

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Витебский государственный
университет имени П.М. Машерова»
Кафедра экологии и охраны природы

В.В. Ивановский, Ю.Ю. Масалкова

БИОТИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ

*Методические рекомендации
по проведению лабораторных работ*

*Витебск
ВГУ имени П.М. Машерова
2016*

УДК 574(075.8)
ББК 28.081.3я73
И22

Печатается по решению научно-методического совета учреждения образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова». Протокол № 3 от 19.02.2016 г.

Авторы: доцент кафедры экологии и охраны природы ВГУ имени П.М. Машерова, кандидат биологических наук **В.В. Ивановский**; преподаватель кафедры экологии и охраны природы ВГУ имени П.М. Машерова **Ю.Ю. Масалкова**

Рецензенты:

доцент кафедры зоологии ВГУ имени П.М. Машерова,
кандидат биологических наук *С.И. Денисова*;
директор НИИ ПВМ и Б УО «Витебская ордена “Знак Почета”
государственная академия ветеринарной медицины»,
кандидат ветеринарных наук *И.Н. Дубина*

Ивановский, В.В.

И22 Биотический круговорот : методические рекомендации по проведению лабораторных работ / В.В. Ивановский, Ю.Ю. Масалкова. – Витебск : ВГУ имени П.М. Машерова, 2016. – 42 с.

Методические рекомендации разработаны в соответствии с учебной программой по курсу «Биотический круговорот» для студентов, обучающихся по специальности 1-33 01 01 «Биоэкология». В издании представлен материал по отработке практических навыков студентов, необходимых при изучении биотического круговорота. Лабораторные работы содержат материал о трофических группах организмов в экосистемах и их участии в биотическом круговороте, методах определения продуктивности природных и искусственных экосистем, особенностях их функционирования, список биологических задач.

Данное издание предназначено для студентов, обучающихся по биологическому профилю, учителей биологии и экологии.

УДК 574(075.8)
ББК 28.081.3я73

© Ивановский В.В., Масалкова Ю.Ю., 2016
© ВГУ имени П.М. Машерова, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Лабораторная работа № 1 Первичные продуценты. Первичная продукция экосистем	5
Лабораторная работа № 2 Биогеохимическая роль первичных продуцентов. Накопление органического вещества и зольных элементов в биомассе растений и почве.....	6
Лабораторная работа № 3 Методы определения первичной продукции ...	9
Лабораторная работа № 4 Методы расчета биологической продуктивности фитоценоза по приходу ФАР на земную поверхность	12
Лабораторная работа № 5 Метод расчета биологической продуктивности фитоценоза по биогидротермическому потенциалу	14
Лабораторная работа № 6 Расчет возможной продуктивности экосистем по биоклиматическому потенциалу	18
Лабораторная работа № 7 Продуктивность основных экосистем (биомов) Земли	20
Лабораторная работа № 8 Методы определения вторичной продукции	23
Лабораторная работа № 9 Потребление пищи консументами	25
Лабораторная работа № 10 Фитофаги	26
Лабораторная работа № 11 Детритофаги как звено редуцентов, их функции, классификация	28
Лабораторная работа № 12 Биологическая очистка сточных вод	30
Лабораторная работа № 13 Особенности функционирования наземных и водных экосистем. Вещественные и энергетические потоки в наземных и водных экосистемах	34
Список биологических задач для решения в процессе освоения курса «Биотический круговорот»	37
Тематика рефератов по УСР по дисциплине «Биотический круговорот» ...	40
Список рекомендуемой литературы	41

ВВЕДЕНИЕ

В данное издание включены лабораторные работы, отражающие практическое использование и закрепление усвоенного материала по курсу «Биотический круговорот».

Методические рекомендации составлены в соответствии с рабочей программой по курсу «Биотический круговорот» для специальности «Биоэкология» и включают основные, по мнению авторов, аспекты биотического круговорота в экосистемах, позволяющие раскрыть особенности энергетического и пластического обмена на каждом этапе круговорота и показать их тесную связь. Уделяется внимание рассмотрению трех взаимосвязанных функциональных блоков биотического круговорота: «Первичные продуценты», «Консументы», «Редуценты в природных и искусственных экосистемах», что позволит сформировать у студентов целостное представление о потоках энергии и круговороте веществ в биосфере.

