

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 31.01.2019 10:31:05

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabb73e45d7448311da56a009

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра охраны труда и окружающей среды



### ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Методические указания к проведению практических занятий по дисциплинам «Общая экология», «Экология», «Информационная экология», «Экология Курского края», «Урбоэкология», «Процессы и аппараты защиты окружающей среды», «Системы защиты среды обитания» для студентов всех специальностей и направлений всех форм обучения

УДК 66.074.2/3

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

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *Г.П. Тимофеев*

**Загрязнение атмосферного воздуха автомобильным транспортом:** методические указания к проведению практических занятий / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. О.И. Белякова, В.М. Попов, В.В. Юшин – Курск, 2019. – 17 с. Библиогр.: с. 17.

Излагаются методические рекомендации для расчета загрязнения атмосферы выбросами токсичных компонентов с отработавшими газами двигателями автотранспорта.

Предназначаются для студентов всех специальностей и направлений очной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 22.02.19 Формат 60×84 1/16.

Усл. печ. л. 0,8. Уч. - изд. л. 0,7. Тираж 30 экз. Заказ 109. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.  
305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

**Цель занятия:** изучить теоретические положения загрязнения атмосферы автотранспортными средствами, влияние на окружающую среду и здоровье человека выбросов автомобильным транспортом токсичных веществ, освоить методику расчета выбросов токсичных компонентов с отработавшими газами двигателями автотранспорта.

### Общие положения

В настоящее время основной причиной загрязнения воздуха в городах являются транспортные выбросы, которые постоянно оказывают влияние на здоровье человека. Выхлопные газы, выбрасываемые в атмосферу автомобильным транспортом, которые также называют отработавшими газами (ОГ), являются продуктами работы двигателей внутреннего сгорания в результате переработки топлива. Количество их в атмосфере городов только растет, учитывая стремительный рост автотранспорта.

Все автомобили выбрасывают в воздух канцерогены и токсичные вещества. Двигатели внутреннего сгорания применяемые в автомобильном транспорте разделяются на двигатели с внешним и внутренним смесеобразованием. Они образуют две группы. Первую составляют карбюраторные двигатели, вторую - дизельные.

Состав выхлопных газов автомобиля меняется в зависимости от типа двигателя (бензиновый или дизельный), однако основной набор остается постоянным.

Примерное содержание токсичных веществ в отработавших газах (ОГ) автомобилей приведено в таблице 1.

Таблица 1

#### Содержание вредных веществ в отработавших газах двигателей внутреннего сгорания

Компонент	Объемная доля в бензиновом двигателе, %	Объемная доля в дизельном двигателе, %	Токсичность
Азот	74–77	76–78	нетоксичен
Кислород	0,3–8	2–18	нетоксичен
Водяной пар	3–5,5	0,5–4	нетоксичен
Диоксид углерода	5–12	1–10	нетоксичен
Оксид углерода	0,1–10	0,01–5	токсичен

Углеводороды	0,2–3	0,009–0,5	токсичны
Альдегиды	0–2	0,001–0,009	токсичны
Бензапирен, г/м <sup>3</sup>	0,01–0,02	0–0,01	токсичен
Диоксид азота	0,05 – 0,5	0,1 – 1,0	токсичен
Диоксид серы	0–0,002	0–0,03	токсичен
Сажа, г/м <sup>3</sup>	0–0,04	0,1–1,1	токсична

Как видно, состав выхлопных газов достаточно разнообразен, и большая часть компонентов токсична.

Выхлопные газы автомобиля могут нанести вред здоровью, и достаточно серьезный. Прежде всего, оксид углерода или угарный газ не имеет вкуса и запаха, но при высокой концентрации вызывает головокружение, головную боль, тошноту, может приводить к обморокам.

Сернистый бензин и создаваемый им оксид серы – одна из причин сильного запаха выхлопных газов. Дело в том, что молекулы диоксида серы очень ощутимо воздействуют на обонятельные рецепторы, поэтому этот запах чувствуется даже при невысокой концентрации, а более концентрированный “аромат” перекрывает все остальные запахи для носа человека, что может подтвердить каждый, кто зажигал в доме спички. Этилированные бензины обогащают воздух свинцом. Количество таких выхлопных газов и вред здоровью, который они наносят, сделало свинец одним из самых известных отравляющих компонентов в атмосфере. В настоящее время такой бензин в качестве топлива для автомобилей уже не используется, но довольно долго его пары наполняли все крупные города. Углеводороды в выбросах автомобилей окисляются при попадании под действие солнечных лучей и образуют токсичные соединения с резким запахом, которые особенно сильно сказываются на работе верхних дыхательных путей и приводят к обострениям хронических заболеваний дыхательной системы.

Вред от выхлопных газов автомобиля во многом объясняют канцерогены – сажа и бензапирен, которые способствуют развитию опухолей, особенно — злокачественных.

Рассматривая выхлопные газы и вред, который они приносят, нужно добавить и про влияние этого химического коктейля целиком: длительный контакт с выхлопными газами приводит к смерти, в частности — от отравления конкретно угарным газом. Наибольшая опасность этих выбросов состоит в их количестве, распростра-

ненности и мелком размере частиц, что позволяет выхлопам проходить через естественные барьеры организма и попадать в легкие. При постоянном воздействии выхлопных газов на организм может развиваться иммунодефицит, бронхиты, страдают сосуды головного мозга, нервная система и другие органы. Кроме того, большая часть токсичных веществ, входящих в состав выхлопных газов, может взаимодействовать друг с другом и с другими компонентами атмосферы, что способствует образованию смога.

Вредные и токсичные вещества, содержащиеся в ОГ двигателей, в зависимости от механизма их образования можно разделить на три группы.

а) углеродсодержащие вещества — продукты полного и неполного сгорания топлив: ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ , углеводороды, в том числе полициклические ароматические, сажа);

б) вещества, механизм образования которых непосредственно не связан с процессом сгорания топлива (оксиды азота — по термическому механизму);

в) вещества, выброс которых связан с примесями, содержащимися в топливе (соединения серы, свинца, других тяжелых металлов), воздухе (кварцевая пыль, аэрозоли), а также образующимися в процессе износа деталей (оксиды металлов).

Рассмотрим подробнее механизмы образования наиболее опасных для окружающей среды веществ.

*Моноксид углерода  $\text{CO}$*  — образуется в ходе предпламенных реакций, при сгорании углеводородного топлива с некоторым недостатком воздуха, а также при диссоциации  $\text{CO}_2$  (при температурах более 2000 К).

В дизелях, работающих при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha > 1$  (бедная смесь), вероятность образования  $\text{CO}$  меньше, но в цилиндрах находятся дополнительные источники его появления (низкотемпературные участки пламени стадии воспламенения топлива; капли топлива, поступающие в камеру на поздних стадиях впрыска и сгорающие в диффузионном пламени при недостатке кислорода).

*Диоксид углерода  $\text{CO}_2$*  является не токсичным, но вредным веществом в связи с фиксируемым повышением его концентрации в атмосфере планеты и его влиянием на изменение климата.

$\text{CO}$  (угарный газ) оказывает вредное воздействие на организм человека. При вдыхании оксид углерода блокирует поступление

кислорода в кровь и вследствие этого вызывает головные боли, тошноту, а в более высоких концентрациях - даже смерть. ПДК СО при кратковременном контакте составляет  $30 \text{ мг/м}^3$ , при длительном контакте -  $10 \text{ мг/м}^3$ . Если концентрация оксида углерода во вдыхаемом воздухе превысит  $14 \text{ мг/м}^3$ , то возрастает смертность от инфаркта миокарда.

Основная доля образовавшихся в камере сгорания СО окисляется до  $\text{CO}_2$ , не выходя за пределы камеры, ибо замеренная объемная доля диоксида углерода в ОГ составляет 10—15%, т. е. в 300—450 раз больше, чем в атмосферном воздухе. Окисление СО в  $\text{CO}_2$  происходит в выпускной трубе, а также в нейтрализаторах ОГ.

*Оксиды азота  $\text{NO}_x$*  представляют набор следующих соединений:  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}_5$ . Преобладает  $\text{NO}$  (99% в бензиновых двигателях и более 90% в дизелях). В атмосфере при нормальных условиях  $\text{NO}$  окисляется до  $\text{NO}_2$ . В камере сгорания  $\text{NO}$  может образовываться:

- при высокотемпературном окислении азота воздуха (термический  $\text{NO}$ );
- в результате низкотемпературного окисления азотсодержащих соединений топлива (топливный  $\text{NO}$ );
- из-за столкновения углеводородных радикалов с молекулами азота в зоне реакций горения при наличии пульсаций температуры (быстрый  $\text{NO}$ ).

В камерах сгорания доминирует термический  $\text{NO}$ , образующийся из молекулярного азота во время горения бедной топливо-воздушной смеси и смеси, близкой к стехиометрической.

*Углеводороды  $\text{C}_x\text{H}_y$*  — несколько десятков наименований веществ, образующихся в результате:

- реакций цепочно-теплового взрыва — пиролиза и синтеза (полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), альдегиды, фенолы);
- неполноты сгорания в результате нарушения процесса горения (несгоревшие компоненты топлива и масла).

Наиболее токсичны из углеводородов ПАУ. Максимальный уровень токсичности (агрессивность + концентрация) имеет бенз(а)пирен  $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ .

*Твердые частицы* включают твердый углерод, оксиды металлов, диоксид кремния, сульфаты, нитраты, асфальты, соединения свинца.

Твердый углерод (сажа) является основным компонентом твердых частиц. При содержании 130 мг сажи в 1 м<sup>3</sup> отработавших газов они становятся видимыми, при содержании 600 мг в 1 м<sup>3</sup> - принимают цвет средней черноты. Большинство частиц сажи, отфильтрованных из черного дыма (87-98%), имеют размеры в 0,04—0,50 мкм. В свою очередь они состоят из более мелких частиц размером 0,015—0,170 мкм.

Механизм образования сажи недостаточно изучен и связан с большим количеством химических реакций. В общем случае он представляет собой последовательность процессов разложения углеродных топлив, образования активных углеродных частиц в пламени, роста ядер сажи, агломерации частиц и, наконец, окисления сажи.

Выделение сажи из пламени происходит при  $\alpha = 0,33 - 0,7$ . В отрегулированных двигателях с внешним смесеобразованием и искровым зажиганием (бензиновых, газовых) вероятность появления таких зон незначительна. У дизелей локальные переобогащенные топливом зоны образуются чаще и в полной мере реализуются перечисленные процессы сажеобразования. Поэтому выбросы сажи с ОГ у дизелей больше, чем у двигателей с искровым зажиганием. Образование сажи зависит от свойств топлива: чем больше отношение С/Н в топливе, тем выход сажи выше.

Важный процесс, определяющий уровень эмиссии сажи при горении, — ее выгорание в высокотемпературном турбулентном газовом потоке при температуре 850—920 К. В процессе выгорания являются значимыми диффузия и сорбция на поверхности конгломератов сажи твердых иглообразных образований ПАУ, что относит ее к классу опасных загрязнителей.

*Жидкие частицы.* Содержат в основном топливо и часть смазочного масла, не сгоревшие в цилиндре, а также продукты неполного сгорания (фенолы, альдегиды).

Наличие твердых и жидких частичек в отработавших газах дизельных двигателей является причиной непрозрачности этих газов (дымности).

*Сера*, содержащаяся в моторном топливе, во время горения интенсивно окисляется в  $\text{SO}_2$ .

Серный ангидрид образуется при окислении сернистого ангидрида. Конечным продуктом реакции является аэрозоль или раствор серной кислоты в дождевой воде, который подкисляет почву, обостряет заболевания дыхательных путей. Растения около таких предприятий обычно бывают густо усеяны мелкими некротическими пятнами, образовавшихся в местах оседания капель серной кислоты. Кислотные дожди вызывают тяжелые последствия. Уже при рН менее 5,5 пресноводные рыбы чувствуют себя угнетенно, медленнее растут и размножаются, а при рН ниже 4,5 вообще не размножаются. Дальнейшее уменьшение рН приводит к гибели рыб, затем земноводных, а в конце концов -- насекомых и растений: организмы не приспособлены к жизни в кислотах. К счастью, всеобщая гибель предотвращается почвой, которая не только фильтрует через себя дождевую воду, но и химически очищает ее, обменивая катионы  $\text{H}^+$  на катионы натрия и калия. Кислотные дожди воздействуют и на почву, вызывая закисление ее, поскольку ионообменная способность почвы не беспредельна. Закисление отрицательно влияет на структуру, агрегатное состояние почвы, угнетает почвенную микрофлору и растения, вызывает их гибель. Это вредит лесам, сельскохозяйственным культурам.

*Свинец* в составе твердых частиц (из-за использования этилированных бензинов) присутствует в виде соединений галогенидов свинца, которые образуются по сходному механизму образования сажи. В настоящее время применение этилированного бензина запрещено законодательно, что в принципе исключает возможность появления свинца в отработавших газах.

Оценка выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух используется при проведении расчетов выброса загрязняющих веществ автомобильным транспортом и разработке мероприятий по их снижению на всех уровнях планирования. Учитывается выброс оксида углерода ( $\text{CO}$ ), углеводородов ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ), оксидов азота (в пересчете  $\text{NO}_2$ ), твердых частиц ( $\text{C}$ ), сернистого ангидрида ( $\text{SO}_2$ ).

Методика оценки выбросов загрязняющих веществ легковыми, грузовыми автомобилями и автобусами основана на результатах типовых испытаний по показателям токсичности и топливной эко-



номичности, скорректированных с учетом конструкции автотранспортных средств (АТС) и условий их эксплуатации.

**Задача:** Рассчитать выбросы токсичных компонентов с обработавшими газами двигателями автотранспорта, принадлежащего АТП.

*Исходные данные:* в АТП, расположенном в городе с населением 800 тыс. чел., имеется 50 автомобилей-такси ГАЗ-2410 (рабочий объем двигателя 2,5 л), 30 автомобилей ЗИЛ-130 (грузоподъемность 6 т, двигатель бензиновый), 40 автомобилей КамАЗ 5320 (грузоподъемность 9 т, двигатель дизельный), 25 маршрутных городских автобусов ЛиАЗ (габаритная длина 11 м, двигатель дизельный). Пробег легковых автомобилей осуществляется в городских условиях. Данные о распределении пробега грузовых автомобилей в городских и загородных условиях отсутствуют. Общий пробег каждого легкового автомобиля  $L_{lj} = 40$  тыс. км, грузового  $L_{ks} = 35$  тыс. км, автобуса  $L_{lms} = 50$  тыс. км. Вредные вещества, расчет выброса которых необходимо произвести, указаны ниже:

Варианты расчета

Вариант	1	2	3	4
Вредное вещество	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>

*Указания к расчету*

Расчет выбросов вредных веществ легковыми автомобилями

Массовый выброс загрязняющих веществ легковыми автомобилями с определенным объемом двигателя при движении по территории населенных пунктов  $M_{ly}$  (т) рассчитывается по формуле

$$M_{ly} = m_{lij} \cdot L_{lj} \cdot K_{ri} \cdot 10^{-6},$$

где  $m_{lij}$  - пробеговый выброс  $i$ -го загрязняющего вещества легковым автомобилем с двигателем  $j$ -го рабочего объема, г/км (табл.2);

$L_{lj}$  - суммарный пробег легковых автомобилей с двигателями  $j$ -го рабочего объема по территории населенных пунктов, км;  $K_{ri}$  - коэффициент, учитывающий изменение выбросов загрязняющих веществ при движении по территории населенных пунктов (табл.3).

## Расчет выбросов вредных веществ грузовыми автомобилями

Массовый выброс загрязняющих веществ грузовыми автомобилями с определенной грузоподъемностью и типом двигателя при движении по территории населенных пунктов  $M_{1iks}$  (т) рассчитывается по формуле

$$M_{1iks} = m_{1iks} \cdot L_{1ks} \cdot K_{ris} \cdot K_{nis} \cdot 10^{-6},$$

где  $m_{1iks}$  - пробеговый выброс  $i$ -го загрязняющего вещества грузовыми автомобилями  $k$ -ой грузоподъемности с двигателем  $s$ -го типа, г/км (табл.4);

$L_{1ks}$  - суммарный пробег по территории населенных пунктов грузовых автомобилей  $k$ -ой грузоподъемности с двигателями  $s$ -го типа\*, км;

$K_{ris}$  - коэффициент, учитывающий изменение выбросов загрязняющих веществ при движении по территории населенных пунктов (табл.5);

$K_{nis}$  - коэффициент, учитывающий изменение пробегового выброса от уровня использования грузоподъемности и пробега (табл.6, табл.7).

Массовый выброс загрязняющих веществ грузовыми автомобилями с определенной грузоподъемностью и типом двигателя при движении вне населенных пунктов рассчитывается по формуле

$$M_{2iks} = m_{2iks} \cdot L_{2ks} \cdot K_{nis} \cdot 10^{-6},$$

где  $m_{2iks}$  - пробеговый выброс  $i$ -го загрязняющего вещества грузовыми автомобилями  $k$ -ой грузоподъемности с двигателем  $s$ -го типа, г/км (табл.8);

$L_{2ks}$  - суммарный пробег вне территории населенных пунктов грузовых автомобилей  $k$ -ой грузоподъемности с двигателями  $s$ -го типа\*, км;

$K_{nis}$  - коэффициент, учитывающий изменение пробегового выброса от уровня использования грузоподъемности и пробега (табл.6, табл.7).

---

\*При отсутствии данных о распределении пробега грузовых автомобилей в городских и загородных условиях и наличии данных об общем пробеге автомобиля  $L_{ks}$  пробег  $L_{1ks}$  и  $L_{2ks}$  определяется по формулам  $L_{1ks} = 0,9 \cdot L_{ks}$ ;  $L_{2ks} = 0,1 \cdot L_{ks}$ .

Суммарный массовый выброс  $i$ -го загрязняющего вещества грузовыми автомобилями  $M_{ri}(t)$  определяется по формуле

$$M_{ri} = \sum (M_{1iks} + M_{2iks}) \cdot K_{tis}$$

где  $K_{tis}$  - коэффициент, учитывающий влияние технического состояния автомобилей на массовый выброс  $i$ -го загрязняющего вещества для  $s$ -го типа двигателя.

Для грузовых автомобилей с бензиновыми и газовыми двигателями -  $K_{tco} = 2,0$ ;  $K_{tch} = 1,83$ ;  $K_{tNO} = 1,0$ ;  $K_{tso} = 1,15$ ;  $K_{tpb} = 1,15$ ; для автомобилей с дизельными двигателями -  $K_{tco} = 1,6$ ;  $K_{tch} = 2,1$ ;  $K_{tNO} = 1,0$ ;  $K_{tso} = 1,9$ ;  $K_{tpb} = 1,15$ .

При отсутствии данных о распределении пробега грузовых автомобилей в городских и загородных условиях и наличии данных об общем пробеге автомобиля  $L_{ks}$  пробег  $L_{1ks}$  и  $L_{2ks}$  определяется по формулам  $L_{1ks} = 0,9 \cdot L_{ks}$ ;  $L_{2ks} = 0,1 \cdot L_{ks}$ .

