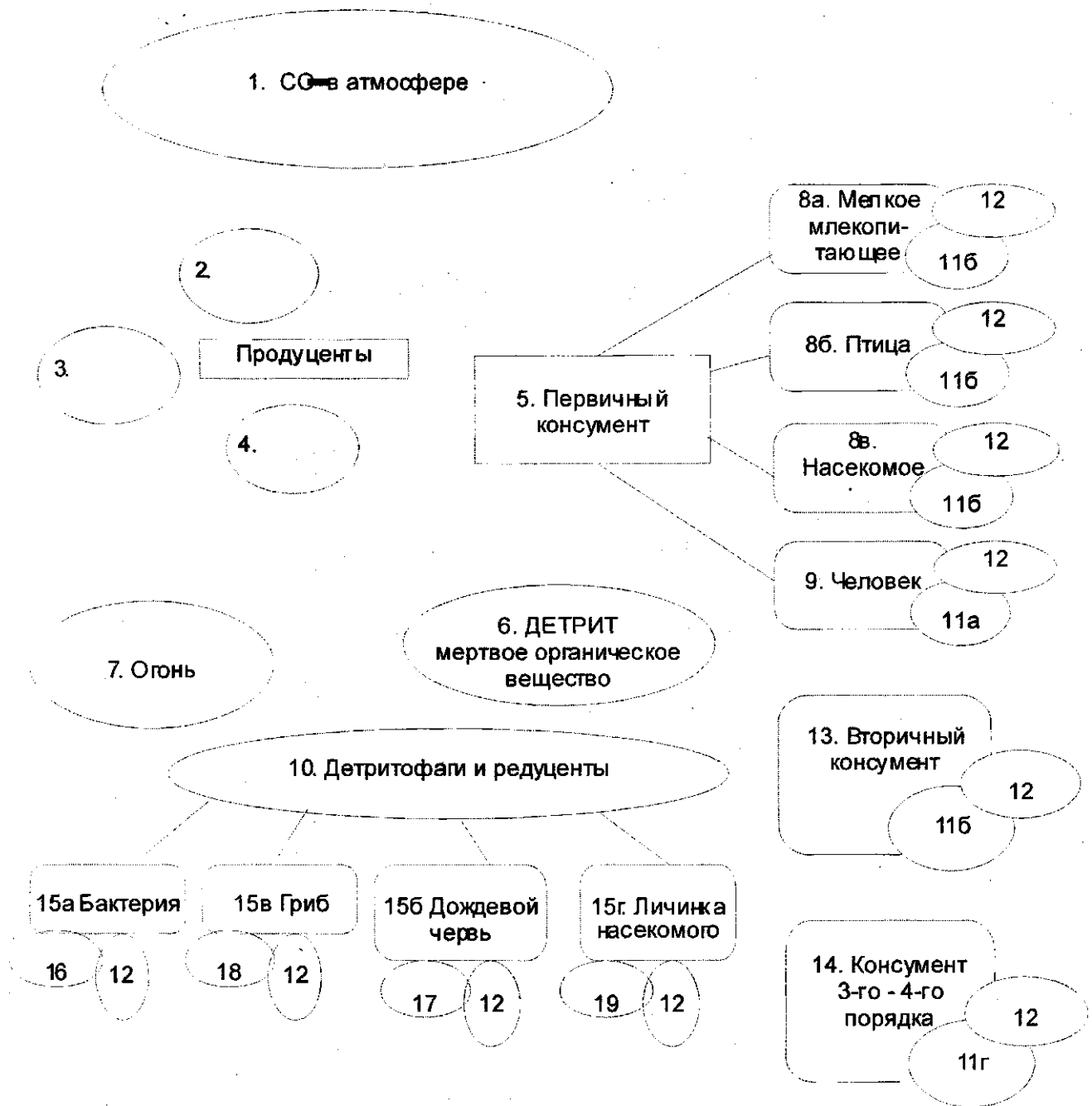


Рис.3. Цикл углерода

### Инструкция к проведению работы.

**1. АТОМ УГЛЕРОДА ВХОДИТ В СОСТАВ МОЛЕКУЛЫ CO<sub>2</sub> В АТМОСФЕРЕ.**

Подбросьте две монеты.