Рассмотрены вопросы разделения организмов в экосистемах по трофическим группам и их участию в биотическом круговороте, существующие методы определения продуктивности природных и искусственных экосистем, особенности их функционирования.

Каждая лабораторная работа включает «Теоретический материал», с которым студенты должны ознакомиться и усвоить при подготовке и отработке практического материала, а также задания по выполнению лабораторных работ. В конце методических рекомендаций приводится список биологических задач для обязательного решения, тем для написания рефератов в рамках организации самостоятельной работы по курсу «Биотический круговорот», приведен список рекомендуемой литературы по данному курсу.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Первичные продуценты. Первичная продукция экосистем

Цель работы: освоить методику расчета первичной продукции экосистем.

Теоретический материал

Первичными продуцентами являются автотрофные организмы, в основном зеленые растения. Некоторые прокариоты, а именно сине-зеленые водоросли и немногочисленные виды бактерий, тоже фотосинтезируют, но их вклад относительно невелик. Фотосинтетики превращают солнечную энергию (энергию света) в химическую энергию, заключенную в органических молекулах, из которых построены их ткани. Небольшой вклад в продукцию органического вещества вносят и хемосинтезирующие бактерии, извлекающие энергию из неорганических соединений.

Для продолжения существования и развития биосферы, на Земле постоянно должен происходить круговорот биологически важных веществ, т.е. после использования они должны вновь переходить в усвояемую для других организмов форму. Этот переход биологически важных веществ из звена в звено может осуществляться только при определенных затратах энергии, источником которой является Солнце.

Продуктивность экосистем тесно связана с потоком энергии, проходящим через ту или иную экосистему. Органическое вещество, создаваемое в процессе фотосинтеза, называют первичной продукцией экосистемы. Только часть энергии света, получаемой зеленой поверхностью, может быть использована растениями в процессе фотосинтеза. Скорость, с которой растения накапливают химическую энергию в результате фотосинтеза, называется валовой первичной продуктивностью. Около 20 % этой энергии расходуется растениями на дыхание и фотодыхание. Скорость накопления органического вещества, за вычетом этого расхода, называется чистой первичной продуктивностью. Это энергия, которую могут использовать организмы следующих трофических уровней.

Ход работы

Задание 1. Используя данные таблицы 1 рассчитать первичную продукцию агроценоза с 1 м² посева.

Таблица 1. – Суммарная радиация, эффективность фотосинтеза и вегетационный период сельскохозяйственных культур

№ п/п	Культура	Суммарная радиация, (кДж/м ²) в день	Эффективность фотосинтеза, %	Вегетационный период, дн.
1	Пшеница яровая	18000	3,7	90
2	Ячмень	18000	4,0	80
3	Рис	28500	7,1	100
4	Соя	30800	9,8	120
5	Горох	18000	4,2	70
6	Кукуруза	28500	6,7	115
7	Картофель	16700	5,4	90
8	Свекла сахарная	16700	9,5	160
9	Хлопок	28500	4,6	150
10	Суданская трава	28500	6,7	110

Полученные результаты занести в таблицу 2. Провести ранжировку культур по максимальной продуктивности агроценоза.

Таблица 2. – Первичная продукция агроценоза с 1 м² посева

№ п/п	Культура	Количество энергии, поглощаемой 1 м ² посева за 1 день кДж	Количество первичной продукции с 1 м ² посева за вегетационный период, кДж	Ранг культуры по максимальной продуктивности агроценоза
1	Пшеница яровая			
2	Ячмень			
3	Рис			
4	Соя			
5	Горох			
6	Кукуруза			
7	Картофель			
8	Свекла сахарная			
9	Хлопок			
10	Суданская трава			

При расчете первичной продукции агроценоза сначала необходимо определить количество энергии, поглощаемой 1 м² посева сельскохозяйственной культуры по формуле 1:

$$Q = R \cdot F / 100, \quad (1)$$

где Q - количество энергии, поглощаемой 1 м² посева, кДж; R - суммарная радиация, (кДж/м²)·день; F - эффективность фотосинтеза, %.

Первичная продукция агроценоза после этого определяется по формуле 2:

$$V = Q \cdot T, \quad (2)$$

где V - первичная продукция агроценоза, кДж/м²; Q – количество энергии, поглощаемой 1 м² посева, кДж; T – продолжительность вегетационного периода, дней

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Биогеохимическая роль первичных продуцентов.