#### Расчет выбросов вредных веществ автобусами

Массовый выброс загрязняющих веществ маршрутными городскими автобусами определенного класса с определенным типом двигателя при движении по территории населенных пунктов  $M_{1ims}(t)$  рассчитывается по формуле

$$M_{1ims} = K_p \cdot m_{1ims} \cdot L_{1ms} \cdot K_{ris} \cdot K_{his} \cdot 10^{-6},$$

где  $K_p$  - коэффициент, учитывающий изменения выбросов загрязняющих веществ при движении маршрутных городских автобусов по территории населенных пунктов (для  $CO$ ,  $C_xH_y$ ,  $NO_2 = 1,4$ ; для  $SO_2 = 1,1$ );

$m_{1ims}$  - пробеговый выброс  $i$ -го загрязняющего вещества автобусами  $m$ -го класса с двигателем  $s$ -го типа, г/км (табл.9);

$L_{1ms}$  - суммарный пробег по территории населенных пунктов маршрутных городских автобусов  $m$ -го класса с двигателем  $s$ -го типа, км;

$K_{ris}$  - коэффициент, учитывающий изменение выбросов загрязняющих веществ при движении по территории населенных пунктов (табл.5);

$K_{his}$  - коэффициент, учитывающий изменение пробегового выброса от уровня использования грузоподъемности и пробега (табл.10).

По данным расчетов заполняется табл.11 и делается вывод о том, какое транспортное средство вносит наибольший вклад в загрязнение воздушной среды по данному ингредиенту.

Таблица 2

Пробеговые выбросы загрязняющих веществ легковыми автомобилями по территории населенных пунктов

Рабочий объем двигателя, л	Пробеговой выброс $m_{1ij}$ , г/км			
	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
Менее 1,3	11,4	2,1	1,3	0,052
1,3 - 1,8	13	2,6	1,5	0,076
1.8 - 3,5	14	2,8	2,7	0,096

Таблица 3

Значения  $K_{ri}$  в зависимости от типа населенного пункта

Тип населенных пунктов, число жителей	Значения $K_{ri}$			
	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
Город, более 1 млн. чел.	1,0	1,0	1,0	1,25
Город, 100 тыс.- 1 млн. чел.	0,87	0,92	0,94	1,15
Город, 30 - 100 тыс. чел.	0,7	0,79	0,81	1,05
Прочие населенные пункты	0,41	0,59	0,6	1,00

Таблица 4

Пробеговые выбросы загрязняющих веществ при движении грузовых автомобилей по территории населенных пунктов

Грузоподъемность автомобиля, т	Тип двигателя	Пробеговой выброс $m_{i,ks}$ , г/км			
		СО	С <sub>x</sub> Н <sub>y</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
0,5 - 2,0	Б	22	3,4	2,6	0,13
2,0 - 5,0	Б	52,6	4,7	5,1	0,16
	Г	26,8	2,7	5,1	0,14
	Д	2,8	1,1	8,2	0,96
5,0 - 8,0	Б	73,2	5,5	9,2	0,19
	Г	37,4	4,4	9,2	0,17
	Д	3,2	1,3	11,4	1,03
8,0 - 16,0	Б	97,8	8,2	10,0	0,26
	Д	3,9	1,6	13,4	1,28
более 16,0	Д	4,5	1,8	16,4	1,47

Таблица 5

Значение  $K_{ris}$  в зависимости от типа населенных пунктов

Тип населенных пунктов, число жителей	Значение $K_{ris}$						
	СО		С <sub>x</sub> Н <sub>y</sub>		NO <sub>2</sub>		SO <sub>2</sub>
	Б,Г	Д	Б,Г	Д	Б, Г	Д	Б, Д, Г
Город, более 1 млн. чел.	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,25
Город, 100 тыс. - 1 млн. ч.	0,89	0,95	0,85	0,93	0,79	0,92	1,15
Город, 30-100 тыс. чел.	0,74	0,83	0,7	0,8	0,69	0,82	1,05
Прочие насел. пункты	0,58	0,64	0,5	0,6	0,6	0,7	1,0

Таблица 6

Значения  $K_{nis}$  для грузовых автомобилей с бензиновыми и газовыми двигателями

Загрязняющее вещество	Коэффициент использования грузоподъемности, $\gamma$	Значения $K_{nis}$ в зависимости от коэффициента использования пробега, $\beta$			
		0,5	0,6	0,7	1,0
1	2	3	4	5	6
СО	< 0,2	0,53	0,54	0,55	0,58
	0,2 - 0,4	0,58	0,61	0,63	0,70
	0,4 - 0,6	0,63	0,67	0,70	0,80
	0,6 - 0,8	0,63	0,73	0,77	0,90
	0,8 - 1,0	0,73	0,79	0,84	1,00

продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	< 0,2	0,81	0,81	0,82	0,84
	0,2 - 0,4	0,83	0,83	0,85	0,88
	0,4 - 0,6	0,85	0,86	0,88	0,92
	0,6 - 0,8	0,87	0,88	0,91	0,96
	0,8 - 1,0	0,89	0,91	0,94	1,00
NO <sub>2</sub>	< 0,2	0,5	0,51	0,52	0,56
	0,2 - 0,4	0,56	0,58	0,60	0,67
	0,4 - 0,6	0,61	0,64	0,68	0,78
	0,6 - 0,8	0,67	0,71	0,76	0,89
	0,8 - 1,0	0,72	0,78	0,83	1,00
SO <sub>2</sub>	< 0,2	1,03	1,03	1,04	1,05
	0,2 - 0,4	1,08	1,10	1,11	1,16
	0,4 - 0,6	1,14	1,16	1,19	1,27
	0,6 - 0,8	1,19	1,23	1,27	1,38
	0,8 - 1,0	1,24	1,29	1,34	1,49

Примечание к таблице 6.

При отсутствии данных о фактических значениях  $\gamma$ ,  $\beta$  принимается  $\gamma = 0,6 - 0,8$ ;  $\beta = 0,5$ .

Таблица 7

Значения  $K_{nis}$  для грузовых автомобилей с дизелем

Загрязняющее вещество	Коэффициент использования грузоподъемности, $\gamma$	Значения $K_{nis}$ в зависимости от коэффициента использования пробега, $\beta$			
		0,5	0,6	0,7	1,0
CO	< 0,2	0,52	0,53	0,54	0,57
	0,2 - 0,4	0,57	0,60	0,62	0,68
	0,4 - 0,6	0,63	0,66	0,69	0,78
	0,6 - 0,8	0,68	0,72	0,77	0,89
	0,8 - 1,0	0,73	0,79	0,84	1,00
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	< 0,2	0,64	0,65	0,66	0,68
	0,2 - 0,4	0,68	0,70	0,71	0,76
	0,4 - 0,6	0,72	0,74	0,76	0,84
	0,6 - 0,8	0,76	0,79	0,82	0,92
	0,8 - 1,0	0,80	0,84	0,88	1,00
NO <sub>2</sub>	< 0,2	0,75	0,76	0,76	0,77
	0,2 - 0,4	0,77	0,78	0,79	0,81
	0,4 - 0,6	0,80	0,82	0,83	0,87
	0,6 - 0,8	0,82	0,84	0,87	0,93
	0,8 - 1,0	0,86	0,89	0,92	1,00

продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6
SO <sub>2</sub>	< 0,2	1,03	1,04	1,04	1,06
	0,2 - 0,4	1,09	1,10	1,12	1,18
	0,4 - 0,6	1,15	1,18	1,20	1,29
	0,6 - 0,8	1,20	1,25	1,29	1,41
	0,8 - 1,0	1,26	1,32	1,37	1,53

Примечание к таблице 7.

При отсутствии данных о фактических значениях  $\gamma$ ,  $\beta$  принимается  $\gamma = 0,6 - 0,8$ ;  $\beta = 0,5$ .

Таблица 8

Пробеговые выбросы загрязняющих веществ грузовыми автомобилями при движении вне населенных пунктов

Грузоподъемность автомобиля, т	Тип двигателя	Пробеговый выброс $m_{2ks}$ , г/км			
		CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
0,5 - 2,0	Б	15,2	1,9	2,1	0,13
2,0 - 5,0	Б	26,3	2,6	4,1	0,16
	Г	13,1	1,5	4,1	0,14
	Д	2,5	0,8	6,9	0,96
5,0 - 8,0	Б	40,8	4,1	8,0	0,19
	Г	20,2	2,4	8,0	0,17
	Д	2,6	1,2	9,10	1,03
8,0 - 16,0	Б	50,5	4,5	8,5	0,26
	Д	3,2	1,4	10,7	1,28
более 16,0	Д	3,6	1,5	13,1	1,47

Таблица 9

Пробеговые выбросы загрязняющих веществ при движении автобусов по территории населенных пунктов

Класс автобуса (L - габаритная длина, м)	Тип двигателя	Пробеговый выброс $m_{1ims}$ , г/км			
		CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
Малый 6,0 < L < 7,5	Б	44,0	3,4	6,1	0,18
Средний 7,5 < L < 9,5	Б	67,1	5,0	9,9	0,25
	Д	4,5	1,4	9,1	0,9
Большой 10,5 < L < 12	Б	104,0	7,7	10,4	0,32
	Д	4,9	1,6	10,0	1,23
Особо большой L > 12	Д	5,0	1,6	11,0	1,65

Таблица 10

Значения  $K_{his}$  в зависимости от вида перевозок и типа двигателя

Вид перевозок	Тип двигателя	Значения $K_{his}$			
		СО	С <sub>x</sub> Н <sub>y</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
Городские и пригородные	Б	0,9	0,96	0,89	1,3
	Д	0,89	0,92	0,93	1,3
Междугородные и туристские	Б	0,7	0,88	0,67	1,1
	Д	0,68	0,76	0,81	1,1

Таблица 11

Вариант №

Вредное вещество	Источник загрязнения				Итого
	ГАЗ-2410	ЗИЛ-130	КамАЗ 5320	ЛиАЗ	
СО					
С <sub>x</sub> Н <sub>y</sub>					
NO <sub>2</sub>					
SO <sub>2</sub>					

Сделайте выводы о том, какие виды токсических веществ преобладают в ОГ бензиновых и дизельных двигателей.

### Заключение.

Экологические проблемы автомобильного транспорта в современном мире неизбежны. Но их можно решить, если действовать комплексно и глобально. Рассмотрим основные пути решения проблем, связанных с эксплуатацией автомобилей:

1. Чтобы сократить выбросы выхлопных газов, негативно влияющих на окружающую среду, следует использовать качественное очищенное топливо. Зачастую попытки сэкономить приводят к покупке бензина, содержащего опасные соединения.
2. Разработка принципиально новых типов двигателей автомобильного транспорта, использование альтернативных источников энергии. Так, в продаже стали появляться электромобили и гибриды, работающие на электричестве. И хотя пока таких моделей немного, возможно, в будущем они станут более популярными.
3. Соблюдение правил эксплуатации автомобиля. Важно вовремя устранять неполадки, обеспечить постоянное и комплексное обслуживание, не превышать допустимые



нагрузки, придерживаться касающихся управления рекомендаций.

4. Экологическая обстановка наверняка улучшится, если разработать и использовать очистное и фильтрующее оборудование, которое сократит объёмы вредных соединений, выделяемых автомобильным транспортом.
5. Реконструкция двигателя автомобиля с целью повышения КПД и сокращения объёмов расходуемого топлива.
6. Использование других видов транспорта, например, троллейбусов и трамваев.

Необходимо использовать автотранспорт рационально и сокращать его негативное влияние на окружающую среду.

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте характеристику основным вредным веществам, содержащимся в отработавших газах автомобилей.
2. Механизмы образования наиболее опасных для окружающей среды вредных веществ содержащихся в ОГ АТС.
3. Факторы, влияющие на количество образующихся токсичных компонентов в ОГ АТС.
4. Классификация и инвентаризация выбросов.

### **Список использованных источников**

1. Луканин, В.Н. Промышленно-транспортная экология [Текст]: учеб. для вузов / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко. – М.: Высшая школа, 2001. – 273 с. Библиогр.: с. 264-266.
2. Гетманец, Г.В. Социально-экологические проблемы автомобильного транспорта [Текст]: справочное пособие / Г.В. Гетманец, В.А. Лиханов – М.: АСПОЛ, 1993. – 330 с.
3. Амбарцумян, В.В. Экологическая безопасность автомобильного транспорта [Текст]: Учеб. пособие для вузов / В.В. Амбарцумян, В.В. Носов, В.И. Тагасов – М.: ООО “Научтехлитиздат”, 1999. – 208 с. Библиогр.: с. 204 - 206.

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра охраны труда и окружающей среды



О.Г. Кудряшов  
по учебной работе  
2013 г.

## **Круговорот кислорода Загрязнение атмосферы при сжигании топлива**

Методические указания к проведению практических занятий  
по дисциплинам «Общая экология», «Экология»,  
«Информационная экология», «Экология Курского края» для  
студентов всех специальностей и направлений  
очной и заочной формы обучения

УДК 504

Составители: Т.Э. Гречаниченко, О.И. Белякова, В.В. Юшин

Рецензент

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

**Круговорот кислорода. Загрязнение атмосферы при сжигании топлива:** методические указания к проведению практических занятий по дисциплинам «Общая экология», «Экология», «Информационная экология», «Экология Курского края» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Т.Э. Гречаниченко, О.И. Белякова, В.В. Юшин. Курск, 2013. 20 с.: ил. 2. Библиогр.: с. 11.

Представлены материальные потоки веществ при сжигании газообразного топлива, а также материальные балансы веществ при сжигании твердого и жидкого топлива.

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

Курск 2013

Подписано в печать *14.05.13*. Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. *0,81*. Уч.-изд.л. *0,74*. Тираж 50 экз. Заказ *345*. Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

### Твердое и жидкое топливо

**Цель занятия:** Изучить материальные балансы веществ при сжигании твердого и жидкого топлива.

#### Общие положения

Органическим топливом называют горючие вещества, способные активно вступать в реакцию с кислородом и обладающие значительным удельным тепловыделением (на единицу массы или объема). Образование органического топлива является результатом теплового, механического и биологического воздействия в течение многих столетий на останки растительного и животного мира, откладывающиеся во всех геологических формациях. Всё это топливо имеет углеродную основу, и энергия высвобождается из него, главным образом, в процессе образования диоксида углерода.

К энергетическим видам топлив относятся такие, которые экономически целесообразно использовать для получения больших количеств теплоты. Запасы их должны быть огромны и относительно легко доступны для массового использования. Кроме того, они не должны являться ценным сырьем для других отраслей промышленности. В качестве энергетических топлив электростанций наибольшее значение имеют: твердое — каменные и бурые, угли и отходы их переработки, антрацит и полуантрацит; жидкое — мазут; газовое — природный газ. В меньшей мере используются торф и горючие сланцы, стабилизированная нефть и горючие газы промышленности (доменный, коксовый), хотя в отдельных районах страны они составляют заметную часть топливного баланса.

Из общего потребления органического топлива в нашей стране около 40% приходится на долю энергетики. В топливном балансе тепловых электростанций преимущество имеют угли, мазут и природный газ. Доля сжигаемого угля на ТЭС возрастает за счет использования угольных месторождений Сибири. Примерно на таком же уровне находится использование мазута и природного газа. На остальные виды твердого топлива — торф, сланцы приходится всего 6—7% общего расхода топлива электростанциями. Ускоренное развитие получит добыча углей в новых месторождениях более дешевым способом — открытым.

Все ископаемые — твердые топлива и нефть получились в процессе длительного преобразования исходной растительной массы и отмерших животных организмов под слоем земли или воды, причем этот процесс протекал с различной скоростью в направлении постепенного обуглероживания (углефикации) топлива, т. е. повышения в нем содержания углерода и уменьшения количества кислорода и водорода. В природе существуют различные виды твердого топлива, отличающиеся разнообразными составом и свойствами. Твердое топливо в основном образуется из высокоорганизованных растений — древесины, листьев, хвои и т. п. Отмершие части высокоорганизованных растений разрушаются грибами при свободном доступе воздуха и превращаются в торф — рыхлую, расплывчатую массу перегноя, так называемых гуминовых кислот. Скопление торфа переходит в бурую массу, а затем в бурый уголь. В дальнейшем под воздействием высокого давления и повышенной температуры бурые угли подвергаются последующим превращениям, переходя в каменные угли, а затем в антрацит.

Горючие сланцы — это горные породы, на 15-40% состоящие из продуктов разложения водорослей и живых организмов. Если этого вещества более 40%, то горючий сланец уже называется сапропелитом, или сапропелевым углем. Образовались сланцы в озёрах и приморских лагунах (мелководных заливах, отделённых от моря полосами песка). Нередко в них встречаются превращённые в уголь остатки высших растений.

Сырая нефть является смесью органических соединений и включает в себя небольшое количество жидких сернистых и азотных соединений, парафинов и смол. После извлечения легких фракций и масел (бензина, лигроина, керосина, газойля, солярового масла) остаются сильновязкие тяжелые фракции — мазут, который и используется как энергетическое жидкое топливо. При этом минеральные примеси, входящие в нефть, концентрируются в мазуте.

Топливо в том виде, в котором оно добыто, включает в себя органическую массу и балласт. Органической массой топлива считают ту часть, которая произошла из органических веществ: углерода, водорода, кислорода и азота; в балласт включают серу, минеральные примеси — золу и влагу топлива:

Твердое и жидкое топливо состоит из углерода С, водорода Н, органической серы  $S_0$  и горючей колчеданной серы  $S_K$ , кислорода О и азота N, находящихся в виде сложных соединений. Кроме указанных элементов твердого и жидкого топлива, составляющих *горючую массу топлива*, в состав топлива входит еще балласт — вода и зола.

Состав рабочей массы топлива значительно зависит от величины балласта, поэтому чаще всего приводятся данные по составу горючей массы топлива, которая более стабильна для топлива каждого вида и месторождения (табл. 1).

Углерод и водород — самые ценные части топлива.

Углерод содержится в значительном количестве в топливе всех видов: древесине и торфе 50 — 58%, в бурых и каменных углях 65-80%, в тощих углях и антрацитах 90-95%; в сланцах 61 — 73%, в мазуте 84—87%. Чем больше углерода в топливе, тем больше топливо выделяет тепла при сгорании.

Водород является второй важнейшей частью каждого топлива. В топливе водород частично находится в связанном с кислородом виде, составляя внутреннюю влагу топлива, вследствие чего понижается тепловая ценность топлива. Водород играет большую роль в образовании летучих веществ, выделяющихся при нагревании топлива без доступа воздуха. В состав летучих водород входит в чистом виде и в виде углеводородных и других органических соединений. Содержание водорода в горючей массе твердых и жидких топлив колеблется от 2 до 10%. Много водорода содержится в природном газе, мазуте и горючих сланцах, меньше всего в антраците.

Кислород содержащийся в твердом топливе, является балластом. Не будучи теплообразующим элементом и связывая водород топлива, кислород снижает теплоту его сгорания. Содержание кислорода в органической массе топлива с его возрастом снижается с 41% для древесины до 2,2% для антрацита.

Азот также является балластной инертной составляющей твердого топлива, снижающей процентное содержание в нем горючих элементов. При сгорании топлива азот в продуктах сгорания содержится как в свободном виде, так и в виде окислов азота  $NO_x$ . Окислы азота относятся к вредным составляющим продуктам сгорания, количество которых должно быть

лимитировано.

Серa содержится в твердом топливе в виде органических соединений и колчедана, объединяемых в летучую серу. Кроме того, сера входит в состав топлива в виде сернистых солей - сульфатов (например, гипса  $CaSO_2$ ), не способных гореть. Сульфатную серу принято относить к золе топлива. Высокое содержание серы приводит к сильному загрязнению продуктов сгорания топлива сернистым ангидридом  $SO_2$ . При наличии избыточного воздуха происходит частичное окисление  $SO_2$  до  $SO_3$  (соединяясь с  $H_2O$ , образуют  $H_2SO_4$ ).  $H_2SO_4$  вызывает коррозию поверхности нагрева, разрушает металл котельного оборудования, попадая в атмосферу, вредно действуют на живые организмы и растительность. Сернистые газы, проникая в рабочие помещения, могут вызвать отравление обслуживающего персонала. Поэтому сера — крайне нежелательный элемент для топлива.

