

## **МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

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

Кафедра охраны труда и окружающей среды



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

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

Курск 2019

УДК 504

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

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», «Биология с основами экологии», «Информационная экология», «Экология Курского края», «Урбоэкология» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: О.И. Белякова, Т.Э. Гречаниченко. Курск, 2019. 8 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», «Биология с основами экологии», «Информационная экология», «Экология Курского края», «Урбоэкология».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 20.02.19. Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. 0,64. Уч.-изд.л. 0,58. Тираж 50 экз. Заказ 111. 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.

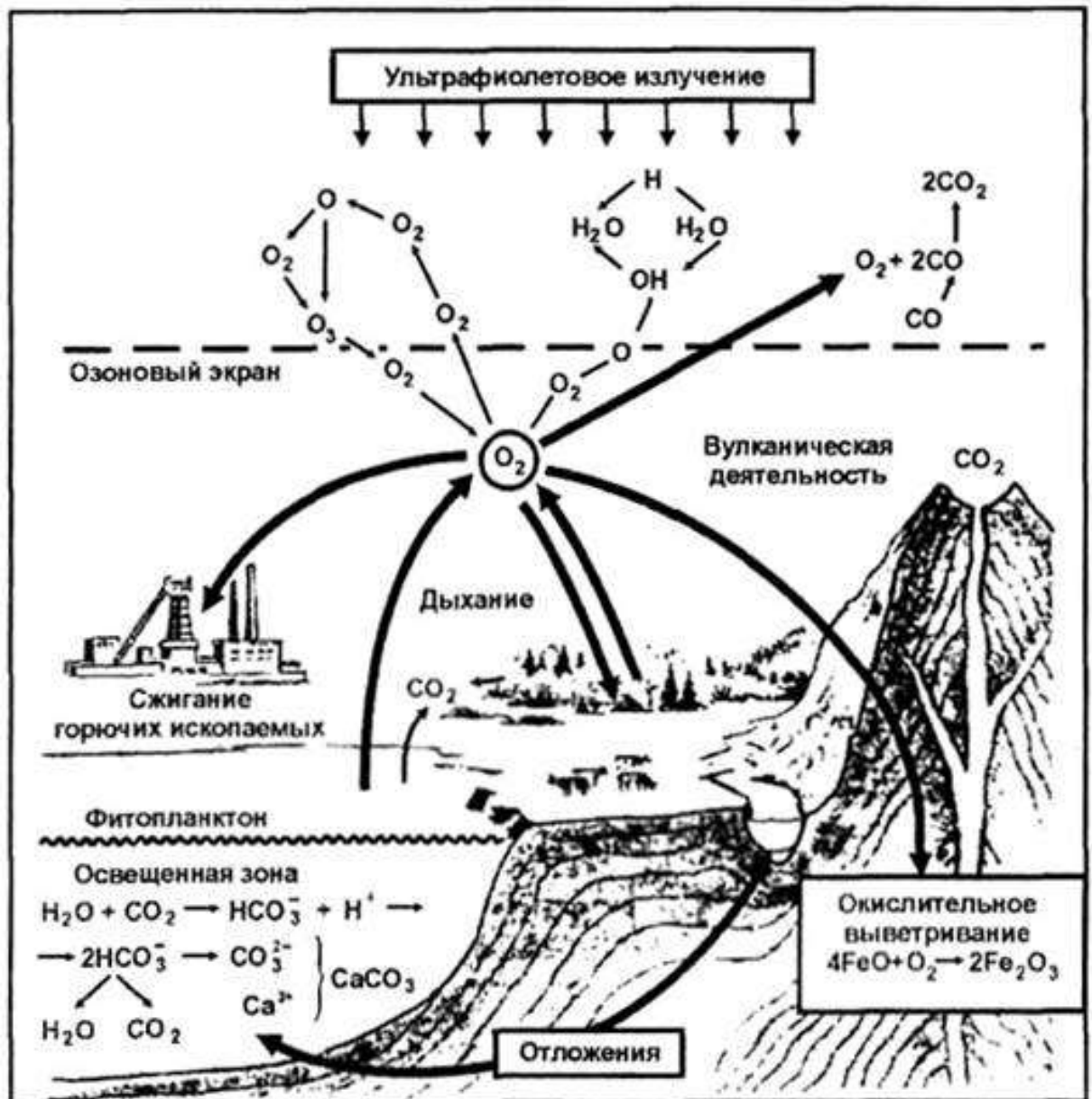


Рис.1 Круговорот кислорода в природе (по Е. Криксунов и др., 1995)

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. о. 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 продуцируется 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.

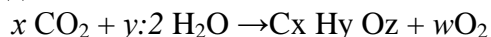
В таких условиях становится совершенно очевидной необходимость признания того, что атмосферный кислород, как и вода, земля, лес, полезные ископаемые и др., является, во-первых, возобновляемым природным ресурсом, а, во-вторых, продуктом леса

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

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

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
Оль ха	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 (смола). 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 кедра?

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

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

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

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

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

3. Определяем поглощенные количества  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ :

$$M_{\text{CO}_2} = (4,15:100) \cdot 44 \cdot 44 = 80,3 \text{ т};$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = (6,3:2:100) \cdot 18 \cdot 44 = 24,9 \text{ т};$$

4. Определяем количество выделившегося кислорода:

$$M_{\text{O}_2} = (4,38:100) \cdot 32 \cdot 44 = 61,7 \text{ т};$$

Часто при изучении древостоев определяют текущий годовой прирост  $V_{\text{год}}$ , - созданный за один год объем древесины на площади леса в 1 га ( $\text{м}^3/\text{га}\cdot\text{год}$ ). 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 учётом 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 лесобразующих пород I бонитета.

Таблица 3 Текущий годовой прирост в древостоях основных лесобразующих пород I бонитета ( $\text{м}^3/\text{га}$ )

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

$$M_{\text{древ}\cdot\text{год}} = PV_{\text{год}}$$

*Пример*

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

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

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

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

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

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

3. Определяем количества поглощенных углекислого газа и воды:

$$M_{\text{CO}_2} = (4,15:100) \cdot 44 \cdot 4708 = 8596,8 \text{ кг};$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = (6,3:2:100) \cdot 18 \cdot 4708 = 2669,4 \text{ кг};$$

4. Определяем количество выделившегося кислорода:

$$M_{\text{O}_2} = (4,38:100) \cdot 32 \cdot 4708 = 6598,7 \text{ кг};$$

## 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).

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.

## 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?

## 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.