Накопление органического вещества и зольных элементов в биомассе растений и почве

Цель работы: изучить роль первичных продуцентов в биологическом круговороте веществ.

Часть 1. Теоретический материал

Растительность – один из определяющих факторов почвообразования и биологического круговорота, в ходе которого в почву поступают зольные

элементы. Эти элементы обеспечивают плодородие почвы как одну из ее основных экологических функций.

Один из методов определения органического вещества в растительном материале заключается в сухом сжигании образца в муфельной печи, определении в нем золы и органической части (как зола, так и органическая часть рассчитываются в процентах к сухому образцу).

При сжигании растительного материала углерод, азот и водород улетучиваются в виде углекислого газа, воды и окислов азота. Оставшийся нелетучий остаток (зола) содержит элементы, называемые зольными. Разница между массой всего сухого образца и зольным остатком составляет массу органического вещества. Ниже приведены данные о содержании сухого органического вещества и зольных элементов в растительном материале. После предварительного ознакомления с ними предлагается выполнить несколько расчетных задач.

Древесные растения в среднем содержат (в расчете на сухое вещество) 3 % зольных элементов и 97% органического вещества, а травянистые, соответственно – 6 и 94 %.

Ход работы

Задание 1. После сжигания в муфельной печи 6 г растительного образца (средней пробы из древесины, коры, корней, листьев) образовался остаток в виде золы в количестве 0,4 г. Рассчитать зольность.

Задание 2. Рассчитать поступление с золой калия под пологом леса, где запас древостоя составляет 300 т/га, причем на долю его ежегодного разлагающегося опада, дающего соответственно зольные элементы, приходится 1/10 часть общей биомассы. Травяной покров ежегодно поступает в количестве 30 т/га, наполовину участвует в процессах разложения и является, следовательно, также источником зольных элементов.

Для расчетов поступления калия использовать следующие данные: содержание калия в зольной части древесных пород составляет в среднем 0,55 %, а в составе травостоя – 1 %. По выполнению расчетов построить диаграммы (в масштабе) участия органической и минеральной (зольной) части растений в формировании опада и выделить долю калия.

Задание 3. Решение задач на восполнение запаса органического вещества почвы (на восстановление или сохранение ее экологических функций, нарушенных сельскохозяйственной деятельностью):

а) в 1 т органического сапропеля содержится 400 кг углерода (С). Какое количество его необходимо для восполнения углеродного уровня почвы, теряющей ежегодно около 1 т гумуса с 1 га? Принять во внимание, что в составе гумуса 58 % углерода;

б) содержание углерода в древесных опилках составляет примерно 60 %. Какое количество этого сырья необходимо внести на 1 га для поддержания углеродного уровня почвы, если потери гумуса составляют 1,2 т с 1 га? Принять во внимание, что в составе гумуса 58 % углерода;

в) в 1 т соломы содержится 320 кг углерода, а в 1 т древесных опилок его 220 кг. Какое количество каждого из этих видов сырья необходимо внести на 1 га для восполнения углеродного уровня, если ежегодные потери гумуса с 1 га почвы составляют 0,8 т? Принять во внимание, что в составе гумуса 58 % углерода.

Часть 2. Теоретический материал

В результате разложения опада в виде отмерших остатков растений, почвенных животных и почвенных микроорганизмов в почве образуется запас органического вещества, большая часть которого (как правило, не менее 85 %) составляет гумус. Учет его представляет интерес не только для изучения ресурсной функции почвы, но и для сравнительной оценки плодородия различных почв. Обычно приводимые в процентах данные не всегда являются репрезентативными, поэтому прибегают к расчету запаса гумуса в определенных весовых единицах (например, г/м² или т/га).

Предварительно выведем формулу для расчета запаса гумуса в определенном слое (или почвенном горизонте). Например, мощность слоя (**h**) составляет 10 см (0,1 м). Объем почвы на площадке (**S**) 1 м² составляет 1×1×0,1 = 0,1 м³. Зная процентное содержание гумуса в данном слое, можно найти его количественный параметр (в т/га или кг/м²), для чего необходимо иметь значение показателя плотности почвы (**d**).