Зола топлива представляет собой балластную смесь различных минеральных веществ, остающихся после полного сгорания всей горючей части топлива. Зола топлива влияет на качество сгорания топлива отрицательно. Зола образуется из минеральных веществ, содержащихся в растениях, заносится с землей и песком в период пластообразования и попадает в топливо во время его добычи, хранения или транспортировки.

Влага топлива складывается из внешней, или механической, вызванной поверхностным увлажнением кусков топлива и заполнением влагой пор и капилляров, и равновесной, называемой гигроскопической, которая устанавливается в материале при длительном соприкосновении с окружающим воздухом.

Кокс производится из каменного и бурого угля и угольных смесей в особых печах при температуре приблизительно  $1200^\circ C$ , при которой происходит их дегазация. Дегазацией называется процесс удаления газообразных компонентов из твердых материалов в герметичных нагревательных камерах.

Каменный уголь, брикеты бурого угля, кокс и древесный голь представляют собой очищенное твердое топливо. Брикеты изготавливаются из раздробленного и высушенного каменного или бурого угля в специальных прессах. Брикеты могут иметь различные формы.

Основными компонентами, выбрасываемыми в атмосферу

при сжигании различных видов топлива в энергоустановках, являются диоксид углерода  $\text{CO}_2$  и водяной пар  $\text{H}_2\text{O}$ . Однако в атмосферу выбрасываются и другие вредные вещества: продукты неполного сгорания топлива - оксид углерода, сажа, углеводороды, в том числе канцерогенный бенз(а)пирен  $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ , несгоревшие частицы твердого топлива, зола и прочие механические примеси; оксиды серы  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$ , азота и свинца  $\text{PbO}$ .

При сжигании твердого топлива образуется большое количество золы и диоксида серы. Так, например, подмосковные угли имеют в своем составе 2,5-6,0% серы и до 30-50% золы. Дымовые газы, образующиеся при сжигании мазута, содержат оксиды азота, соединения ванадия и натрия, газообразные и твердые продукты неполного сгорания. Перевод установок на жидкое топливо существенно уменьшает золообразование, но практически не уменьшает выбросы  $\text{SO}_2$ , так как мазуты, применяемые в качестве топлива, содержат серу в количестве до 3-4,5% и более. При сжигании природного газа (неочищенного) в дымовых газах образуются диоксид серы и оксиды азота. Следует отметить, что наибольшее количество оксидов азота образуется при сжигании жидкого топлива.

Современная теплоэлектростанция мощностью 2,4 млн. кВт расходует до 20 тыс. т угля в сутки и выбрасывает в атмосферу в сутки 680 т  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$  при содержании серы в топливе 1,7%; 200 т оксидов азота; 120-240 т твердых частиц (зола, пыль, сажа) при эффективности системы пылеулавливания 94-98%. Исследования показывают, что вблизи мощной теплоэлектростанции, выбрасывающей в сутки 280-360 т  $\text{SO}_2$ , максимальные концентрации ее с подветренной стороны составляют 0,3-4,9  $\text{мг/м}^3$  на расстоянии 200-500 м; 0,7-5,5  $\text{мг/м}^3$  на расстоянии 500-1000 м; 0,22-2,8  $\text{мг/м}^3$  на расстоянии 1000-2000 м.

### Расчет газовых выбросов при сжигании твердого и жидкого топлива

В таблице 1 приведен элементный состав основных видов твердого и жидкого органического топлива.

Таблица 1 Состав основных видов органического топлива

Вид топлива	Состав горючей массы, %				
	C	H	O	N	S
Древесина	51	6	42.5	0.5	-
Торф	58	6	33.0	2.5	0.5
Бурый уголь	71	7	20.4	1.0	0.6
Антрацит	90	4	3.2	1.5	1.3
Сланцы	70	8	16.0	1.0	5.0
Мазут	88	10	0.5	0.5	1.0

Материальный баланс процесса горения выражает количественные соотношения между исходными веществами (топливо, воздух) и конечными продуктами (дымовые газы, зола, шлак).

Для расчетов материальных потоков веществ при сжигании топлива используются реакции горения его основных компонентов.

Реакция горения	$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$
Стехиометрические соотношения	$12 + 32 = 44$ $1 + 2,67 = 3,67$
Реакция горения	$\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}$
Стехиометрические соотношения	$28 + 32 = 60$ $1 + 1,14 = 2,14$
Реакция горения	$\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$
Стехиометрические соотношения	$32 + 32 = 64$ $1 + 1 = 2$
Реакция горения	$2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
Стехиометрические соотношения	$4 + 32 = 36$ $1 + 8 = 9$

Стехиометрические соотношения справедливы при любых единицах измерения. Они показывают, что при сжигании 1 грамма, килограмма или тонны углерода расходуется 2,67 грамма, килограмма или тонны кислорода и выделяется 3,67 грамма, килограмма или тонны углекислого газа. Аналогичный смысл

имеют стехиометрические соотношения для других элементов органического топлива, приведенных ниже.

Расчет массы кислорода  $M_{O_2}$ , необходимой для сжигания топлива, и количества образующихся при этом продуктов горения может быть произведен по следующим упрощенным формулам:

$$M_{O_2} = (2,67 \cdot C/100 + 8 \cdot H/100 + 1,14 \cdot N/100 + S/100 - O/100) M_{\text{топл}};$$

$$M_{CO_2} = (3,67 \cdot C/100) \cdot M_{\text{топл}};$$

$$M_{NO_x} = (2,14 \cdot N/100) \cdot M_{\text{топл}};$$

$$M_{SO_2} = (2 \cdot S/100) \cdot M_{\text{топл}};$$

$$M_{H_2O} = (9 \cdot H/100) M_{\text{топл}},$$

где C, H, N, S, O – процентное содержание углерода, водорода, азота, серы и кислорода в составе горючей массы сжигаемого вида топлива;  $M_{\text{топл}}$  – масса сжигаемого топлива.

При правильном расчете количеств веществ, участвующих в процессе горения органического топлива, в соответствии с законом сохранения масс, должно выполняться равенство:

$$M_{\text{топл}} + M_{O_2} = M_{CO_2} + M_{NO_x} + M_{SO_2} + M_{H_2O}.$$

#### Пример

Построить материальный баланс веществ при сжигании 2 тыс. т древесины.

$$M_{O_2} = (2,67 \cdot 51/100 + 8 \cdot 6/100 + 1,14 \cdot 0,5/100 - 42,5/100) 2000 = (1,3617 + 0,48 + 0,0057 - 0,425) 2000 = 2844,8 \text{ т};$$

$$M_{CO_2} = (3,67 \cdot 51/100) \cdot 2000 = 3743,4 \text{ т};$$

$$M_{NO_x} = (2,14 \cdot 0,5/100) \cdot 2000 = 21,4 \text{ т};$$

$$M_{H_2O} = (9 \cdot 6/100) 2000 = 1080 \text{ т}.$$

Баланс веществ равен:

$$M_{\text{топл}} + M_{O_2} = 2000 + 2844,8 = 4844,8 \text{ т};$$

$$M_{CO_2} + M_{NO_x} + M_{H_2O} = 3743,4 + 21,4 + 1080 = 4844,8 \text{ т}.$$

#### Контрольные задания

1. Построить балансы веществ при сжигании 1000 т различных видов топлива, приведенных в табл. 1, и определить:

а) при сжигании какого топлива выделяется наибольшее количество оксида серы и углекислого газа;

б) при сжигании какого вида топлива требуется наибольшее количество кислорода.

2. Определите количество  $CO_2$  и паров воды, образующихся при сжигании 3400 т антрацита. Какая масса древесины (см.

предыдущую работу) должна быть создана, чтобы поглотить это количество углекислого газа?

3. Какое количество воздуха расходуется при сжигании 1 т мазута, если содержание кислорода в атмосфере составляет 20,93%? На какое время хватит этого воздуха для дыхания одного человека (Потребление кислорода в состоянии покоя 12 л/час, масса 1 л кислорода при нормальных условиях 1,43 г, средняя продолжительность жизни 70 лет).

#### Газообразное топливо

**Цель занятия:** Изучить материальные потоки веществ при сжигании газообразного топлива.

##### Общие положения

Выбросы диоксида углерода по всему миру являются одной из основных причин потепления на земном шаре. Сжигаемое ископаемое топливо освобождает  $CO_2$ , аккумулированного растениями много миллионов лет назад, и повышает ее концентрацию в атмосфере выше естественного уровня. Сжигание ископаемого топлива обуславливает 75–90% всех антропогенных выбросов диоксида углерода.

Переход на промышленные виды топлива с низким выходом углерода (как, например, природный газ) снижает выбросы газов, создающих парниковый эффект, при достаточно высокой экономической эффективности, и такие переходы осуществляются во многих регионах.

Природный газ генерирует меньше  $CO_2$  при том же количестве вырабатываемой для снабжения энергии, чем уголь или нефть, поскольку он содержит больше водорода по отношению к углероду, чем другие виды топлива. Переход с ископаемых углей на природный газ при сохранении того же соотношения эффективности преобразования энергии топлива в электроэнергию сократил бы выбросы на 40%.

Выбросы в атмосферу при сжигании ископаемого топлива зависят не только от вида топлива, но от того, насколько эффективно оно используется. Газообразное топливо обычно сжигается легче и эффективнее, чем уголь или нефть. Утилизация сбросной теплоты от отходящих газов в случае природного газа

осуществляется проще, так как топочный газ не загрязнен твердыми частицами или агрессивными соединениями серы. Благодаря химическому составу, простоте и эффективности использования природный газ может внести существенный вклад в снижение выбросов диоксида углерода путем замены им ископаемых видов топлив.

**Природный газ.** Большое значение в топливном балансе России имеют природные газы, представляющие собой смесь углеводородов, сероводорода и инертных газов: азота и углекислоты. Основной горючей составляющей природных газов является метан (от 80 до 98%), что обуславливает их высокую теплоту сгорания.

**Доменный газ** образуется при выплавке чугуна в доменных печах. Его выход и состав зависят от свойств топлива, режима работы печи, способов интенсификации процесса и других факторов. Выход газа колеблется в пределах 1500-2500 м<sup>3</sup> на тонну чугуна. Доля негорючих компонентов (N<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>) в доменном газе составляет около 70%, что и обуславливает его низкие теплотехнические показатели.

**Ферросплавный газ** образуется при выплавке ферросплавов в рудовосстановительных печах. Газ, отходящий из закрытых печей, можно использовать в качестве топливных ВЭР (вторичные энергетические ресурсы). Состав газа: 50-90% CO, 2-8% H<sub>2</sub>, 0,3-1% CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub> < 1%, 2-5% CO<sub>2</sub>, остальное N<sub>2</sub>.

**Конвертерный газ** образуется при выплавке стали в кислородных конвертерах. Газ состоит в основном из оксида углерода, выход и состав его в течение плавки значительно изменяются. После очистки состав газа примерно таков: 70-80% CO; 15-20% CO<sub>2</sub>; 0,5-0,8% O<sub>2</sub>; 3-12% N<sub>2</sub>.

**Коксовый газ** образуется при коксовании угольной шихты. В чёрной металлургии он используется после извлечения химических продуктов. Объёмные доли компонентов в газе находятся в следующих пределах, %: 52-62 H<sub>2</sub>; 0,3-0,6 O<sub>2</sub>; 23,5-26,5 CH<sub>4</sub>; 5,5-7,7 CO; 1,8-2,6 CO<sub>2</sub>.

**Расчет газовых выбросов при сжигании газообразного топлива**

Основными компонентами газообразного топлива являются горючие газы: метан (CH<sub>4</sub>), этан (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), пропан (C<sub>3</sub>H<sub>10</sub>), этилен

(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), пропилен (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>), сероводород (H<sub>2</sub>S), возможно также наличие углекислого (CO<sub>2</sub>) и сернистого (SO<sub>2</sub>) газов.

Расчет необходимого количества кислорода и веществ, выделяющихся при сжигании газообразного топлива, осуществляется на основе реакций горения по методике, рассмотренной ранее, с учетом процентного содержания горючих газов в смеси.

Ниже приведены реакции горения и стехиометрические соотношения для метана, пропана и бутана. Аналогичные уравнения при необходимости могут быть составлены и для других горючих газов.

Стехиометрические уравнения реакций горения:

Метан	$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ $16 + 64 = 44 + 36$ $1 + 4 = 2,75 + 2,25$
Пропан	$\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 \rightarrow 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ $44 + 160 = 132 + 72$ $1 + 3,64 = 3 + 1,64$
Бутан	$2\text{C}_4\text{H}_{10} + 13\text{O}_2 \rightarrow 8\text{CO}_2 + 10\text{H}_2\text{O}$ $116 + 416 = 352 + 180$ $1 + 3,58 = 3,03 + 1,55$

Полученные массовые соотношения веществ, участвующих в реакциях, позволяют рассчитать расход кислорода и воздуха, выделение углекислого газа и паров воды и построить материальный баланс веществ при сжигании газообразного топлива.

Расчетные формулы имеют следующий вид:

$$M_{\text{топл}} = (4 \cdot \text{CH}_4 / 100 + 3,64 \cdot \text{C}_3\text{H}_8 / 100 + 3,58 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10} / 100) \cdot M_{\text{топл}};$$

$$M_{\text{возд}} = M_{\text{O}_2} / 0,2093;$$

$$M_{\text{CO}_2} = (2,75 \cdot \text{CH}_4 / 100 + 3 \cdot \text{C}_3\text{H}_8 / 100 + 3,03 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10} / 100 + \text{CO}_2 / 100) \cdot M_{\text{топл}};$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = (2,25 \cdot \text{CH}_4 / 100 + 1,64 \cdot \text{C}_3\text{H}_8 / 100 + 1,55 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10} / 100) \cdot M_{\text{топл}}.$$

В приведенных формулах значения CH<sub>4</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> и C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> соответствуют процентному содержанию горючих газов в сжигаемом газообразном топливе. Присутствие в составе горючей массы углекислого газа необходимо учитывать в формуле

слагаемым ( $\text{CO}_2/100$ ).

Уравнение материального баланса в данном случае имеет вид

$$M_{\text{топл}} + M_{\text{топл}} = M_{\text{CO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}}$$

**Пример**

Построить материальный баланс веществ при сжигании 3 тыс.т газа состава: метан – 80%, бутан – 10%, углекислый газ – 10%.

$$M_{\text{O}_2} = (4 \cdot 80/100 + 3,58 \cdot 10/100) 3000 = (3,2 + 0,358) 3000 = 10674 \text{ т};$$

$$M_{\text{CO}_2} = (2,75 \cdot 80/100 + 3,03 \cdot 10/100 + 10/100) 3000 = (2,2 + 0,303 + 0,1) 3000 = 7809 \text{ т};$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = (2,25 \cdot 80/100 + 1,55 \cdot 10/100) 3000 = (1,8 + 0,155) 3000 = 5865 \text{ т};$$

Баланс веществ равен:

$$M_{\text{топл}} + M_{\text{O}_2} = 3000 + 10674 = 13674 \text{ т};$$

$$M_{\text{CO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}} = 7809 + 5865 = 13674 \text{ т}.$$

**Контрольные задания**

1. Построить баланс веществ при сжигании 1000 т природного газа следующего состава: метан – 10%, пропан – 30%, бутан – 40%, углекислый газ – 20%.

2. Какое количество воздуха необходимо для сжигания 5000 т биогаза состава: метан – 95%, углекислый газ – 5%.

3. Определить количество газообразных примесей, образующихся при сжигании 1000 т газа состава: метан – 70%, пропан – 20%, бутан – 10%.

4. Определить количество углекислого газа и паров воды, образующихся при сжигании 3000 т газа с составом: пропан – 45%, бутан – 55%.

5. Определить количество загрязняющих веществ, образующихся при сжигании 1000 т антрацита и природного газа следующего состава: метан – 10%, пропан – 30%, бутан – 40%, углекислый газ – 20%. Какое топливо меньше загрязняет окружающую среду и почему?

**Контрольные вопросы**

1. К каким экологическим последствиям приводит сжигание топлива?

2. Предложите основные пути решения проблем, связанных со сжиганием топлива.

**Библиографический список**

1. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. Ростов н/Д: Изд-во «Феникс», 2001
2. Степановских А.С. Прикладная экология. М.:ЮНИТИ-ДАНА, 2005.
3. Протасов В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. М.: Финансы и статистика, 1999.
4. Равич М.Б. Топливо и эффективность его использования. М.: Наука, 1991. 358 С.



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра охраны труда и окружающей среды



учебной работе  
Г. Локтионова  
2013 г.

## **Круговорот кислорода Продукционный процесс в лесных экосистемах**

Методические указания к проведению практических занятий  
по дисциплинам «Общая экология», «Экология»,  
«Информационная экология», «Экология Курского края» для  
студентов всех специальностей и направлений  
очной и заочной формы обучения

Курск 2013.

УДК 504

Составители: Т.Э. Гречаниченко, О.И. Белякова, В.В. Юшин

Рецензент

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

**Круговорот кислорода. Продукционный процесс в лесных экосистемах:** методические указания к проведению практических занятий по дисциплинам «Общая экология», «Экология», «Информационная экология», «Экология Курского края» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Т.Э. Гречаниченко, О.И. Белякова, В.В. Юшин. Курск, 2013. 20 с.: ил. 2. Библиогр.: с. 11.

Представлены материальные потоки веществ в лесных экосистемах, методики определения выделения кислорода, потребления воды и углекислого газа разными древесными породами при создании годового прироста древесины.

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 *М.О.С.Д.* Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 0,64. Уч.-изд.л. 0,58. Тираж 50 экз. Заказ *346*. Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

**Цель занятия:** 1. Изучить круговорот кислорода. 2. Изучить материальные потоки веществ в лесных экосистемах, определить выделение кислорода, потребление воды и углекислого газа разными древесными породами при создании годового прироста древесины.

#### Общие положения

Кислород - наиболее распространенный на Земле химический элемент. Литосфера на 47% по массе состоит из кислорода, входящего в состав оксидов и солей. В атмосфере содержится по массе 23% (21% по объему) свободного кислорода. Гидросфера содержит 85,8% кислорода, основная доля которого приходится на воду. Кислород входит в состав растений (40%), животных (20%), минералов, оснований, большинства солей и кислот, органических веществ. Тело человека примерно на 65% состоит из этого элемента.

Продолжительность одного цикла в круговороте кислорода - 2000 лет. За это время весь кислород проходит через живое вещество.