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



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

## 2. МОЛЕКУЛА $\text{CO}_2$ С ВАШИМ УГЛЕРОДНЫМ АТОМОМ НАХОДИТСЯ В ЛИСТЕ РАСТЕНИЯ.

Подбросьте две монеты.

ОО. – Нет солнечного света! Фотосинтез не происходит. Молекула  $\text{CO}_2$  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 ВКЛЮЧЁН 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  $\text{CO}_2$  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 ВКЛЮЧЁН В МОЛЕКУЛУ, ВХОДЯЩУЮ В СОСТАВ РАСТИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ.

Подбросьте 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 мёртвое органическое вещество – детрит. – Переход на позицию 6.

## 5. ТКАНЬ РАСТЕНИЯ С УГЛЕРОДНЫМ АТОМОМ СЪЕДЕНА ПЕРВИЧНЫМ КОНСУМЕНТОМ.

Подбросьте два раза одну монету.

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 ещё 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.**

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

Подбросьте две монеты.

ОО. – Молекула с углеродным атомом метаболizировалась, и он вошёл 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 желудочно-кишечный тракт, она вышла наружу с фекалиями. – Переход на позицию 6.

**9. ТКАНЬ РАСТЕНИЯ С УГЛЕРОДНЫМ АТОМОМ СЪЕЛ ЧЕЛОВЕК**

Подбросьте две монеты.

ОО. – Молекула с углеродным атомом метаболizировалась, и он вошёл 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 два раза одну монету.

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 метаболизированию (превращению) в процессе клеточного дыхания. – Переход на позицию 12.

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

**11б. 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 (ПЛОТОЯДНОГО 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 (ПЛОТОЯДНОГО 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.**

**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 ЧЕТВЁРТОГО 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.

**15б. МОЛЕКУЛА С УГЛЕРОДНЫМ АТОМОМ СЪЕДЕНА ЗЕМЛЯНЫМ ЧЕРВЁМ.**

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 червём. – Переход на позицию 15б.

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 8б.

РР. – Земляной червь погиб от ранений или болезней. – 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.

## **Контрольные вопросы**

1. Значение круговорота углерода для существования жизни на Земле.
2. Планета Земля представляет собой замкнутую или открытую систему по веществу и энергии? Обоснуйте ответ.
3. Основные этапы круговорота углерода (малый биотический круговорот).
4. Кто такие продуценты, консументы, детритофаги, редуценты?
5. Пофантазируйте, что будет, если вдруг какая-то из перечисленных групп организмов исчезнет?
6. Как долго (сколько лет) атомы углерода циркулируют в биосфере?

7. Биологический смысл процесса фотосинтеза, ход реакции и условия её протекания.
8. Биологический смысл процесса дыхания.
9. Расскажите об особенностях движения углерода в водных экосистемах.
10. Расскажите о процессе образования ископаемого топлива.
11. В каких превращениях участвуют углеродные атомы, проходя цикл?
12. Почему атомы углерода из диоксида углерода не включаются в молекулу сахара в темноте?
13. Вмешательство человека в круговорот углерода: привести примеры и объяснить последствия.
14. Почему не происходит загрязнения природной экосистемы отходами различных организмов.

#### **Список использованных источников**

1. Лапин В.Л., Мартинсен А.Г., Попов В.М. Основы экологических знаний инженера. М: Экология, 1996 - 176 с.
2. Небел Б. Наука об окружающей среде: В 2-х т. Т.1. М.: Мир, 1993 – 424 с.
3. Глобальное потепление: Доклад Гринпис / под ред. Дж.Леггета. М.: Изд-во МГУ, 1993 – 227 с.
4. Миллер Т. Жизнь в окружающей среде. В 3-х т. Т.1. М.: Издательская группа «Прогресс», «Пангея», 1993 – 256 с.