Умножив объем (**S×h**) на плотность (**d**), получаем вес почвы, в котором надо найти долю гумуса, содержание которого в процентах определяется предварительно в лаборатории любым доступным методом – сухого и (или) мокрого сжигания. Весь вес почвы принимается за 100 %, доля гумуса за **X**. Таким образом, запас гумуса (**Q**), например в т/га, на площадке 1 м² будет соответственно вычисляться по формуле 1:

$$Q = 1 \text{ м}^2 \times h \times d \times \% \text{ гумуса} / 100, \quad (1)$$

где **h** – в метрах, **d** – в т/м³.

По данной формуле расчеты можно производить в любых весовых единицах на любую площадь. В частности, при перерасчете запаса гумуса на 1 га нужно ввести коэффициент 10 000 (зная, что в 1 га 10 000 м²). Формула 1 примет вид:

$$Q = 100 \text{ м}^2 \times h \times d \times \% \text{ гумуса}, \quad (2)$$

Подобным образом можно рассчитывать запас любого вещества или элемента в почве.

Задание 1. Рассчитать запас гумуса в метровой толще целинного варианта чернозема выщелоченного (Западная Сибирь) и записать в виде таблицы (таблица 1).

Таблица 1 – Распределение запаса гумуса в метровом слое почвы

Глубина, см	Гумус, %	Плотность почвы, т/м ³	Запас гумуса, т/га
0–10	11,0	0,77	
10–20	11,3	0,87	
20–30	10,3	0,90	
30–40	8,7	0,98	
40–50	7,2	1,03	
50–60	4,6	1,09	
60–70	3,6	1,12	
70–80	3,0	1,20	
80–90	2,4	1,25	
90–100	1,8	1,31	

Часть 3. Теоретический материал

Помимо накопления органического вещества, в почве идет противоположный процесс – его разложение. В исходных ненарушенных биогеоценозах оба эти процесса находятся в равновесии. Однако в почвах, введенных в сельскохозяйственный оборот, в результате усиленного окисления органического вещества и проявления процесса эрозии идет его потеря. Как правило, основные и наиболее интенсивные потери органического вещества происходят из верхней части гумусового профиля.

Ход работы

Задание 1. Рассчитать по данным таблицы 2 запас гумуса в черноземах различной степени эродированности, используемых в течение 100 лет в земледелии.

Таблица 2. – Распределение запаса гумуса в почве в зависимости от степени эродированности

Глубина, см	Черноземы								
	слабоэродированные			среднеэродированные			сильноэродированные		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0–10	7,63	1,04		6,36	1,16		5,65	1,00	
10–20	5,23	1,22		4,76	1,21		4,80	1,04	
20–30	4,78	1,21		2,35	1,29		1,95	1,09	
30–40	2,02	1,28		1,20	1,36		1,05	1,19	
40–50	1,45	1,32		0,90	1,32		0,40	1,25	

* – 1 – гумус, %; 2 – плотность в т/м³; 3 – запас гумуса, т/га

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 Методы определения первичной продукции

Цель работы: ознакомиться со «скляночным» методом определения первичной продукции, рассчитать первичную продукцию фитопланктона озера Круглое используя данный метод.

Теоретическая материал

Существуют разнообразные способы измерения продуктивности экосистем. Поскольку образование и разрушение органического вещества тесно связано с газообменом (при образовании органического вещества в ходе наиболее распространенных форм фотосинтеза происходит поглощение углекислоты и выделение кислорода), измеряя содержание этих газов, можно оценить продукцию. Содержание какого газа лучше измерять: кислорода или углекислоты? Точнее можно измерить изменения количества того газа, которого в данных условиях меньше. В воздухе относительно много кислорода и немного углекислоты, поэтому продукцию наземных экосистем принято оценивать по CO₂. В воде ситуация обратная: углекислый газ в ней растворяется очень хорошо, а кислорода зачастую недостает. Поэтому продуктивность водных экосистем определяют, измеряя изменения концентрации кислорода.

«Скляночный» метод определения первичной продукции водных экосистем в кислородной модификации. Его суть состоит в том, что измеряется концентрация кислорода в воде, которую помещают в светлые и темные (затененные) склянки.