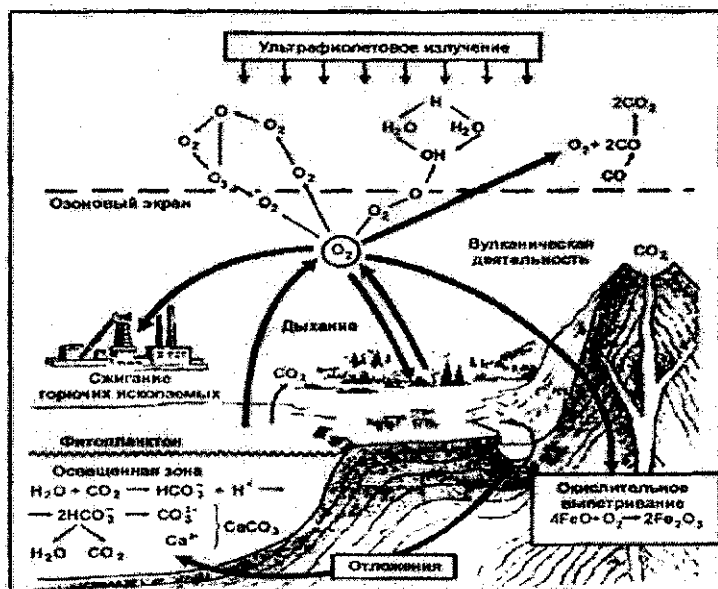


Рис.1 Круговорот кислорода в природе (по Е. Криксунов и др., 1995)

В настоящее время атмосферный кислород является главным природным ресурсом устойчивого развития. По данным Института проблем химической физики РАН мировое техногенное потребление кислорода превосходит его приток в атмосферу. Нулевой баланс, по данным Римского клуба, был пройден еще в 70-е годы XX в., т. е. мы ввергаем последующие поколения в "кислородную катастрофу". И только состояние растительного мира определяет ресурс выживания современной цивилизации. «Растение – это посредник между небом и землей», - писал К.А. Тимирязев. Солнечную энергию – главный источник в растительных сообществах – в лесу поглощают в основном кроны деревьев в процессе фотосинтеза и тем самым накапливают органическое вещество. Основная масса солнечной энергии отражается от поверхности кроны и от почвы на прогалинах и уходит в атмосферу, незначительная часть расходуется на транспирацию.

При образовании 1 т растительной продукции используется 1,5 – 1,8 т углекислого газа и высвобождается 1,1 – 1,3 т кислорода. Ежегодно фотосинтезирующие организмы усваивают около 350 млрд т углекислого газа, выделяют в атмосферу около 250 млрд т кислорода и расщепляют 140 млрд т воды, образуя более 230 млрд т органического вещества, химическая энергия которых в 100 раз больше, чем энергия, вырабатываемая всеми электростанциями мира.

Около 50% выделенного растениями кислорода производится лесными экосистемами.

Лес занимает около 7% поверхности Земли, общая площадь его 3,8 млрд. га. Леса - основной тип растительности России, они занимают 45% ее территории. Россия обладает самыми большими в мире запасами леса. Площадь лесной части лесного фонда в РФ составляет 886.5 млн.га, а общий запас древесины - 80.7 млрд. м<sup>3</sup>, что составляет соответственно 21.7 и 25.9% мировых запасов. Превышение второй цифры над первой говорит о том, что Россия располагает более зрелыми и более продуктивными лесами, чем остальная планета в целом.

Леса как экологические системы интересны и важны во многих отношениях. Во-первых, это одни из немногих экосистем суши, сохранившиеся в естественном или слабо измененном человеком состоянии; во-вторых, это самые крупные экосистемы на Земле, которые характеризуются высокой продуктивностью и в

которых аккумулируется большая часть органического вещества планеты в виде древесины, детрита, гумуса, используемого затем человечеством как для собственного потребления, так и для восстановления исчезающих в процессе его хозяйственной деятельности компонентов биосферы.

Леса играют огромную роль в газовом балансе атмосферы и регулировании планетарного климата Земли. Общий баланс для лесов России, рассчитанный Б.Н. Моисеевым составил для углекислого газа 1789064.8 тыс тонн, а для кислорода 1299019.9 тыс тонн. Ежегодно в лесах России депонируется 600 млн тонн углерода. Эти гигантские объемы миграции газов существенно стабилизируют газовый состав и климат планеты.

Необходимо отметить появление в современных условиях ярко выраженной тенденции резкого сокращения мировых объемов продуцирования природного кислорода, обуславливаемого как загрязнением Мирового океана, так и ростом масштабов уничтожения лесных массивов на планете, и постоянного увеличения объемов потребления кислорода на техногенные цели. Лесопарк Земли за последние 200 лет уже сократился наполовину, - вырублено около 4 млрд. га леса, и в настоящее время хищническая рубка идет все возрастающими темпами (со скоростью 2% в год),

В настоящее время особую тревогу вызывает судьба самых больших лесных массивов планеты - амазонских лесов. Они были величайшим источником богатств для всей Земли. В 80-е года уничтожилось от 100 до 130 тыс. лесов с целью освобождения земли для пашни и скотоводства. За последние 10 лет потеряна 1/4 часть лесов Таиланда, за 5 лет - 1/7 лесов Филиппин. На этом фоне леса России, составляющие почти четверть мировых ресурсов, приобретают особую значимость для мирового сообщества.

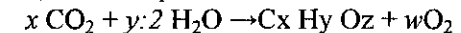
В таких условиях становится совершенно очевидной необходимость признания того, что атмосферный кислород, как и вода, земля, лес, полезные ископаемые и др., является, во-первых, возобновляемым природным ресурсом, а, во-вторых, продуктом леса и Мирового океана и, в-третьих, его использование на техногенные цели обуславливает образование экологического ущерба. В этой связи возникает необходимость компенсации указанного ущерба путем увеличения объемов продуцирования свободного кислорода на основе как очистки поверхности Мирового океана от загрязнений, так и расширением площадей

лесных насаждений, что требует дополнительного финансирования. Источником такого финансирования могут служить выплаты промышленных предприятий, потребляющих атмосферный кислород на техногенные цели.

В настоящее время возник вопрос о торговле квотами за пользование кислородом в связи с неоднородным распределением получения и потребления кислорода разными странами. Ряд стран являются донорами кислорода, их леса в избытке вырабатывают его и снабжают промышленные страны потребители. Тропические леса Бразилии производят в год избыточного кислорода около 5089 млн. т., а леса России - 5346 млн.т. Поставщиками кислорода являются также леса Канады, Аргентины, Венесуэлы, Мексики, Турции, Финляндии, Индонезии, Китая, Малайзии, Новой Зеландии, Филиппин. Активными потребителями кислорода являются промышленно-транспортные предприятия США, Австрии, Бельгии, Люксембурга, Англии, Германии, Греции, Дании, Италии, Нидерланд, Франции, Швеции, Венгрии, Польши, Румынии, Южной Кореи, Сингапура, Тайвани, Японии. Например, в США дефицит - разность между потреблением кислорода промышленностью и его воспроизводством растительностью составляет 1529 млн.т. ежегодно. Япония также потребляет атмосферного кислорода больше, чем производит флора её территории (на 1045 млн. т.) Япония и США - крупные потребители "чужого" кислорода - должны были бы ежегодно выплачивать странам - донорам 14,42 млрд. долларов и 21,1 млрд. долларов соответственно. Растительность России производит для всей планеты 5 млрд. т. избыточного кислорода, стоимость которого оценивается примерно 50 млрд. дол. Не исключено, что в XXI веке может быть осуществлён такой рыночный механизм.

Расчет количества поглощенных  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  и выделившегося  $\text{O}_2$  при создании древесины различных пород

Уравнение фотосинтеза, описывающее процесс создания вещества древесины, можно представить в общем виде:



Число атомов углерода, водорода и кислорода ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ), входящих в состав древесины, зависит от породы деревьев.

Элементный состав древесины (значения  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) рассчитывается исходя из процентного соотношения С, Н и О (табл.1) по формулам

$$x = C:A_1; \quad y = H:A_2; \quad z = O:A_3,$$

где С, Н, О – содержание углерода, водорода и кислорода в соответствующей породе древесины в %,  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  – атомные массы углерода, водорода и кислорода

Таблица 1 Химический состав древесины (% абсолютно сухого веса)

Древесная порода	С	Н	О	Зольные элементы
Береза	50,2	6,2	43,0	0,6
Бук	50,4	6,2	42,3	1,1
Дуб	50,5	6,3	42,3	0,9
Ель	50,5	6,2	42,8	0,5
Лиственница	50,1	6,3	43,2	0,4
Осина	50,3	6,3	42,6	0,8
Ольха	50,2	6,3	42,2	0,7
Пихта	50,4	6,0	43,1	0,5
Сосна	49,6	6,4	43,6	0,4
Кедр	49,8	6,3	43,5	0,4

#### Пример

Рассчитайте коэффициенты  $x$ ,  $y$ ,  $z$  для древесины пихты.

Общая формула древесины  $C_x H_y O_z$ ; процентное содержание углерода в древесине пихты составляет 50,4; атомная масса углерода = 12, следовательно:

$$x = 50,4 : 12 = 4,2$$

Аналогично рассчитываются  $y$  и  $z$  (атомная масса водорода = 1, атомная масса кислорода = 16):

$$y = 6,0 : 1 = 6,0, \quad z = 43,1 : 16 = 2,69.$$

Коэффициент  $w$  определяется через  $x$ ,  $y$ ,  $z$  из баланса числа атомов кислорода в уравнении фотосинтеза:

$$2x + y : 2 = z + 2w,$$

Следовательно,

$$w = x + y : 4 - z : 2.$$

В справочной литературе данные о запасах и приросте древесины даются в кубических метрах. Однако, при расчетах по уравнению фотосинтеза необходимо знать массу создаваемой древесины в абсолютно сухом весе. Абсолютно сухой вес растительного материала определяют высушиванием его до постоянного веса при 100 – 105 °С.

Пересчет объемов древесины на абсолютно сухой вес

производится по формуле

$$M_{\text{древ}} = PV,$$

где  $M_{\text{древ}}$  – масса абсолютно сухой древесины, кг;  $P$  – плотность древесины абсолютно сухого веса, кг/м<sup>3</sup>.

Плотность зависит от строения древесины и содержания в ней экстрактивных веществ (смол). Средние значения плотности древесины различных пород приведены в таблице 2.

Зная плотность древесины, можно рассчитать содержание сухого вещества в объеме древесины  $V$ , м<sup>3</sup>.

Если известно количество вещества древесины, созданного в лесу, то по формулам можно определить количества поглощенных при этом углекислого газа, воды и выделившегося кислорода:

$$MCO_2 = (x:100) \cdot (\text{молекулярная масса } CO_2) \cdot M_{\text{древ}};$$

$$MH_2O = (y:2:100) \cdot (\text{молекулярная масса } H_2O) \cdot M_{\text{древ}};$$

$$MO_2 = (w:100) \cdot (\text{молекулярная масса } O_2) \cdot M_{\text{древ}};$$

Таблица 2 Плотность древесины различных пород

Хвойные породы	$P$ , кг/м <sup>3</sup>	Лиственные породы	$P$ , кг/м <sup>3</sup>
Ель	430	Береза	600
Лиственница	570	Бук	680
Пихта	410	Дуб	650
Кедр	440	Ольха	490
Сосна	490	Осина	410

#### Пример

Какое количество  $CO_2$  и  $H_2O$  потребляется и какое количество  $O_2$  выделяется при создании 100 куб.м древесины кедр?

1. Определяем коэффициенты  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $w$  для древесины кедр:

$$x = 49,8 : 12 = 4,15; \quad y = 6,3 : 1 = 6,3, \quad z = 43,5 : 16 = 2,7$$

$$w = x + y : 4 - z : 2 = 4,15 + 6,3 : 4 - 2,7 : 2 = 4,38$$

2. Пересчитываем объем древесины в абсолютно сухой вес при плотности древесины кедр 440 кг/куб.м:

$$M_{\text{древ}} = 100 \cdot 440 = 44000 \text{ кг} = 44 \text{ т.}$$

3. Определяем поглощенные количества  $CO_2$  и  $H_2O$ :

$$MCO_2 = (4,15:100) \cdot 44 \cdot 44 = 80,3 \text{ т.}$$

$$MH_2O = (6,3:2:100) \cdot 18 \cdot 44 = 24,9 \text{ т.}$$

4. Определяем количество выделившегося кислорода:

$$MO_2 = (4,38:100) \cdot 32 \cdot 44 = 61,7 \text{ т.}$$

Часто при изучении древостоев определяют текущий годовой

прирост  $V_{год}$ , - созданный за один год объем древесины на площади леса в 1 га ( $m^3/га \cdot год$ ). Годовой прирост зависит от породы, возраста и бонитета древостоя.

Бонитет (от лат. bonitas — доброкачественность), показатель продуктивности леса, зависящий от условий (местообитания) - определяется средней высотой деревьев господствующей породы насаждения с учетом его возраста. По бонитировочной шкале насаждения делятся на 5 классов бонитета, обозначаемых римскими цифрами. К I классу относят насаждения наиболее продуктивные, к V классу — наименее продуктивные. Скорость роста древостоя увеличивается с повышением класса бонитета.

В табл. 3 приводятся значения годовых приростов основных лесообразующих пород I бонитета.

Таблица 3 Текущий годовой прирост в древостоях основных лесообразующих пород I бонитета ( $m^3/га$ )

Порода	Возраст деревьев, лет				
	15	35	55	75	135
Ель	7,6	11,1	11,6	10,7	6,9
Сосна	8,2	10,7	9,6	7,8	4,2
Кедр	8,3	10,7	10,4	8,2	5,4
Пихта	7,6	11,1	11,6	10,7	6,9
Лиственница	8,8	11,7	12,3	11,6	8,4
Береза	7,6	8,5	7,3	5,0	3,9
Осина	11,4	11,4	9,0	5,5	-
Дуб	10,9	10,5	8,3	5,9	4,0
Бук	12,9	15,4	15,6	14,9	11,9
Ольха	11,0	9,6	7,6	7,4	-

Масса древесины, созданная на 1 га леса за год, с учетом годового прироста равна

$$M_{древ \cdot год} = P \cdot V_{год}$$

#### Пример

Определите потребление углекислого газа, воды и выделение кислорода в древостоях при создании прироста древесины кедра, равного  $10,7 m^3/га \cdot год$

1. Определяем коэффициенты  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $w$  для древесины кедра:  
 $x = 49,8 : 12 = 4,15$ ;  $y = 6,3 : 1 = 6,3$ ,  $z = 43,5 : 16 = 2,7$   
 $w = x + y \cdot 4 - z \cdot 2 = 4,15 + 6,3 \cdot 4 - 2,7 \cdot 2 = 4,38$

2. Пересчитываем объем древесины на абсолютно сухой вес при текущем годовом приросте  $V_{год}$ , равном  $10,7 m^3/га \cdot год$ :

$$M_{древ \cdot год} = P \cdot V_{год} = 440 \cdot 10,7 = 4708 \text{ кг/га.}$$

3. Определяем количества поглощенных углекислого газа и воды:

$$MCO_2 = (4,15 : 100) \cdot 44 \cdot 4708 = 8596,8 \text{ кг;}$$

$$MH_2O = (6,3 : 100) \cdot 18 \cdot 4708 = 2669,4 \text{ кг;}$$

4. Определяем количество выделившегося кислорода:

$$MO_2 = (4,38 : 100) \cdot 32 \cdot 4708 = 6598,7 \text{ кг;}$$

#### Контрольные задания

1. Определите потребление углекислого газа, воды и выделение кислорода разными породами деревьев (см. табл. 4) при создании годового прироста древесины.

2. Определите количество древесины, которое должно быть создано на 1 га, чтобы при этом было поглощено 3 т углекислого газа.

3. Определите количество древесины, которое должно быть создано на 1 га, чтобы при этом выделилось 3 т кислорода.

4. Определите, какой объем древесины должен быть создан для выделения количества кислорода, необходимого человеку для дыхания в течение жизни? (Потребление кислорода в состоянии покоя 12 л/час, масса 1 л кислорода при нормальных условиях 1,43 г, средняя продолжительность жизни 70 лет).

#### Контрольные вопросы

1. К каким последствиям приводит уничтожение лесов?
2. Какие аспекты продукционного процесса в лесу не рассмотрены в практической работе?
3. Представьте, что в мире введены квоты за дефицит потребления кислорода в пользу стран-доноров. К каким изменениям в мировой системе это могло бы привести?

Таблица 4 Варианты заданий

Предпоследняя цифра шифра зачетки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Последняя цифра шифра зачетки	Варианты заданий									
1	Е 15	К15	Л15	Ос15	Д15	Ос75	Л55	С 15	Л35	Е 55
2	Ол15	П55	Д75	Ос35	Д35	П15	С 15	С 35	Д35	К135
3	Б15	Е135	Л55	Ос55	Бр15	Д135	Бр35	Ол35	Б15	К15
4	Е75	К135	Ол35	Ос75	Д75	Е 35	К55	С75	С 15	Л35
5	Д55	К15	Л135	С75	П35	К55	К75	С135	Л75	П35
6	С 15	П15	Бр15	Ол15	С 15	Л15	Ол15	Бр55	Е55	Бр75
7	Д55	Л55	Б15	С55	Б35	Л35	Е135	Ос35	Д75	Е75
8	С55	С 35	Е 55	П55	Ол55	Бр15	Б55	Е15	К15	Д75
9	Бр75	П75	Д15	Ол75	Б75	Л75	Л55	Б35	Л35	Д135
0	С135	П135	Бр135	Е 15	Б135	Л135	К135	Д135	Бр55	Б15

Условные обозначения: С – сосна, Бр – береза, Д – дуб, Е – ель, К – кедр, Л – лиственница, Б – бук, Ол – ольха, Ос – осина, П – пихта. Цифрами обозначен возраст древостоя.

#### Библиографический список


1. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. Ростов н/Д: Изд-во «Феникс», 2001
2. Степановских А.С. Прикладная экология. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2005.
3. Клауд П., Джибор А. Круговорот кислорода.//Биосфера. М.: Мир, 1982. С. 73-91.
4. Никонов М. В. Лесоводство: учебное пособие. - Санкт-Петербург, 2010. - 223 с.
5. Комаров А.С. и др. Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах. - Москва : Наука, 2007. - 379 с.

# МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра охраны труда и окружающей среды

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
О.Г. Локтионова  
2013 г.



## Круговорот углерода

Методические указания к проведению практических занятий  
по дисциплинам «Общая экология», «Экология»,  
«Экология Курского края» для студентов  
всех специальностей и направлений

Курск 2013

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-

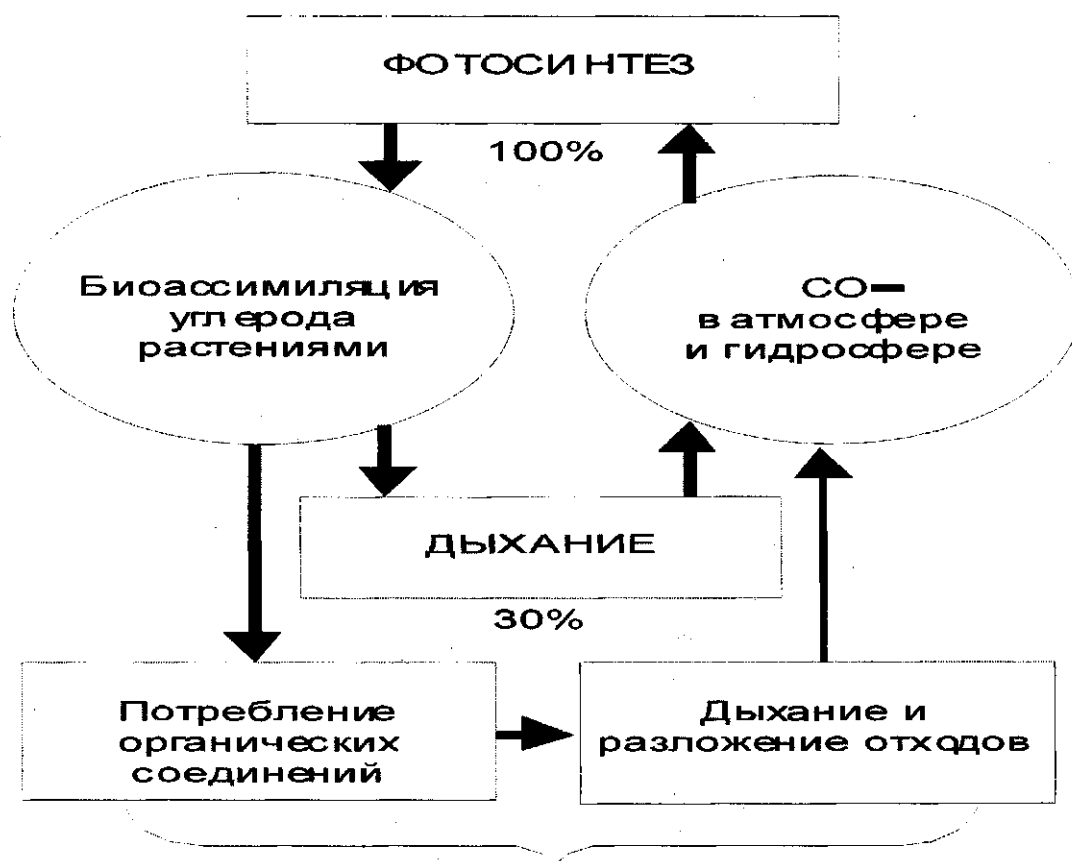


Рис.1. Круговорот углерода

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.