С борта лодки в светлое время суток на определенную глубину опускают груз, к которому прикреплены пара бутылей: одна прозрачная, а другая темная, непрозрачная. На определенной глубине из этих бутылей выдергиваются пробки. Бутыли заполняются водой, характерной для этой глубины, вместе с содержащимися в этой воде фитопланктонными и зоопланктонными организмами. Кроме того, пробу этой воды поднимают на поверхность и определяют в ней содержание кислорода. Заполненные водой темную и светлую бутылки на определенное время (от 6 до 24 часа) оставляют на глубине, затем поднимают на поверхность и тут же определяют в них концентрацию кислорода. В светлых склянках под действием солнечного света идет процесс фотосинтеза, побочным продуктом которого является кислород, который растворяется в воде. В темных склянках, без доступа света, идет процесс дыхания гидробионтов, поэтому объем начального кислорода уменьшается за время экспозиции.

В настоящее время радиоуглеродный метод является наиболее распространенным классическим методом определения первичной продукции (ПП) как в морях, так и в пресных водоемах. Принцип определения первичной продукции радиоуглеродным методом основан на допущении, согласно которому внесенный в склянки меченный углерод (изотоп углерода) включается в процессы фотосинтеза органического вещества с той же скоростью, что и не меченный изотоп углерода ^{14}C . Полученная радиоуглеродным методом оценка ПП не может быть безоговорочно отнесена ни к валовой, ни к чистой продукции. Однако, установлено, что при краткосрочных экспозициях склянок (2–4 часа) радиоуглеродный метод дает значения продукции, близкие к валовой, а при длительных (12–24 часа) – близкие к чистой. Следует отметить, что экспозиция склянок в течение суток приемлема только в умеренных и холодных водах при очень низких уровнях фотосинтеза, в тропических и продуктивных водах экспозиция проб не должна превышать 6–10 часов. Определения первичной продукции радиоуглеродным методом осуществляется по стандартной схеме: отбор проб, добавление изотопа, экспозиция, фильтрация и определение радиоактивности фильтров.

Измерение продукции наземных экосистем можно проводить по изменению содержания в воздухе двуокиси углерода. Этот метод сходен с методом светлых и темных склянок. Небольшие изменения содержания двуокиси углерода в атмосферном воздухе измерить относительно легко (в атмосфере содержится всего 0,03% CO_2), и утечки из камер для взятия проб не порождают серьезных ошибок. Часть местообитания или даже отдельное растение заключают в воздухонепроницаемую камеру и сравнивают уменьшение содержания CO_2 в течение дня с его повышением (за счет одного только дыхания) ночью. Этот метод позволяет довольно точно измерять общую продукцию.

Использование радиоактивного углерода, в частности изотопа ^{14}C , представляет собой модификацию метода измерения продуктивности, основанную на газообмене. Когда в воздухонепроницаемую камеру добавляют известное количество радиоактивного углерода в форме CO_2 , растения ассимилируют радиоактивные атомы углерода в такой же пропорции, в какой они содержатся в воздухе камеры. Скорость фиксации углерода вычисляют, разделяя количество радиоактивного углерода, содержащееся в растении, на долю радиоактивной CO_2 в камере в начале эксперимента. Таким образом, если растение ассимилирует 10 мг ^{14}C за 1 ч, а доля $^{14}\text{CO}_2$ в камере равна 5%, то можно вычислить, что растение ассимилирует углерод со скоростью 200 мг/ч (10:0,05). В процессе дыхания растение в конечном счете снова выделяет часть

ассимилированного углерода в воздух в виде CO_2 , которую оно может ассимилировать вторично. Измеряя поглощение радиоактивного углерода на протяжении 1–3 ч, можно получить надежную оценку общей продуктивности. По прошествии одного-двух дней поглощение и выделение радиоактивного углерода приближается к стационарному уровню и получаемые оценки скорее относятся к чистой, нежели к общей продукции.

Первичная продукция может быть выражена в разных взаимозвешиваемых единицах. При переходе от одних единиц к другим принято исходить из следующих предпосылок: оксикалорийный коэффициент для органического вещества (ОВ) смешанного состава равен 3,4 кал/мг O_2 ; в органическом веществе содержится 46% углерода; ассимиляционный коэффициент (АК) равен 1,12, а дыхательный коэффициент (ДК) равен 0,89. При этих условиях получаем следующие переходные коэффициенты: 3,2 мг O_2 /мгС, 10,6 кал/мгС, 0,69 мгОВ/мг O_2 , 2,15 мгОВ/мгС. Если АК = 1,25 при ДК = 0,80, то коэффициент перехода от мг O_2 к мгС составит 0,30, от мгС к калориям – 11,3.