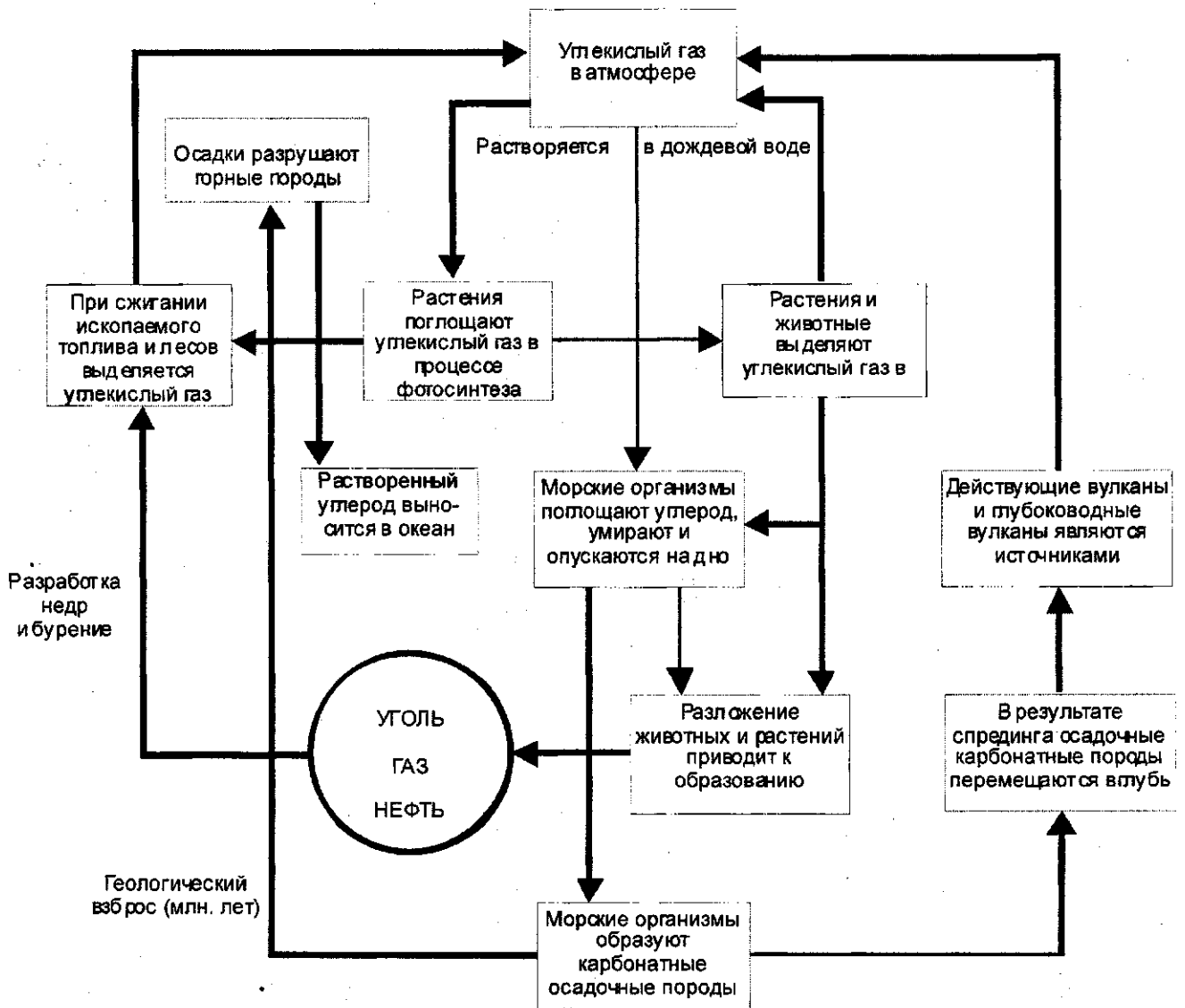


Рис.2. Диаграмма других частей углеродного цикла, включающая последствия антропогенной деятельности.

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

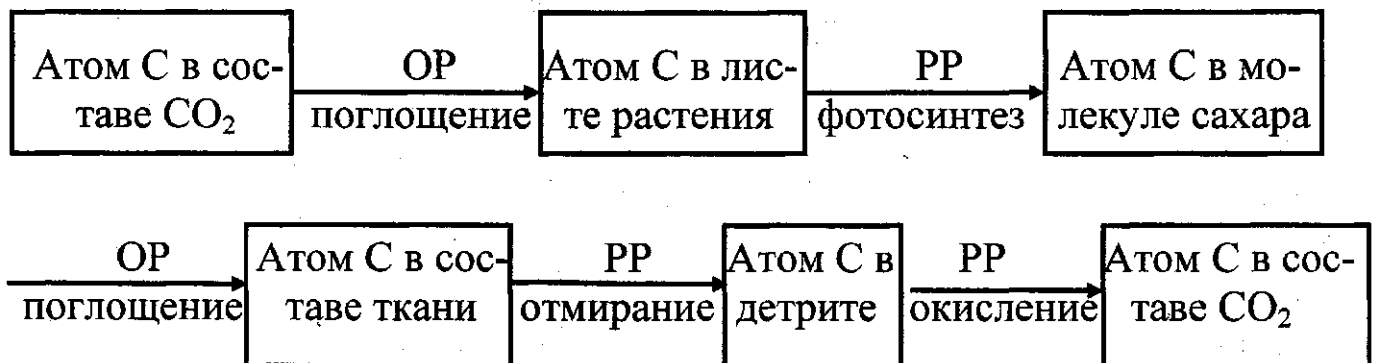
Проследить путь атома углерода в ходе круговорота.

### 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.

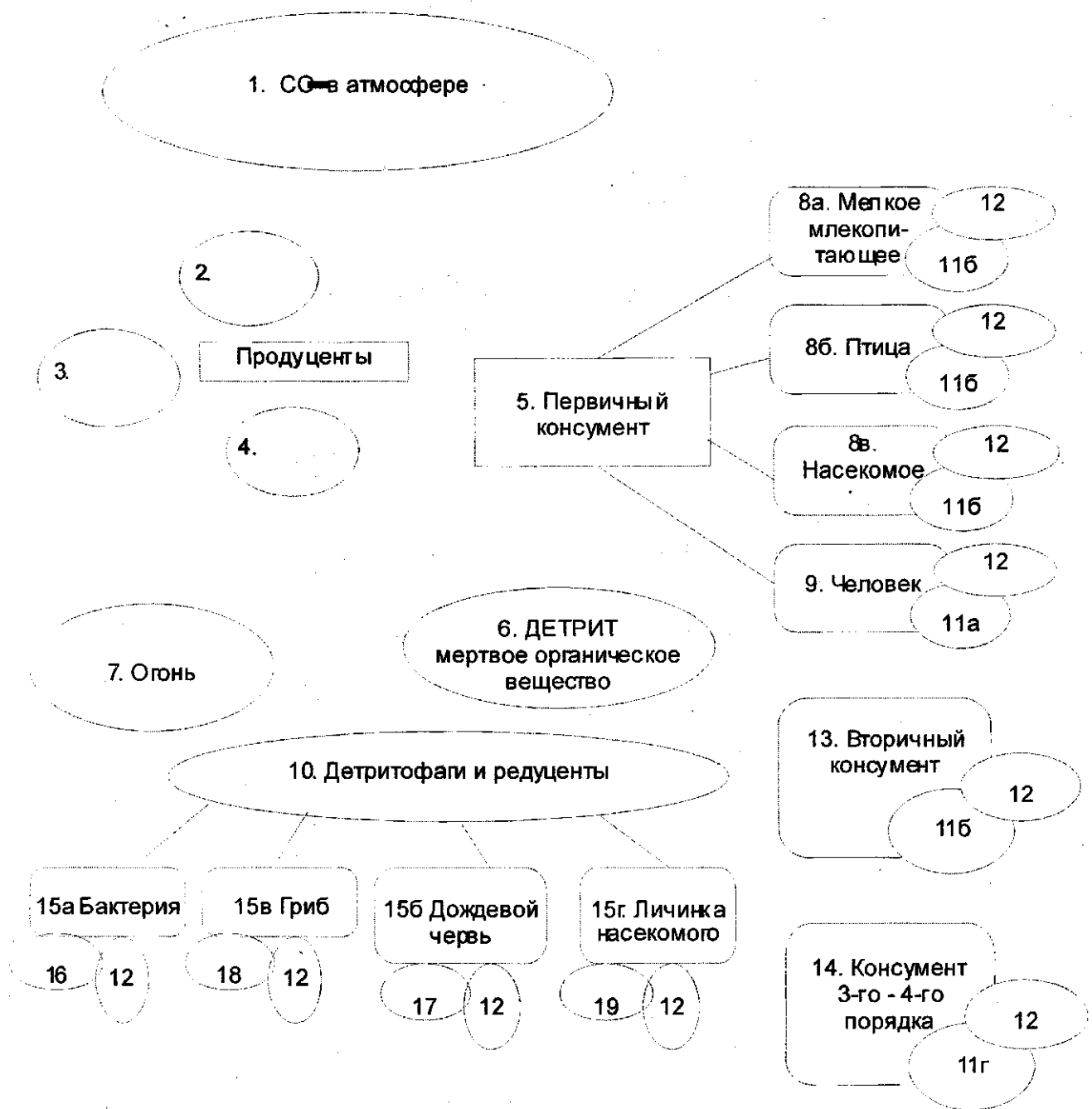


Рис.3. Цикл углерода

### 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.

# **МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)**

**Кафедра охраны труда и окружающей среды**

**УТВЕРЖДАЮ**

**Проректор по учебной работе**

**О.Г. Локтионова**

**2013 г.**



## **РАСЧЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СЛЕДА**

**Методические указания к проведению практических занятий  
по дисциплинам «Экология», «Экология Курского края», «Со-  
циальная экология», «Теория устойчивого развития» для студентов  
всех специальностей и направлений**

**Курск 2013**

УДК 500.3

Составители: Е.А. Преликова, В.В. Зотов

Рецензент

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

**Расчет экологического следа:** методические указания к проведению практических занятий по дисциплинам «Экология», «Экология Курского края», «Социальная экология», «Теория устойчивого развития» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Е.А. Преликова, В.В. Зотов. Курск, 2013. 10 с.: Библиогр.: с.8.

Представлен порядок расчета экологического следа.

Предназначены для студентов всех специальностей и направлений, изучающих дисциплины «Экология», «Экология Курского края», «Социальная экология», «Теория устойчивого развития».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать                      Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.  
Усл. Печ. л. 0,63. Уч.-изд.л.0,53. Тираж 30 экз. Заказ 483 . Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

**Цель работы:** определить свой индивидуальный экологический след и рассчитать, насколько он превосходит возможности планеты.

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Понятие «экологический след» (ecological footprint) было впервые использовано в 1992 году Уильямом Ризом.

Этот индикатор еще называют «показателем давления на природу». Он помогает установить, сколько земельных и водных ресурсов используется человеком (городом, регионом, бизнес-организацией) для производства, потребления и утилизации необходимых для его жизнедеятельности товаров и услуг.

*Биологический потенциал (Bioscaracity)* – это возможность биосферы Земли производить возобновляемые ресурсы.

*Глобальный гектар* – это гектар земли или морской среды со средней по земному шару способностью к производству ресурсов и утилизации отходов.

В настоящее время биологический потенциал на душу населения Земли составляет 1,78 гектаров.

*Экологический след* – это ресурсы необходимые для удовлетворения наших потребностей. Экологический след измеряется в глобальных гектарах. Если вычесть из биологического потенциала экологический след (1,78 – 2,70), то можно узнать, насколько наше потребление ресурсов превосходит возможности планеты.

Каждый человек может самостоятельно определить величину своего «воздействия» на окружающую природу. Для установления индивидуального экологического следа в расчет принимается не только расход электричества, продуктов, одежды, но и образ жизни в целом. То есть, любая совершенная покупка или услуга оказывают определенное воздействие на окружающую среду.



**Основные цели программы сокращения экологического следа  
закключаются в следующем:**

1) Рост численности населения должен замедлиться и в конечном итоге приостановиться. Три основных фактора, влияющих на выбор семей иметь меньше детей, – доступ женщин к образованию (карьерный рост женщины), уровень дохода, здравоохранение.

2) Сокращение потребления товаров и услуг на душу населения. Людям, живущим на уровне или ниже уровня бедности, нужно увеличить потребление, но более богатые могут уменьшить потребление при сохранении достаточно высокого качества жизни (например, снижение потребления ископаемого топлива автомобилями можно компенсировать созданием в городах благоприятных условий для передвижения пешком).

3) Объем ресурсов, используемых в производстве товаров и услуг, должен быть значительно уменьшен – через повышение энергоэффективности на производстве и в быту, переход на автомобили, потребляющие меньше топлива, за счет уменьшения расстояния транспортировки товаров (предпочтение местным производителям), увеличения рециклизации и повторного использования отходов.

4) Увеличение площади биопродуктивных областей, улучшение бедных угодий. Для этого следует применять террасирование, ирригацию. Однако, во-первых, следует иметь в виду, что экономическая эффективность при этом может снизиться, а, во-вторых, необходимо предупредить негативные экологические эффекты, такие как засоление почв, опустынивание.

5) Увеличение биопродуктивности экосистем. Объем продукции биоты с одного гектара зависит от типа экосистемы и от способа управления. Для этой цели могут служить защита почв от эрозии; охрана водно-болотных угодий, водоразделов для обеспечения поставок пресной воды; устойчивое лесопользование и рыболовство; предотвращение изменений климата (засух, наводнений, ураганов, смерчей и т.п.); отказ от использования пестицидов

## ПОРЯДОК РАСЧЕТА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СЛЕДА

Порядок расчета экологического следа заключается в осуществлении шести последовательно выполняемых этапов:

*Цифры напротив вопросов означают количество баллов, которое вы должны прибавить или убавить.*

### 1. Жильё

1.1 Площадь вашего жилья позволяет держать кошку, а собаке нормальных размеров было бы тесновато +7

1.2 Большая, просторная квартира + 12

1.3 Коттедж на 2 семьи +23

*Баллы, полученные за ответ на вопрос о жилье, разделите на количество людей, живущих в нём.*

### 2. Использование энергии

2.1. Для отопления вашего дома используется нефть, природный газ или уголь +45

2.2. Для отопления вашего дома используется энергия воды, солнца или ветра +2

2.3 Отопление вашего дома устроено так, что вы можете регулировать его в зависимости от погоды -10

2.4. В холодный период года дома вы тепло одеты, а ночью укрываетесь двумя одеялами -5

2.5. Выходя из комнаты, вы всегда гасите в ней свет - 10

2.6. Вы всегда выключаете свои бытовые приборы, не оставляя их в дежурном режиме -10

*Большинство из нас получает электроэнергию из горючих ископаемых, поэтому добавьте себе +75*

### 3. Транспорт

3.1. На работу вы ездите на общественном транспорте +25

3.2. На работу вы идете пешком или едете на велосипеде +3

3.3. Вы ездите на обычном легковом автомобиле +45

3.4. Вы используете большой и мощный автомобиль с полным приводом +75

3.5. В последний отпуск вы летели самолетом +85

3.6. В отпуск вы ехали на поезде, причем путь занял до 12 часов +10

3.7. В отпуск вы ехали на поезде, причем путь занял более 12 часов +20

#### 4. Питание

4.1. В продуктовом магазине или на рынке вы покупаете в основном свежие продукты (хлеб, фрукты, овощи, рыбу, мясо) местного производства, из которых сами готовите обед +2

4.2. Вы предпочитаете уже обработанные продукты, полуфабрикаты, свежемороженые готовые блюда, нуждающиеся только в разогреве, а также консервы, причем не смотрите, где они произведены +14

4.3. В основном вы покупаете готовые или почти готовые к употреблению продукты, но стараетесь, чтобы они были произведены поближе к дому +5

4.4. Вы едите мясо 2-3 раза в неделю +50

4.5. Вы едите мясо 3 раза в день +85

4.6. Предпочитаете вегетарианскую пищу +30

#### 5. Использование воды и бумаги

5.1. Вы принимаете ванну ежедневно +14

5.2. Вы принимаете ванну 1-2 раза в неделю +2

5.3. Вместо ванны вы ежедневно принимаете душ +4

5.4. Время от времени вы поливаете приусадебный участок или моете свой автомобиль из шланга +4

5.5. Если вы хотите прочитать книгу, то всегда покупаете её +2

5.6. Иногда вы берете книги в библиотеке или одалживаете у знакомых -1

5.7. Прочитав газету, вы ее выбрасываете +10

5.8. Выписываемые или покупаемые вами газеты читает после вас ещё кто-то +5

### 6. Бытовые отходы

6.1. За последний месяц вы хоть раз сдавали бутылки -15

6.2. Выбрасывая мусор, вы откладываете в отдельный контейнер макулатуру -17

6.3. Вы сдаёте пустые банки из-под напитков и консервов -10

6.4. Вы выбрасываете в отдельный контейнер пластиковую упаковку -8

6.5. Вы стараетесь покупать в основном не фасованные, а развесные товары; полученную в магазине упаковку используете в хозяйстве -15

6.6. Из домашних отходов вы делаете компост для удобрения своего участка -5

*Все мы создаём массу отбросов и мусора, поэтому добавьте себе +100*

#### Подведение итогов:

Если вы живёте в городе с населением в полмиллиона и больше, умножьте ваш общий результат на 2.

#### **Задание**

1. Определите Ваш экологический след в глобальных гектарах. Для этого разделите полученное число баллов на 100.

2. Определите, насколько Ваш экологический след превосходит возможности планеты.

3. Сделайте вывод о том, что необходимо сделать для уменьшения этого превосходства.

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте определения понятиям «Экологический след», «Биологический потенциал», «Глобальный гектар».
2. Когда и кем было введено понятие «Экологический след»?
3. Второе название «Экологического следа». Что оно характеризует?
4. При установлении экологического следа что необходимо принимать в расчет?
5. В чем заключаются основные цели программы сокращения экологического следа?

### **Библиографический список**

1. Закон Российской Федерации «Об охране окружающей природной среды» (1991 г.).
2. Земельный Кодекс Российской Федерации (1992 г.).
3. Положение «Об оценке воздействия на окружающую среду в Российской Федерации». Утверждено приказом Минприроды России от 18.07.94 N 222.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ТАБЛИЦА 1 - ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СЛЕД И БИОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ НЕКОТОРЫХ СТРАН

Регион	Население, млн. чел	Экологический след, глоб.га/чел	Биологический потенциал, глоб.га/чел
<b>Весь мир</b>	<b>7 095,2</b>	<b>2,23</b>	<b>1,78</b>
Развитые страны	955,6	6,4	3,3
Развивающиеся страны	3 836,5	1,9	2,1
Слаборазвитые страны	2 303,1	0,8	0,7
<b>Африка</b>	<b>846,8</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>
Египет	71,9	1,4	0,5
Ливия	5,6	3,4	1,0
Сомали	9,9	0,4	0,7
<b>Средний Восток и Центральная Азия</b>	<b>346,8</b>	<b>2,2</b>	<b>1,0</b>
Азербайджан	8,4	1,7	1,2
Армения	3,1	1,1	0,6
Афганистан	23,9	0,1	0,3
Грузия	5,1	0,8	1,2
Казахстан	15,4	4,0	4,1
Киргизия	5,1	1,3	1,4
Объединенные Арабские Эмираты	3,0	11,9	0,8
Таджикистан	6,2	0,6	0,5
Туркменистан	4,9	3,5	3,6
Узбекистан	26,1	1,8	0,8
<b>Азиатско-Тихоокеанский регион</b>	<b>3 489,4</b>	<b>1,3</b>	<b>0,7</b>
Австралия	19,7	6,6	12,4
Индия	1 065,5	0,8	0,4
Китай	1 311,7	1,6	0,8
Таиланд	62,8	1,4	1,0
Япония	127,7	4,4	0,7

Продолжение табл. 1

<b>Латинская Америка и Карибский бассейн</b>	<b>535,2</b>	<b>2,0</b>	<b>5,4</b>
Бразилия	178,5	2,1	9,9
Коста-Рика	44,2	1,3	1,5
Куба	11,3	1,5	0,9
<b>Северная Америка</b>	<b>325,6</b>	<b>9,4</b>	<b>5,7</b>
Канада	31,5	7,6	14,5
США	294,0	9,6	4,7
<b>Европа (ЕС)</b>	<b>454,4</b>	<b>4,8</b>	<b>2,2</b>
Германия	82,5	4,5	1,7
Финляндия	5,2	7,6	12,0
Швеция	8,9	6,1	9,6
Эстония	1,3	6,5	5,7
<b>Европа (без ЕС)</b>	<b>272,2</b>	<b>3,8</b>	<b>4,6</b>
Албания	3,2	1,4	0,9
Белоруссия	9,9	3,3	3,2
Молдова	4,3	1,3	0,8
Россия	143,3	4,4	6,9
Украина	48,5	3,2	1,7
Швейцария	7,2	5,1	1,5

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Курский государственный технический университет»  
(КурскГТУ)

Кафедра охраны труда и окружающей среды



**Структура вида и популяций**

Методические указания к проведению практической работы по дисциплинам  
«Общая экология», «Экология Курского края» и «Экология» для студентов  
всех специальностей



УДК 66.074.2/3

Составитель: Д.Е. Татаренко

Рецензент:

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

Структура и видовое разнообразие биоценозов [Текст]: методические указания к проведению практической работы по дисциплинам «Общая экология», «Экология Курского края», «Экология» для студентов всех специальностей / Курск. гос. техн. ун-т; сост. Д.Е. Татаренко. Курск, 2010.

12 с: табл. 3

Излагаются основные теоретические понятия о структуре биологических видов и популяций. Приводятся основные данные по иерархии внутривидовых группировок растений и животных политипических таксонов видового ранга, включая количественные характеристики их микропопуляций и макропопуляций. Описаны главные эколого-географические и фенологические особенности видов, возрастная и половая структура популяций. Также даны примеры методов качественного сравнения биологических популяционных признаков, включая их поведенческие особенности, выявление доминантных и субдоминантных видов в биогеоценозах.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 20.05.10 Формат 60×84 1/16.

Усл. печ. л.1,0. Уч. издл. 1,0. Тираж 30 экз. Заказ 457. Бесплатно.

Курский государственный технический университет  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

### Цель занятия:

Изучить основные типы пространственного распределения популяций живых организмов, внутривидовые закономерности размещения животных и растений, определение их численности и структуры на основе эколого-флористических и эколого-фаунистических описаний и сборов коллекционных материалов.

### ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Популяцией в экологии называют группу особей одного биологического вида, находящихся в более тесном взаимодействии между собой и совместно населяющих общую территорию (часть видовой ареала).

В популяциях любых живых организмов проявляются в той или иной степени все формы связей, характерные для межвидовых отношений, но наиболее ярко выражены мутуализм и конкуренция. Специфические внутривидовые взаимосвязи – это отношения, связанные с воспроизводством численности особей данного вида. При половом размножении обмен генами превращает популяцию в относительно целостную генетическую систему.

Популяции видов животных и растений обладают многими биологическими, а также поведенческими (этологическими) признаками, позволяющими им регулировать свою численность.

Поддержание оптимальной в данных условиях численности называют гомеостазом популяции. Гомеостатические возможности популяций по-разному выражены у различных видов. Таким образом, популяции, как групповые объединения (и как особый уровень организации биологических систем), обладают рядом специфических свойств, которые не присущи отдельно взятой особи.

Групповые особенности разных представителей животных и растений – это основные количественные характеристики конкретных популяций. К ним также относятся:

1) **Численность** – общее количество особей на выделяемой территории;

2) **Плотность популяции** - среднее число особей на единицу площади или объёма занимаемого популяцией пространства;

3) **Рождаемость** - число новых особей, появившихся за единицу времени в результате размножения;

4) **Смертность** - показатель, отражающий количество погибших в популяции особей за определённый отрезок времени;

5) **Прирост популяции** - разница между рождаемостью и смертностью (она может быть как положительной, так и отрицательной);

6) **Темп роста** - средний прирост за единицу времени;

7) **Дисперсия популяции** - выселение и пополнение её пришельцами.

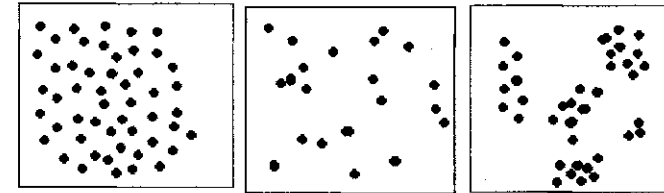
Иногда для практических целей важно знать биотический потенциал вида - данный показатель отражает теоретически возможный максимум потомков от одной пары (или одной особи) за единицу времени, например, за 1 год или за весь жизненный цикл. Для ряда видов очень важна последовательность и число генераций: **моновольтинные и поливольтинные** (в год), **моноцикличные и полицикличные** (в течение жизни).

В основе способности популяций к гомеостазу лежат изменения физиологических особенностей, роста, поведения каждой особи в ответ на увеличение или уменьшение числа членов популяции, к которой она принадлежит. Теоретически в относительно неизменных и достаточно благоприятных условиях окружающей среды, популяция способна сохраняться неопределённо долго благодаря самовоспроизводимости. Но, как биологическая система, она обладает генетической изменчивостью и может приспосабливаться к новым условиям. В наиболее обычном случае двулолого размножения в пределах популяции имеет место постоянный обмен генетической информацией, т.е. общий генофонд. Этот обмен может быть в той или иной степени затруднён избирательностью при спаривании или другими причинами.

Рождаемость, смертность, эмиграцию и иммиграцию особей относят к числу динамических характеристик популяций данного вида. Их неустойчивый баланс приводит к более или менее резким изменениям численности и, соответственно, плотности популяции. Эти изменения во времени называют динамикой численности.

Существуют разные количественные и качественные методы определения численности популяций животных и растений на поверхности земли и на дне морских или пресноводных сообществ. Они имеют разную степень точности. Иногда возможно подсчитать всех особей (например, крупных млекопитающих или растения на определённой площади). Нередко полученные данные необходимо экстраполировать на очень большие пространства экосистем или целых биомов. Современная демоэкология сложна потому, что полученные результаты меняются со временем из-за постоянного изменения климата, цикличности погодных условий, непрерывной изменчивости адаптивных способностей живых организмов.

Как правило, изменения численности сопровождаются изменениями пространственного размещения особей. Каждый вид, занимая определённую территорию или акваторию (ареал), практически всегда представлен на ней **системой популяций**. Особенности и типы размещения особей растений и животных, принадлежащих к одной популяции (или микропопуляции) на территории (акватории) участка биогеоценоза или всей экосистемы, представлены на схемах:



1) равномерное; 2) случайное; 3) агрегированное.

Следует обратить внимание, что чёткой границы между ними нет. Кроме того, у высших позвоночных животных внутривидовое распределение всегда регулируется системой врождённых инстинктов. Им свойственно особое территориальное поведение - это разнообразные реакции на местонахождение других членов популяции. Сложные инстинкты, поддерживающие размещение на территории отдельных особей или групп особей, известны у птиц, млекопитающих, рептилий, рыб, в меньшей степени - у амфибий. Они также нередко выражены у многих разнообразных представителей беспозвоночных, обладающих сложной и развитой нервной системой - это биологические группы насекомых, пауков, головоногих моллюсков. У всех вышеперечисленных существ закрепление занимаемого участка достигается разными способами:

1) охрана границ занимаемого пространства и прямая агрессия по отношению к чужаку; 2) особым ритуальным поведением, демонстрирующим угрозу; 3) системой специальных сигналов или меток, свидетельствующих о занятости территории.

### ИЕРАРХИЯ ПОПУЛЯЦИЙ И ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОЛИТИПИЧЕСКОГО ВИДА

Почти всегда даже при относительно чётком физико-географическом разграничении ландшафтов и биотопов все близко расположенные популяции составляют континуум на поверхности земли, на дне водной экосистемы или в объёме пространства литосферы, гидросферы и т.д. (по крайней мере – за счёт мигрантов). Этот континуум обычно распространяется на большой географический район с более или менее однородными климатическими условиями, рельефом и сообществами растений.

Такую сложную совокупность элементарных популяций часто называют подвидом или суперпопуляцией. Практически всегда в этих случаях есть небольшие, но статически достоверные морфологические различия между этими группами.

**Подвид** – это термин, имеющий географическое значение (и для растений, и для животных) и подчёркивающий небольшие отличительные фенотипические признаки всех популяций, которые населяют часть видового ареала. В научной литературе латинское название подвида ставится после бинарного названия вида.

Сплошной ареал биологического вида может быть представлен как система подвидов, а разорванный ареал – как совокупность изолированных подвидов или суперпопуляций. Иногда в биоэкологии и, в частности, в демэкологии предполагается, что элементарная популяция в границах системы не очень отдалённых биотопов и ландшафтов тоже подразделена на микропопуляции (участки степей, луговых сообществ, лугоболотные экосистемы, луго-степных биотопы, лесостепных биотопы, меловых экотопы, лесных фитоценозы и проч.). Это нередко население одного отдельного участка в десятки и сотни квадратных метров или более. Но в реальном биогеоценозе эта площадь может охватывать и всего нескольких деревьев (или население одного-единственного пня). Границу между популяцией и микропопуляцией провести достаточно трудно, как и отразить на местности реальную площадь, которую она занимает.

Из-за особых биохимических и кормовых свойств растений или абиотических условий микроклимата (мезоклимата) большинство особей, которые входят в состав одного подвида или более мелкой группировки все они могут действительно отличаться по размерам, морфологии, окраске и т.д., а вследствие их внутривидовых взаимодействий они обладают и более сходными генетическими признаками.

Так в пределах вида возникают разные совокупности особей, всё более тесно связанные генетической информацией друг с другом, что выражается в иерархической и политипической структуре биологического вида:

- 1) вид (ареал, часто большой по площади);
- 2) подвид (определённый географический р-н, более или менее крупный);
- 3) элементарная популяция (биоценоз или совокупность нескольких биогеоценозов);
- 4) микропопуляция (биоценоз, микробиотоп).

Данная классификация основывается на ландшафтно-биотопическом подходе к выделению внутривидовых группировок.

### ВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ

Возрастная структура популяций может иметь более или менее выраженный приспособительный характер. Она формируется исходя из приспособительных биологических свойств вида. Нередко экологические и морфо-экологические особенности разных стадий организма очень различны, в природных биоценозах они вообще могут выполнять совсем разные биологические функции (расселение, питание, размножение).

Интересна возрастная структура популяций у двулетних и многолетних растений. У них обычно образуются ценопопуляции, т.е. небольшие популяции отдельного фитоценоза, у которых их абсолютный возраст и возрастное состояние – понятия совсем не тождественные. Полный онтогенез включает многие стадии от проростка до отмирающей особи, которая способна к вегетации в течение многих весенне-летних сезонов. Распределение всех особей ценопопуляции по возрастным состояниям называется их возрастным спектром.

## ПОЛОВОЙ СОСТАВ ПОПУЛЯЦИЙ

Под половой структурой популяции понимают численное соотношение самцов и самок. Практически все виды животных и многие растения в своей основе бисексуальны. Иногда может быть развит гермафродитизм, широко известный у паразитических групп. Для большинства животных типично соотношение полов, близкое к 1:1. Помимо генетических причин, соотношение полов может определяться соотношением выживаемости самцов и самок, которая нередко различна из-за физиологических, биохимических и других особенностей. Кроме того, у многих животных известно явление партеногенеза – размножение неоплодотворённых самок, в результате которого могут появляться самки или особи обоих полов.

Как правило, чем дальше друг от друга расположены биотопы, тем больше различаются их климат, почвы, фитоценозы и растительные ассоциации. Соответственно, благодаря естественному отбору между отдалёнными друг от друга популяциями могут возникнуть существенные различия. При сравнении групп живых организмов, взятых из географических пунктов, отдалённых друг от друга на сотни километров, принято говорить о географических популяциях.

Из многочисленных данных демэкологии известно, что если они были образованы за счёт немногих мигрантов (иногда это одна самка), то благодаря так называемому "эффекту основателя", возникающему при отсутствии обмена генетической информацией, неизбежно происходит географическая дивергенция, основанная на генетических и морфологических различиях. И даже скрещивание особей подвидов одного вида из-за несоответствия в этологии, физиологии и т.д. это может быть затруднено или вовсе невозможно.

Две различные популяции могут существовать и очень близко, если они приспособлены к двум заметно отличающимся друг от друга биотопам. Так, на песчаных и лёссовых почвах обитают несколько различные жуки-чернотелки, относящиеся к одному виду. Такие популяции одного вида, занимающие соседние территории с разными типами местообитаний и сохраняющие свою самостоятельность без наличия каких-либо внешних препятствий, называют часто экологическими расами.

В пределах одного биотопа (биогеоценоза) также может существовать несколько сезонных экологических рас, мало или совсем не обменивающихся генетической информацией.

Помимо изменения сроков развития, питание животных-фитофагов на различных кормовых растениях также может приводить к разным затруднениям в скрещивании особей одного вида. Согласно правилу Гопкинса (1917), многие насекомые-фитофаги предпочитают откладывать яйца на растения того вида, которым питались на стадии личинки. По-видимому, здесь имеет место запоминание насекомым запаха или др. свойств кормового растения, аналогичное импринтингу. Подобное же явление возможно при развитии одного и того же паразита на разных хозяевах. Если при этом спаривание насекомых преимущественно происходит на хозяине или около него или же возникают изменения в окраске и поведении, связанные с различным кормом, то в пределах популяции дифференцируются биологические экологические расы. Как правило, эти расы не полностью изолированы друг от друга.

Неоднородность признаков генотипа и фенотипа особей, входящих в популяцию, имеет большое экологическое значение. В зависимости от конкретных условий больше шансов выжить то у одних, то у других особей, которые затем снова восстанавливают всю популяцию. Изменчивость в популяции может быть более или менее заметна, но она очень часто имеет приспособительное значение. Следует отметить, что практически в любой популяции есть более или менее склонные к миграции особи.

В зависимости от качества, состава и запасов пищи, от различных климатических и погодных условий преимущественно выживает та или иная часть популяции, и, следовательно, сохраняется её общий генофонд (он получается немного изменённым). В любом случае возможность выживания отдельно взятой популяции резко увеличивается именно благодаря её генетической и фенетической неоднородности.

## ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

### Задание № 1.

На станции кольцевания птиц было отловлено и окольцовано 140 дроздов-рябинников. Через 10 дней массовый отлов повторили

и поймали 225 птиц, из них 25 были уже с кольцами. Определить, какова численность этих птиц на исследуемой территории, занимаемой популяцией, приняв во внимание, что меченные в первый раз дрозды равномерно распределились по всем этим биотопам.

### Задание № 2.

Изобразите в виде диаграммы количественные и качественные особенности состава гнездового материала четырёх видов выюровых птиц (Можарова, 2001), основываясь на приведённых исследованиях (численные значения даны в %):

Название материала, использованного для строительства гнёзд	Зяблик	Коноплянка	Зеленушка	Дубонос
Зелёные мхи	100	-	30	-
Стебли травянистых растений	60	100	90	100
Древесные веточки	10	-	40	100
Мелкие корни	20	50	70	50
Кора берёзы	20	-	-	50
Растительный пух	20	-	-	-
Семёна вяза	30	-	-	-
Зелёные листья	-	-	10	-
Соцветия берёзы	-	-	10	-
Перья птиц	50	50	60	-
Шерсть животных	40	-	-	50
Вата	10	-	30	-
Синтетическая нить	30	-	50	-
Бумага	10	-	-	-

### Задание № 3.

Начертить таблицу численности и размещения выюровых птиц в различных биотопах среднерусской лесостепи (число пар на кв.км) и письменно сделать выводы – какие виды являются доминантами и субдоминантами в смешанных лесах и в пойменных лесах (Сарычев, Можарова, 2001):

Местообитания	Зяблик	Коноплянка	Зеленушка	Дубонос	Щегол
Смешанный лес	73	2,5	3,7	7,5	16
Пойменный лес	134,2	-	20	17,5	12,5
Лесополосы	29,4	12,5	24,1	7,5	24,1
Парковые зоны	40	2,5	25	2,5	20

### Задание № 4.

Нарисуйте схемы равномерного, случайного и агрегированного размещения особей на территории биотопа, которые входят в состав одной популяции. Напишите, при каком сочетании абиотических и биотических факторов (в том числе учитывая особенности почвы, рельефа и т.д.) могут быть реализованы в природе указанные структурные признаки популяционного распределения у растений или животных.

### Отчёт по практическому заданию должен содержать:

1. Письменные ответы на вопросы для самоконтроля, включающие некоторые определения популяционной экологии.
2. Письменное оформление заданий 1-4, включая таблицы и построенные по ним графики. Напишите выводы, обоснования и ответы.

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ****Вопросы для устного самоконтроля:**

1. Перечислите основные экологические количественные характеристики биологической популяции животных или растений.
2. Чем определяется половой состав популяции, от каких условий и биологических признаков он зависит?
3. Приведите примеры популяций, имеющих ярко выраженное трёхмерное распределение в пространстве.
4. В чём заключаются главные особенности возрастной структуры ценопопуляций двулетних и многолетних растений?
5. Приведите примеры моновольтинных и поливольтинных видов.
6. Приведите примеры партеногенетических видов.

**Вопросы для письменного самоконтроля:**

1. Что такое вид, подвид и микропопуляция? Напишите определения.
2. Что такое политипический вид? Напишите определение и примеры.
3. Опишите главные особенности популяции, как биологической системы, которые позволяют ей сохранять свою способность к самовоспроизведению и гомеостазу.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Северцов А.С. Теория эволюции. Учебник для студ. ВУЗов. М.: Гуманитарное изд. Центр ВЛАДОС. 2005 г. 380 С.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Курский государственный технический университет»  
(КурскГТУ)  
Кафедра охраны труда и окружающей среды



работе  
Шов  
2010г.