Ход работы

Рассчитать ПП фитопланктона на разной глубине в озере Круглое «скляночным» методом в кислородной модификации.

В озере Круглое измерили количество кислорода на трех горизонтах: поверхность, прозрачность (3 м) и придонный горизонт (5 м) при продолжительности светового дня $T=17$ часов и экспонировании склянок в водоеме ($j = 12$ часов), результаты которых занесены в таблицу 1.

Таблица 1. – Количество кислорода (г O_2 /м³) на разных горизонтах

Горизонт	Вариант склянок	Повторности		
		1	2	3
Поверхность	Светлые, $K_{\text{св}}$	9,22	9,54	9,42
	Темные, $K_{\text{тем}}$	7,99	8,01	7,89
	Исходные, $K_{\text{исх}}$	8,91	8,99	8,88
Прозрачность	Светлые, $K_{\text{св}}$	9,84	9,66	9,57
	Темные, $K_{\text{тем}}$	8,02	8,03	7,99
	Исходные, $K_{\text{исх}}$	8,90	8,90	8,87
Дно	Светлые, $K_{\text{св}}$	8,92	8,99	8,70
	Темные, $K_{\text{тем}}$	7,66	7,58	7,50
	Исходные, $K_{\text{исх}}$	7,91	8,00	8,21

1. Определить валовую продукцию (A , г O_2 /м³) по всем горизонтам и повторностям по формуле 1:

$$A = [(K_{\text{св}} - K_{\text{тем}}) T] / j \quad (1)$$

2. Определить деструкцию органического вещества (R , г O_2 /м³) планктоном по формуле 2:

$$R = [(K_{\text{исх}} - K_{\text{тем}}) 24] / j \quad (2)$$

3. Рассчитать чистую первичную продукцию (P , г O_2 /м³) по формуле 3:

$$P = A - R \quad (3)$$

4. Рассчитать чистую первичную продукцию озера как среднюю по горизонтам.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Методы расчета биологической продуктивности фитоценоза по приходу ФАР на земную поверхность

Цель работы: освоить метод расчета биологической продуктивности фитоценоза по приходу ФАР на земную поверхность, рассчитать потенциальную урожайность вышеназванным методом.

Теоретический материал

Солнечная радиация имеет длину волны 300–4000 нм, видимая радиация 400–750 нм. Для процесса фотосинтеза, в ходе которого растения поглощают атмосферный углекислый газ и создают органическое вещество, наиболее существенное значение имеет солнечная радиация участка спектра, ограниченного длинами волн 380 – 710 нм, которая получила название фотосинтетически активной радиации (ФАР). Кванты энергии этого диапазона волн способны приводить в возбужденное состояние молекулы хлорофилла. Величины приходящей ФАР очень сильно различаются на территории планеты в зависимости от географической широты, климата и ориентации участка относительно сторон горизонта (экспозиции), отличаются они и на территории нашей страны, что и обуславливает разное количество возможного накопления биомассы.

В среднем листья растений поглощают около 40–55% от энергии общей радиации, из которой 80–85% энергии фотосинтетически активных лучей и 25% энергии инфракрасных лучей солнечного спектра. Около 0,5–1% и только в очень благоприятных условиях 2% потребленной ФАР используется в процессе фотосинтеза и превращается в энергию химических связей. Остальная энергия превращается в тепло и либо сильно перегревает листья, либо вызывает усиленное испарение воды и удаляется из листьев вместе с ее парами.

Согласно теории продуктивности фотосинтеза посевы по их усвоению ФАР можно разделить на группы, имеющие следующие величины КПД фотосинтеза: обычно наблюдаемые (0,5–1,5%), хорошие (1,5–3,0%), рекордные (3,5–5,0%), теоретически возможные (6,0–8,0%).

Таким образом, одной из основных задач, стоящих перед человечеством в условиях нарастания продовольственной проблемы, является обеспечение растениям таких условий, при которых КПД фотосинтеза будет наиболее близким к максимально возможному.

Определение урожайности фитоценоза предусматривает определение величины урожая по приходу солнечной энергии (ФАР) или потенциальной урожайности (максимально возможной), определение действительно – возможной реальной урожайности по стандартной влагообеспеченности посевов (ДВУ), расчет урожайности с учетом биогидротермического потенциала растений.

Биологический урожай – общая масса органической продукции однородного фитоценоза, образовавшаяся на единице площади за один вегетационный период (урожай на корню) или сумма суточных приростов на протяжении всего вегетационного периода.

С урожаем связано экономическое понятие **урожайность**, которое определяется, как количество растениеводческой продукции, получаемой с единицы площади. Урожайность для культуроткрытого грунта рассчитывают в центнерах с гектара (ц/га), а в теплично–парниковом производстве – в кг/м².

Ход работы

Рассчитать потенциальную урожайность по приходу ФАР.

Урожай формируется в процессе фотосинтеза в результате использования энергии солнечной радиации. Потенциальная, или теоретически возможная, урожайность основной продукции рассчитывается по приходу фотосинтетически активной радиации (ФАР) за период вегетации культуры и коэффициенту ее использования. (Приход ФАР за вегетацию культуры и коэффициент использования ФАР посевами берется из справочной литературы).

Урожай, который может быть обеспечен приходом ФАР при оптимальном в течение вегетации режиме агрометеорологических факторов (света, воды, тепла), а также урожайной способностью культуры, уровнем плодородия почвы и культуры земледелия, можно рассчитать по формуле:

$$ПУ_{б.} = \frac{Q_{фар} * K_{фар}}{100 * g * 100}, \quad (1)$$

где $ПУ_{б.}$ ($У_{биол.}$) – потенциальная урожайность сухой биомассы, ц/га;
 $Q_{фар}$ – приход ФАР за период вегетации культуры, ккал/га ($1 \text{ ккал/см}^2 = 10^8 \text{ ккал/га}$);

g – калорийность единицы урожая органического вещества, ккал/кг (таблица 2);

$K_{фар}$ – коэффициент использования ФАР посевом, % (во всех случаях принимаем $K_{фар}=2\%$);

100 – для определения использования ФАР в абсолютных величинах за вегетационный период;

100 – для определения величины урожайности в ц/га.

Определение количества ФАР за период вегетации конкретной культуры проводится по данным таблицы 1.

Для перехода от урожая абсолютно сухой биомассы (биологического урожая), рассчитанной по формуле 1, к уровню урожая при стандартной влажности (В) (урожайность основной товарной продукции) используется следующая формула 2:

$$ПУ_{осн.} = \frac{100 * U_{биол.}}{(100 - B) * a}, \quad (2)$$

где $ПУ_{осн.}$ – потенциальная урожайность основной товарной продукции, ц/га
 B – стандартная влажность по ГОСТу, % (таблица 2);

a – сумма частей в соотношении основной продукции к побочной в общем урожае биомассы (таблица 2).

Таблица 1. – Приход ФАР ($Q_{фар}$, ккал/см²)

Месяц												Сумма за год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Брестская область												
0,9	1,7	3,9	4,8	6,8	7,3	7,1	5,5	3,9	2,0	0,9	0,6	45,4

Гомельская область												
1,0	1,4	3,6	5,3	7,0	7,7	7,6	5,9	4,1	2,2	1,5	0,6	46,4
Гродненская область												
0,7	1,6	3,6	4,4	6,7	7,2	7,1	5,3	3,5	1,9	0,7	0,5	43,2
Минская область												
0,8	1,5	3,6	4,6	6,9	7,4	7,0	5,4	3,5	1,9	0,8	0,5	43,9

Таблица 2. – Калорийность сельскохозяйственных культур и некоторые другие показатели