**Структура и видовое разнообразие биоценозов**

Методические указания к проведению практической работы по  
дисциплинам «Общая экология», «Экология Курского края»,  
«Экология»  
для студентов всех специальностей

Курск 2010

УДК 66.074.2/3

Составитель: Д.Е.Татаренко

Рецензент

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

**Структура и видовое разнообразие биоценозов** [Текст]:  
Методические указания к проведению практической работы по дисциплинам «Общая экология», «Экология Курского края», «Экология» для студентов всех специальностей / Курск. гос. техн. ун-т; сост. Д.Е. Татаренко. Курск, 2010. 16 с: табл. 3

Излагаются основные теоретические понятия о структуре и развитии природных биоценозов. Приводятся некоторые индексы и математические коэффициенты, используемые для оценки биологического разнообразия экосистем. Также даны примеры методов качественного сравнения биоценозов исходя из количественных данных по отдельным группам фауны и флоры.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 20.05.10. Формат 60×84 1/16.  
Усл. печ. л.1,0. Уч. изд.л. 1,0. Тираж 30 экз. Заказ 352. Бесплатно.  
Курский государственный технический университет  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

**Цель занятия:**

Изучить основные типы определения численности видов и обилия биологических групп на основе эколого-флористических и эколого-фаунистических сборов и коллекционных материалов;

Изучить основные типы определения бета-разнообразия таксонов путём использования разных индексов биоценотического обчёта и сравнения видовых списков в экосистемах.

**ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

К области **синэкологии** относятся самые различные научные работы, затрагивающие всевозможные аспекты и особенности строения и функционирования целостных экосистем – биоценозов, биогеоценозов или всей биосферы планеты. Это могут быть и наземно-сухопутные, морские, солонатоводные, пресноводные или почвенные экосистемы. Теоретически сюда относятся и паразитоценозы, а также огромные по площади и очень сложные по своим параметрам пространственно-временного распределения разнообразных групп живых существ (животных, растений-продуцентов, грибов, микроорганизмов и др.), которые обитают на территориях целых континентов, зоогеографических зон (биомов) или биогеографических областей.

Видовой состав живых организмов может быть изучен в границах экосистемы любого ранга. Как правило, самые главные причины, определяющие их биоразнообразие, заключаются в физико-географических особенностях ландшафтов, естественной историей развития геологического рельефа, зависят от мезоклимата и макроклимата. Важное значение может иметь и **естественная сукцессия** (закономерности длительного изменения) растительного покрова и биоценоза в целом. Все организмы, входящие в состав экосистемы, постепенно меняют её физическую и химическую среду. Изменяется общее количество органического вещества. Существуют также сложные взаимосвязи между гетеротрофами и автотрофами внутри биоценоза, создающие направления более или менее динамичного развития. Из-за совместного и комплексного действия биотических и абиотических факторов среды можно различать два основных типа сукцессий, меняющих биоразнообразие экосистемы.



1-й тип – это **конструктивные сукцессии**, когда биомасса организмов постепенно накапливается (заселение местообитания после пожаров, наводнений, рубки лесов, схода снежных лавин и геологических сбросов и проч.). Часто в первое время преимущество имеют представители флоры и фауны с большим биотическим потенциалом к размножению. Биоразнообразие может увеличиваться согласно сложнейшим эколого-биологическим закономерностям и не обязательно эта зависимость будет линейной.

2-й тип – это **деструктивные сукцессии**, когда разрушается накопившаяся ранее биомасса и органический субстрат разлагается почти полностью. Здесь тоже сложным образом меняется число видов и биологических групп. В основном это связано с переработкой подстилки в биоценозе, с отмирающими деревьями и кустарниками, утилизацией донных отложений и т.д.

**Климатическое сообщество** – это терминальная стадия развития биоценоза (устойчиво и длительно существующая при данных климатических условиях) – обычно очень богато по видовому составу. В некоторых местах планеты есть сообщества, содержащие большое разнообразие реликтов (палеореликты – древние группы живых существ, сохранившиеся на ограниченных территориях или акваториях).

Есть и другие типы и классификации сукцессий, связанные с естественными или антропогенными факторами среды.

Нередко отмечают, что видовое разнообразие флоры и фауны возрастает в широтном направлении в сторону экватора Земли, но и эта закономерность может нарушаться из-за сложности распределения зоогеографических зон и мозаики биогеоценозов на поверхности суши. В широтном направлении также возможны колебания численности видов и смена групп организмов из-за расположения океанов и изменений макроклимата. Ещё более сложные особенности могут наблюдаться в трёхмерном пространстве гидросферы.

Кроме того, в биологии хорошо известен эффект **эктона** – природное явление, связанное с границами биогеоценозов, ландшафтов, крупных природно-территориальных комплексов, зоогеографических зон (биомов) и т.п. Вследствие разнообразия абиотических и биотических факторов на границе биоценозов

условия очень переменчивы, что позволяет сосуществовать огромному количеству таксонов насекомых, растений, пауков, птиц, мелких млекопитающих, растений и т.д.

Важно подчеркнуть, что любое первоначальное эколого-биологическое и биоценологическое изучение экосистемы невозможно без выяснения **максимально вероятного числа компонентов этой системы** – то есть в каждом конкретном исследовании необходимо установить определённый видовой состав обитающих вместе продуцентов, редуцентов и консументов. Однако, полученные видовые списки – это только основа для дальнейшего ещё более сложного анализа с точки зрения эколого-фаунистического и эколого-флористического рассмотрения всех живых организмов в данном биоценозе.

Как правило, какие-либо дополнительные биологические и экологические данные по изменениям флоры и фауны (а также по биологии отдельных видов и популяций) также собираются учёными на протяжении разных периодов работы путём наблюдения и описания в естественных природных биогеоценозах. В любом случае это и есть наиболее важные основные, первичные и фундаментальные материалы об экосистеме, а особенности их увеличения, деградации и вымирания могут иметь прикладное биоиндикационное значение.

Нередко достаточно информативный материал получается уже при составлении точного видового состава данной территории (административного региона, конкретной экосистемы, зоогеографической зоны и т.д.). Это связано с тем, что многие биологические особенности и закономерности распределения, например, европейских популяций животных и растений не так уж сильно отличаются друг от друга. Хотя в природе нет совершенно одинаковых популяций или тем более подвидов живых организмов (в основном подразумевается их генетическое или фенотипическое разнообразие).

Часто учёные-профессионалы исследуют экосистемы только для определённых фаунистических или флористических задач. Кроме того, на практике из-за трудностей в коллектировании или идентификации видов научные описания и сравнения специалисты проводят только по нескольким или одному таксону (группе видов).

Отметим, что любая биологическая работа начинается с правильной и корректной идентификации (определения) объекта исследования, что нередко доступно только узким специалистам по той или группе. Точное научное определение бактерий, многих простейших, водорослей, грибов, мелких беспозвоночных животных крайне сложно из-за необходимости анализа мелких и подвижных структур живых организмов. Поэтому собранные флористические и фаунистические коллекции изучают в лабораторных условиях. Для повышения точности определения осуществляются серийные сборы (лучше – на разных стадиях онтогенеза). Это необходимо не только потому, что разные признаки видов подвержены изменчивости, но и для изучения численности живых существ, влияния различных факторов среды на внутривидовое разнообразие морфологических особенностей, для оценки биоразнообразия таксонов и т.д.

И, конечно, у ботаников и зоологов никогда нет гарантий, что выявлен полный список видов рассматриваемой биологической группы. Нередко это связано не только с сезонностью экспедиционной работы, но и из-за спонтанных процессов эмиграции и иммиграции. Иногда полнота выявления видового состава таксона может зависеть от числа проб, применяемых методов сбора (например, когда преобладают личиночные или взрослые стадии), от периодов (сезонов) и способов наблюдения и подсчёта, от их количества и т.д.

Кроме того, на территории трансформированных и сильно изменённых экосистем видовой состав бывает значительно обеднённым по причинам прямых или косвенных негативных антропогенных воздействий, длительности и силе этих процессов и т.д.

Для начального ознакомления с количественными параметрами биоценозов нам в принципе будет достаточно рассмотреть **альфа-и бета-разнообразие** экосистем. Первый термин отражает конкретное видовое богатство – общее число видов в данном сообществе и видовую насыщенность – среднее число видов на единицу площади (или объёма). Кроме того, важно знать и так называемое **бета-разнообразие** – это изменчивость альфа-разнообразия, т.е. индексы сравнения биоразнообразия между «адекватными» биогеоценозами,

коэффициенты сходства и гетерогенности. Все научно-исследовательские сборы и учёты целесообразно проводить в периоды максимальной активности живых существ (время года, погодные условия), для растений – в периоды цветения и плодоношения.

Один из наиболее простых способов, как ориентировочно оценить численность того или иного представителя флоры или фауны – это каким-то способом определить **встречаемость** данного вида организмов. Фактически при изучении биоразнообразия экосистем это может означать процент проб, в котором встречен данный биологический вид. Количество проб из-за особенностей среды обитания животных и растений, из-за методов и техники сбора или по другим причинам может сильно различаться, но в любом случае точность обычно бывает большей при случайном распределении особей, т.е. относительно более равномерном на изучаемой территории. Очевидно, что при агрегированном размещении организмов этот показатель менее точен, особенно при увеличении площади территории (или акватории), когда нахождение или пропуск скоплений живых существ может значительно сказаться на точности оценки встречаемости.

Этот относительно простой способ имеет смысл в тех случаях, сами пробы (например, учётные площадки с заданной площадью) суммарно примерно равны по охватываемой площади экосистемы.

Но на практике чаще всего приходится иметь дело со сборами разных экспедиций разных учёных, в различные годы и неодинаковых по стилю сбора (включая различные стадии развития организмов) по объёму материала (иногда это может быть и полезным для получения максимально информативного описания). И из таких данных тоже можно вывести общее представление о редкости того или иного вида.

Существуют несколько способов определения основных показателей видового биоразнообразия, которое характеризуется одним единственным числом. В зависимости от конкретных условий коллектирования, изучения и сбора для оценки таксономических списков следует использовать тот или иной параметр. Как правило, эта часть работы приходит с опытом по мере долгой и тщательной обработки природных материалов и коллекций.

### 1. Индексы видового богатства.

В основном эти параметры отражают число таксонов в конкретных выборках, часто дополненных для получения максимально полной и достоверной картины о биоценозе и наблюдениями, рисунками, фотографиями, собранными личиночными стадиями при отсутствии имаго и т.п.

1,2) **Индексы Маргалефа и Менхинника** (позволяют оценить – сколько видов приходится на число собранных или учтённых особей).

$$D_{Mg} = (S - 1) / \ln N,$$

$$D_{Mn} = S / \sqrt{N}$$

где  $S$  - число выявленных видов,

$N$  - общее число особей всех найденных видов.

3) **Индекс Шеннона:**  $H = - \sum p_i \ln p_i$ ,  $p_i$  - доля особей  $i$ -й биогруппы,

или более подробно:  $H = - \sum N_i / N \ln N_i / N$ ,

где  $H$  – видовое разнообразие в битах,  $N_i$  - число особей  $i$ -ой биогруппы,  $N$  - общее число особей.

4) **Коэффициенты доминантности:**

а) **Индекс Бергера-Паркера:**  $D = (N_i / N) 100\%$ , где  $N_i$  - это численность всех особей данного вида (группы, семейства) во всех пробах, а  $N$  – это общая численность особей всех видов (всех групп, семейств) во всех пробах. Суммарно этот показатель равен 100%.

б) **Индекс Симпсона:**  $D_s = \sum (n(n-1)) / N(N-1) 100\%$ .

Как правило, индексы доминирования слабо чувствительны к объёму выборки и умеренно улавливают различия между биотопами, но при этом хорошо маркируют обилие фоновых (массовых) видов и таксонов.

### 2. Индексы сходства и различия.

Очень часто для эколого-теоретических, общебиологических или природоохранных целей важно сравнить сходные (т.е. относительно равноценные или адекватные друг другу) по основным признакам биоценозы (например, широколиственные, мелколиственные, смешанные леса одного типа – нагорные,

пойменные, байрачные и т.д.). Это даёт право сделать более корректные выводы о наиболее богатых и ценных экосистемах «одного ранга» по обилию или своеобразию их редких, реликтовых или уязвимых представителей флоры и фауны. Иногда для общих биологических исследований важно знать сравнительные характеристики разных сообществ между собой – по набору каких-то жизненных форм организмов, таксонов или отдельных видов. Здесь тоже нужно биологически корректно птиц сравнивать с птицами, водорослей – с водорослями, насекомых – с насекомыми.

Причём эти наблюдаемые различия, например, на территории наземно-сухопутных биоценозов могут проявляться не только в широтном или меридиональном направлении. Подобных примеров множество во всех географических зонах Евро-Азиатского континента. Существует структура вертикальной зональности в распределении разных популяций - от уровня моря до самых высоких ледников. В разных горных системах есть переходы от одного пояса к другому, проявляется эффект экотона и есть **азональные** биотопы (сообщества), которые вкрапливаются в общую однородную систему биоценозов одной зоны.

Очевидно, что биоценозы отличаются между собой не только по видовому разнообразию флоры и фауны, но и по обилию того иного таксона продуцентов, консументов или редуцентов. Количество особей может очень сильно отличаться в экосистемах даже одного и того же региона в пределах одной и той же зоогеографической зоны (биома), в акватории одной и той же экологической зоны Мирового океана или на территории одного природно-территориального комплекса. Число массовых видов, а также доминантных (или субдоминантных) видов в биоценозе не бывает большим. Чаще всего в биоценозах, которые существуют сотни и тысячи лет и могут считаться старыми и устойчивыми (по набору и соотношению автотрофов и гетеротрофов) многие виды и группы обладают средней или совсем небольшой численностью.

При исследовании экологических систем одного уровня организации и при сравнении их эколого-биологической структуры нередко бывают полезны разные математические коэффициенты, в том числе, например, коэффициенты Жаккара ( $K_1$ ), Сьеренсена ( $K_2$ ), Кульчинского ( $K_3$ ):

$$K_1 = \frac{C}{A+B+C}; \quad K_2 = \frac{2C}{A+B}; \quad K_3 = \frac{C}{A+B-2C};$$

где А – число видов данной биологической группы в одной экосистеме (территории); В – число видов той же биологической группы в другой экосистеме; С – число видов, общих для обеих экосистем (территорий или акваторий).

Первый коэффициент сравнения разнообразия более строгий и пропорциональный, второй имеет большую «разрешающую силу», когда сходство не очень сильно выражено и многие виды встречаются в обеих биогеоценозах. При вычислениях их нередко представляют попарно в одной и той же таблице, верхнюю правую часть ячейки заполняют значением  $K_1$ , а нижнюю левую коэффициентом  $K_2$ .

Все три вышеуказанных коэффициента выражаются одним определённым числом и носят качественный характер (примерно определяется сходство экосистем по заданному набору признаков).

### ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

#### Задание № 1.

По данным таблицы № 1 построить две диаграммы:

- 1) число видов жёсткокрылых на разных участках заповедника;
- 2) общее количество особей жуков-хортобионтов (обитателей травянистого яруса) в зависимости на разных участках заповедника. Сделайте выводы и комментарии о полученных эколого-биологических характеристиках.

#### Задание № 2.

На степных участках заповедника «Галичья гора» в течение 2-х лет с весны до осени проводились сборы жёсткокрылых (жуков) методом кошения энтомологическим сачком (собрали 3851 экз. насекомых). Численность и видовое разнообразие жуков-хортобионтов показаны в табл. 2.

Найти индексы Маргалефа, Менхиника, Шеннона и коэффициенты доминантности для каждого семейства жёсткокрылых, сделать выводы о чувствительности этих параметров

#### Задание № 3.

Один из горных хребтов Кавказа имеет следующие типы ландшафтов:

1. Горные полупустыни (группировки нагорных ксерофитов с можжевельниками, таволгой, астрагалами и т.д.)

2. Горные степи. Разнотравные сообщества, в том числе на известняковых частях горных пород.

3. Лесные ландшафты. Включают нижний пояс леса (1500-1800 м) – буковые и широколиственно-сосновые леса, чисто сосновые, смешанные и лиственные берёзово-рябиновые леса.

4. Субальпийские луга. От 1700-1900 до 2500-2600 м н.у.м. Различают мезофитные и сухие остепнённые луга.

5. Альпийские луга. Мелкоосоково-мелкозлаково-разнотравные ассоциации.

6. Субнивальный пояс. Холодостойкие растения: мхи, лишайники, отдельные цветковые растения вокруг ледников. Встречаются на камнях и скалах, осыпях и моренах.

7. Агрорландшафты. Сады и поля в основном по южным склонам ущелий (пшеница, кукуруза и другие сельскохозяйственные растения).

Эти зоны комплексные, каждый пояс более-менее постепенно переходит один в другой. По многолетним сборам жуков (из семейства жужелиц) найти коэффициенты сходства Жаккара, Сьеренсена, Кульчинского между шестью основными горными поясами и сделать общие выводы о сходстве энтомофаун этих членистоногих. Какие различия в полученных коэффициентах кажутся вам наиболее важными?

#### Отчёт по практическому заданию должен содержать:

1. Теоретические основы методики расчёта видового и таксономического разнообразия в биоценозе (формулы индексов и коэффициентов с кратким объяснением входящих в них величин).

2. Собственно расчёт коэффициентов разнообразия. Рекомендации по охране экосистем (биогеоценозов) для максимального поддержания численности всех таксонов органического мира, которые входят в их состав.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

#### Вопросы для устного самоконтроля:

1. Дайте определение экосистемы. Приведите примеры.
2. Чем естественные природные экосистемы отличаются от искусственных (агроценозов и урбоценозов)?
3. Что представляет собой явление экотона? Приведите примеры.
4. Чем биоценоз отличается от биогеоценоза?
5. Чем определяется устойчивость естественного сообщества или экосистемы?
6. Что представляет собой явление естественной сукцессии и от каких условий и факторов она зависит?

#### Вопросы для письменного самоконтроля:

1. Что такое альфа-разнообразие таксонов?
2. Что такое бета-разнообразие таксонов?
3. Что такое виды-доминанты? Определение.
4. Что такое реликтовые виды? Определение.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вальтер Г. Общая геоботаника. Изд. Мир, 1982 г. 264 С.
2. Бей-Биенко Г.Я. Общая энтомология. Изд. «Высшая школа». М., 1971 г., 480 С.
3. Чернышёв В.Б. Экология насекомых. М. Изд. МГУ. 1996 г., 304 С.

ТАБЛИЦА № 1.

Численность и видовое разнообразие жуков-хортобионтов на степных участках заповедника «Галичья гора» с различными режимами содержания (Цуриков, 2002).

Участки степи	Количество экземпляров жёсткокрылых	Количество видов жёсткокрылых
Пал	1094	91
Периодически косимый	817	104
Абсолютно заповедный	656	76
Ежегодно косимый	645	72
Выпас	639	73
Всего:	3851	183

ТАБЛИЦА № 2.

Состав и численность семейств жёсткокрылых-хортобионтов на степных участках заповедника «Галичья гора» (Цуриков, 2002).

	Семейства жуков Coleoptera	Количество экземпляров	Количество видов
1.	Alleculidae (Пыльцееды)	5	1
2.	Anthicidae (Быстрянки)	1	1
3.	Attelabidae (Трубковёрты)	10	4
4.	Bruchidae (Зерновки)	80	3
5.	Vuprestidae (Златки)	26	2
6.	Cantharidae (Мягкотелки)	18	4
7.	Carabidae (Жужелицы)	1	1
8.	Cerambycidae (Усачи)	4	2
9.	Chrysomelidae (Листоеды)	1152	53
10.	Coccinellidae (Божьи коровки)	508	14
11.	Cryptophagidae (Скрытноеды)	1	1
12.	Curculionidae (Долгоносики)	1311	63
13.	Elateridae (Щелкуны)	29	5
14.	Histeridae (Карапузики)	1	1
15.	Lagriidae (Мохнатки)	1	1
16.	Lathridiidae (Скрытники)	126	5
17.	Melyridae (Мелириды)	99	3
18.	Mordellidae (Горбатки)	195	7
19.	Nitidulidae (Блестянки)	176	3
20.	Oedemeridae (Узкокрылки)	7	3
21.	Phalacridae (Гладыши)	97	3
22.	Scarabaeidae (Пластинчатоусые)	2	2
23.	Tenebrionidae (Чернотелки)	1	1
	Всего:	3851	183

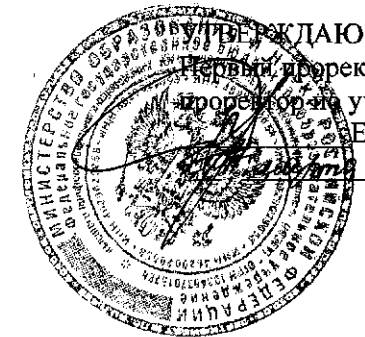
ТАБЛИЦА № 3.

Матрица мер пересечения между фаунами жужелиц (Ильина, 1995).

	1- гор- ные степи	2- леса	3- субаль- пийский пояс	4- альпий- ский пояс	5- культурные ландшафты	6- азональные биотопы
1 горные степи	<u>70</u>					
2 леса	21	<u>110</u>				
3 субальпийский пояс	13	44	<u>65</u>			
4 альпийский пояс	1	1	13	<u>29</u>		
5 культурные ландшафты	31	31	18	0	<u>50</u>	
6 аazonальные биотопы	11	28	16	12	2	<u>68</u>

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра охраны труда и окружающей среды



Проректор  
проректор по учебной работе  
Е.А. Кудряшов  
\_\_\_\_\_ 2012 г.

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НАРОДОНАСЕЛЕНИЯ**

Методические указания к проведению практических занятий  
по дисциплинам «Экология», «Экология городской среды»,  
«Информационная экология», «Экология Курского края» для студентов  
всех специальностей и направлений  
очной и заочной формы обучения

Курск 2012

УДК 504

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

Рецензент

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

**Экологические аспекты народонаселения:** методические указания к проведению практических занятий по дисциплинам «Экология», «Экология городской среды», «Информационная экология», «Экология Курского края» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В.М. Попов, В.В. Юшин, О.И. Белякова. Курск, 2012. 16 с.: ил. 2. Библиогр.: с. 16.

Излагаются основные демографические понятия, влияние численности населения на окружающую среду, проводится демографический анализ ситуации в Курской области за 60 лет.

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

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *14.01.16* Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. *0,93*. Уч.-изд.л. *0,84*. Тираж 50 экз. Заказ *501*. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет,  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

**Цель занятия:**

изучить основные факторы, определяющие численность мирового населения и скорость ее изменения;

изучить демографическую ситуацию в Курской области.

**Общие положения**

В известной степени, экологические последствия связаны с численностью населения, стилем жизни и уровнем экологического сознания. Все три составляющие этой зависимости вполне равноправны и должны рассматриваться в тесной взаимосвязи.

Сегодня в мире существуют как бы две самостоятельных «проблемы народонаселения». Одна из них касается промышленно развитых стран (страны Западной Европы, США, Канада, Австралия, Япония и др.), где экологические проблемы не столько связаны с численностью населения, сколько с последствиями стиля жизни – накопления огромного количества токсических отходов, истощением природных ресурсов и т.д. Если попытаться поднять уровень жизни всех людей до уровня жизни в развитых странах, для этого потребуется увеличить потребление сырья, энергии и воды на порядок, что нереально, – такую антропогенную нагрузку биосфера вряд ли выдержит.

Перед менее развитыми странами остро стоит проблема обеспечения продовольствия быстро растущего населения. В связи с этим люди вынуждены вырубать леса, нерационально использовать пастбища и пашни, вызывая их истощение. Такое развитие весьма неустойчиво. По существу, народы этих стран ради выживания в ближайшие годы могут вызвать в долгосрочной перспективе экологическую катастрофу.

Таким образом, одно из важнейших условий дальнейшего развития человечества – стабилизация его численности и снижение отрицательного воздействия на окружающую среду. Только добившись собственного популяционного равновесия, можно и дальше развивать культуру, технологию, цивилизацию в целом.



Последние 150 лет население нашей планеты резко возросло и продолжает расти все убыстряющимися темпами. Так, в 1850 г. численность составляла 1 млрд. человек. Потребовалось 80 лет для того, чтобы она удвоилась (1930 г.). После второй мировой войны рост населения развитых стран начал стабилизироваться, однако в развивающихся странах демографический взрыв продолжался. К 1960 г. был достигнут третий миллиард, а к 1974 г. – всего через 14 лет – уже и четвертый. К середине 1991 г. на Земле стало 5 млрд. 380 тыс. человек. И наконец, в 1999 г. население Земли достигло 6 млрд. Сегодня в более развитых странах рождаемость вплотную приблизилась к уровню простого воспроизводства. В менее развитых она тоже стала снижаться, однако темпы снижения там далеко ещё не достаточны.

Реальное экономическое развитие нации с точки зрения обеспечения людей всем необходимым представляет собой в известной степени разницу между ростом экономики и населения. Если рост экономики отстаёт от роста населения, то реальный экономический рост отрицательный. Экономические успехи как бы сводятся на нет ростом населения, и уровень жизни населения в этих странах обречен на снижение. Поскольку большинство населения проживает в развивающихся странах, такая тенденция чрезвычайно опасна. Сегодня, несмотря на колоссальные усилия, предпринимаемые человечеством в целях экономического роста, огромная часть населения Земли (около 1,225 млн чел.) относится к категории абсолютно бедных, среди которых 400 млн. голодают и 100 млн. чел. – это бездомные. Если бы население Земли “сжать” до размеров деревушки с населением в 100 человек, а все существующие соотношения современного человечества остались бы прежними, то получилась бы следующая картина:

- в ней проживало бы 57 азиатов, 21 европеец, 14 представителей Америки, 8 африканцев;
- 70 из 100 были бы “цветными” (не белыми);
- 50% всех богатств оказалось бы в руках 6 человек, и все они были бы гражданами США;
- 70 человек не умели бы читать;

- 50 страдали от недоедания;
- 80% жили бы в жилищах, для проживания не приспособленных;
- только 1 человек имел бы университетское образование.

Четыре основных фактора определяют численность народонаселения и скорость ее изменения:

*Разница между коэффициентом рождаемости  $K_p$  (число новорожденных детей на 1000 жителей в год) и коэффициентом смертности  $K_c$  (число смертей за год на 1000 жителей). Разница между  $K_p$  и  $K_c$  называется коэффициентом естественного прироста населения  $K_{np}$  (рис.1).*

Величина, на которую изменяется общая численность за год, называется коэффициентом ежегодного естественного движения населения  $K_{ed}$ , %:

$$K_{ed} = \frac{K_p - K_c}{10}$$

Коэффициент рождаемости зависит от следующих факторов:

- среднего уровня образованности и обеспеченности - коэффициент рождаемости обычно ниже в развитых странах, где эти показатели высоки;
- роли детей как трудовой силы; коэффициент рождаемости имеет тенденцию к возрастанию в развивающихся странах (особенно в сельской местности); он ниже в странах, где обязательное образование изымает детей из трудовой деятельности в течении большей части года;
- урбанизации - в городах существует тенденция к снижению коэффициента рождаемости по сравнению с сельскими жителями, нуждающимися в детях для помощи в выращивании урожая, в сборе – дров и в других домашних целях;
- высокая стоимость воспитания детей - коэффициент рождаемости снижается в экономически развитых странах, где обязательное образование, а детский труд запрещен законодательно; в этих странах воспитание детей требует больших затрат, т.к. они не могут работать до достижения взрослого возраста;
- возможности для женщин получить образование и работу - в развивающихся странах традиционно главная задача женщины –

рожать и воспитывать детей. В индустриальном обществе равноправие, и женщины стремятся реализовать его не только в рамках семьи;

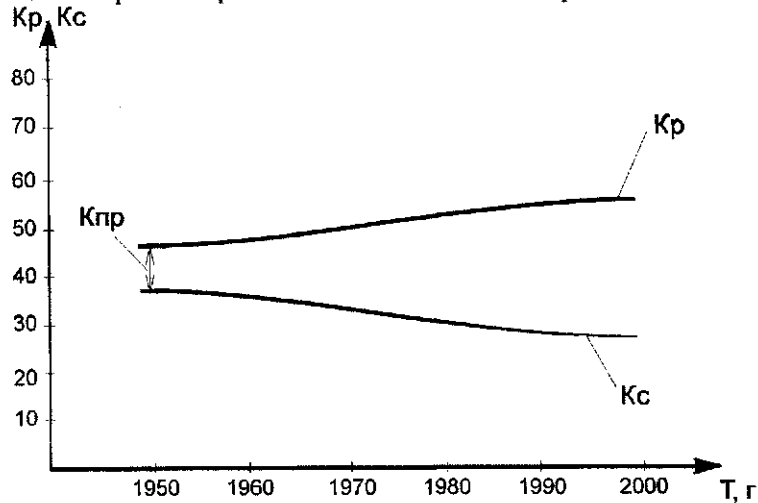


Рис. 1. Изменение коэффициента рождаемости и смертности

- коэффициент детской смертности – коэффициент рождаемости находится в прямой зависимости от детской смертности. В странах, где семьи нуждаются в детях как рабочей силы, родители должны заводить лишних детей как гарантии от детской смертности;

- средний возраст вступления в брак (средний возраст рождения ребенка) – коэффициент рождаемости существенно ниже, где средний возраст вступления в брак женщины выше 25 лет;

- доступность пенсионного образования – в развивающихся странах большая семья в известной степени гарантирует надежное положение стариков;

- доступность противозачаточных средства; при широкой доступности этих средств коэффициент рождаемости снижается; однако данный фактор может вступать в противоречие с религиозными воззрениями;

- культурные традиции – в аграрном обществе, как правило, достаточно сильны религиозные веяния, а некоторые религии поощряют крупные семьи. В городах люди обычно уходят из-под влияния религиозных догм.

Быстрый рост мирового населения, однако, обусловлен не столько подъемом коэффициента рождаемости, сколько снижением смертности.

Причины снижения коэффициента смертности:

- улучшение условий питания в результате возросшего производства продовольствия и его лучшего распределения;

- сокращение эпидемий и инфекционных заболеваний в результате совершенствования систем личной гигиены и водоснабжения;

- совершенствования медицинского обслуживания.

*Миграция.* В общем случае среднегодовая величина изменения численности населения есть рождаемость + иммиграция (въезд) за вычетом смертности и эмиграции (выезд). Большинство стран контролируют до определенной степени темп прироста населения путем ограничения иммиграции.

*Коэффициент фертильности* – среднее число детей, рожденных женщиной за ее репродуктивный период. Численность населения Земли или отдельно взятой страны может выровняться или стабилизироваться только после того, как суммарный коэффициент фертильности будет равен или ниже среднего уровня простого воспроизводства (УПВ). УВП – число детей, которое должна иметь супружеская пара, чтобы обеспечить себе замену. С учетом смертности девочек до достижения ими репродуктивного возраста в экономически развитых странах УПВ – 2,1 ребенка на одну женщину. На суммарный коэффициент фертильности оказывают влияние те же факторы, что и на коэффициент рождаемости. При достижении уровня простого воспроизводства требуется некоторое время для стабилизации роста населения. Продолжительность этого периода зависит прежде всего от количества женщин, находящихся в репродуктивном возрасте (15 – 44 года) и от числа девочек в возрасте до 15 лет, которые вскоре вступят в свой репродуктивный период.

*Количество жителей в каждой возрастной группе.* От этого зависит промежуток времени, в течение которого рост населения мира стабилизируется. Чем больше женщин в репродуктивном и дорепродуктивном возрасте, тем длиннее период, который потребуется жителям, чтобы достичь нулевого прироста.

Для исследования возрастной структуры населения пользуются диаграммой возрастной структуры населения, в которой общее число мужчин и женщин распределено по трем возрастным категориям. На рис.2 показаны диаграммы с быстрым, медленным и нулевым приростом населения.

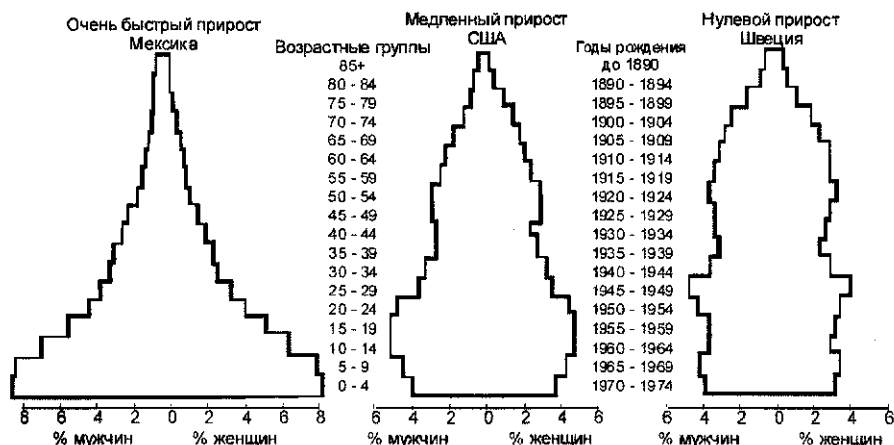


Рис.2. Диаграмма возрастной структуры населения в странах с быстрым, медленным и нулевым приростом. Дорепродуктивный возраст 0 – 14, репродуктивные годы 15 – 44 и постпродуктивный возраст 45 – 85.

Большинство развивающихся стран имеют возрастную структурную диаграмму пирамидообразного типа. Она отражает высокую долю детей в возрасте от 15 лет по сравнению с долей пожилых людей старше 65 лет. И напротив, диаграммы для

экономически развитых стран, характеризуются небольшим или даже нулевым приростом населения, имеют очень узкое основание. Это объясняется тем, что в этих странах процент жителей до 15 лет намного меньше, а пожилых людей в возрасте свыше 65 лет намного больше, чем в странах с высоким темпами прироста населения.

На основе диаграммы численности возможно прогнозирование численности населения в будущем и ряд других показателей. Проведем анализ диаграммы на пример США.

Пик деторождения в США пришелся на период с 1945 по 1965 г. Обусловленный же им 75 – миллионный прирост новых жителей будет перемещаться вверх по пирамиде в течении последующих 80 лет, т.е. до 2025 г., пока дети, родившиеся во времена демографического пика, будут проходить стадии юности, молодости, зрелости и старости. Это означает, что средний возраст населения США увеличивается. Основной причиной этого является именно, то что многочисленное поколение родившихся во времена демографического пика в настоящее время достигло среднего возраста (другой причиной является увеличение средней продолжительности жизни).

В настоящее время на поколение родившихся в период демографического бума приходится почти половина взрослых американцев. В абсолютном исчислении они доминируют в спросе населения на товары и системы обслуживания, а с течением времени создадут определенные трудности в работе службы социального обеспечения и медицинского обслуживания. В период между 1970 и 1985 годами следствием демографического взрыва стало пресыщение рынка руда и увеличение процента безработных среди молодежи. В 1989 году на долю этого поколения пришлось 60 % общего числа избирателей.

За время своей активной производственной деятельности категория жителей, родившихся во времена демографического бума, создаст большой запас средств в фонде социального обеспечения. Однако, даже если власти смогут устоять перед соблазном воспользоваться этим фондом, чтобы сбалансировать бюджет или для других целей, то большое количество вышедших на пенсию

представителей данной группы населения быстро израсходуют запас. Тяжелое экономическое бремя по содержанию столь большого количества пенсионеров придется на поколение периода снижения рождаемости, т.е. на значительно более малочисленную группу людей, родившихся между 1968 и 1989 годами, когда средний коэффициент фертильности резко снизился. Во многих отношениях для поколения периода снижения рождаемости жизнь будет более легкой, чем для поколения демографического бума. Снизится конкуренция в области образования, рынка приложения труда, сфере обслуживания.

Жители, родившиеся в период демографического спада, вряд ли будут испытывать трудности при первоначальном поступлении на работу, но у них появятся большие проблемы при продвижении по службе, когда они достигнут среднего возраста. К этому времени большая часть высокооплачиваемых должностей будет занята намного более многочисленными представителями демографического бума. Последние будут продолжать работать и не уйдут на пенсию, так как смогут сохранить здоровье и захотят создать пенсионный фонд, адекватный их потребностям. Основываясь на этих прогнозах, можно сделать заключение о том, что любые пики и сокращения в возрастной структуре населения создают множество социальных и экономических изменений, которые отражаются на жизни общества в течение десятилетий.

*Задание:* На основании данных, приведенных в таблице 1, 2, 3 и 4 построить:

1. График изменения коэффициента рождаемости  $K_p$  и смертности  $K_c$  в Курской области по годам за 60 лет. Показать на нем коэффициент естественного прироста  $K_{np}$ .
2. Диаграмму изменения коэффициента естественного движения  $K_{ед}$  населения Курской области по годам за 60 лет.
3. Построить диаграммы возрастной структуры Курской области в 1989, 2002 и 2009 годах.

Провести анализ построенных зависимостей. Сделать предположения о причинах существующего характера изменения демографических показателей.

На примере динамики коэффициента рождаемости и смертности в Курской области за последние 60 лет выделить периоды с высоким и низким уровнем этих показателей, прокомментировать выявленные тенденции, связав их с политической и социально-экономической обстановкой в стране. Сделайте прогноз демографической ситуации в области на 5-10 лет. Обоснуйте его.

Спрогнозируйте, какой может быть Ваша собственная жизнь в возрасте 25, 45 и 65 лет с учетом возрастной структуры современного населения области. Как это может отразиться на Вашей карьере или планах относительно количества детей в Вашей семье.





### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается проблема народонаселения.
2. Факторы определяющие численность народонаселения и скорость ее изменения.
3. Факторы, влияющие на коэффициент рождаемости.
4. Факторы, влияющие на коэффициент смертности.
5. Прогнозирование численности народонаселения.
- 6.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Петров К.М. Общая экология. СПб: Химия, 1998 - 352 с.
2. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. Ростов н/Д: Феникс, 2001 – 576 с.
3. Небел Б. Наука об окружающей среде: В 2-х т. Т.1. М.: Мир, 1993 – 424 с.
4. Миллер Т. Спешите спасти планету. В 2-х частях. Ч.П. М.: Прогресс-Пангея, 1994 – 336 с.
5. Ревелль П., Ревелль Ч. Среда нашего обитания: В 4-х книгах. Кн.1. Народонаселение и пищевые ресурсы. М.: Мир, 1994 – 340 с.
6. Возрастно-половой состав населения Курской области. 2004: Статистический сборник / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Курской области. – Курск, 2004. – 117 с.
7. Статистический ежегодник Курской области. 2008: Статистический сборник / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Курской области. – Курск, 2008. – 197 с.
8. Статистический ежегодник Курской области. 2011: Статистический сборник / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Курской области. – Курск, 2011. – 445 с.