Культура	Калорийность целого растения, ккал/кг	Соотношение основной продукции к побочной (сумма)	Содержание основной влаги в продукции, %	Ориентировочная продолжительность вегетац. периода (посев-возобн. вегетации-уборка)
1	2	3	4	5
Озимая пшеница	4450	1:1,4 (2,4)	14	10.IV-I.VIII
Яровая пшеница	4500	1:1,2 (2,2)	14	20.IV-10.VIII
Ячмень	4420	1:1 (2)	14	20.IV-25.VII
Овес	4400	1:1,3 (2,3)	14	20.IV-10.VIII
Горох	4710	1:3 (4)	16	20.IV-31.VIII
Люпин (зерно)	4850	1:4 (5)	16	20.IV-20.VIII
Гречиха	4540	1:5 (6)	14	15.V-10.VIII
Картофель	4300	1:0,7 (1,7)	80	1.V-10.IX
Свекла сахарная	4230	1:0,75 (1,75)	80	25.IV-15.X
Свекла кормовая	3850	1:0,5 (1,5)	85	25.IV-20.X
Однолетние травы (сено)	3900	1:1,3 (2,3)	16	1.V-10.VII
Клевер (сено) 1 г.п.	4500	1:5 (6)	16	10.IV-25.VI
Кукуруза (зел. масса)	3900	1:3 (4)	70	25.IV-25.VIII
Озимая рожь	4400	1:1,5 (2,5)	14	5.IV-25.VII

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Метод расчета биологической продуктивности фитоценоза по биогидротермическому потенциалу

Цель работы: освоить предложенный метод расчета биологической продуктивности фитоценоза; рассчитать урожайность фитоценоза по биогидротермическому потенциалу растений и действительно возможную урожайность по влагообеспеченности посевов.

Теоретический материал

Вода - незаменимый фактор формирования урожая. Для растения вода имеет первостепенное значение. Цитоплазма на 85 – 90 % состоит из воды. Без воды не протекают биохимические процессы, прекращается жизнедеятельность растительного организма.

Вода необходима растению во все периоды жизни; потребность в воде только для прорастания семян составляет примерно 30 – 100 % их веса, дальнейшем на образование 1 г сухого органического вещества растениям требуется от 200 до 1000 г воды. Количество воды в граммах, израсходованное на накопление растением 1 г сухого вещества, называется транспирационным коэффициентом. При этом незначительная часть (менее 5 %) поглощенной растениями воды участвует в процессе фотосинтеза и образует органическое вещество, а остальная идет на транспирацию.

Потребность растений в воде зависит от многих условий: от биологических особенностей самих растений, почвы, уровня и количества удобрений, агротехнических и мелиоративных мероприятий.

Источником воды для возделываемых растений могут быть атмосферные осадки, грунтовые воды, воды орошения. Определяющее значение, безусловно, имеет количество атмосферных осадков. Учет уровня влагообеспеченности, наряду с показателями теплообеспеченности, необходим при районировании территории, организации орошения и осушения, для установления величины климатически обеспеченного урожая.

Практически всю воду растения поглощают из почвы, при этом различные культуры предъявляют неодинаковые требования к запасам воды в почве, что следует учитывать при определении агротехнических и гидромелиоративных мероприятий для выращивания запрограммированных урожаев.

Регулирование водного режима при выращивании запрограммированных урожаев сельскохозяйственных культур на различных по увлажнению территориях осуществляют, используя комплекс технологических, агро - и лесомелиоративных, гидромелиоративных (осушение, орошение) и других приемов. Количество и распределение атмосферных осадков, величина гидротермического коэффициента, а также нормы поливов учитываются при планировании урожайности сельскохозяйственных культур.

Ход работы

Задание 1. Рассчитать действительно возможную урожайность по влагообеспеченности посевов

Действительно возможный урожай – это урожай, который теоретически может быть обеспечен генетическим потенциалом сорта или гибрида и основным лимитирующим фактором. ДВУ всегда ниже ПУ. Величина действительно возможной урожайности (ДВУ) определяется влагообеспеченностью, включающей запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см и ее суммарного расхода на транспирацию и испарение с поверхности почвы.

Действительно возможный урожай (ДВУ) по влагообеспеченности посевов рассчитывают по следующей формуле 1:

$$\text{ДВУ} = \frac{100 \cdot W_{\text{пр}}}{K_w}, \quad (1)$$

где $W_{\text{пр}}$ – продуктивная для растений влага, мм; K_w – коэффициент водопотребления, мм на 1 ц абсолютно сухой биомассы.

Запас продуктивной для растений влаги можно рассчитать по формуле 2:

$$W_{пр.} = W_0 + K * O_c, \quad (2)$$

где W_0 – запас продуктивной влаги в метровом слое почвы к моменту посева или возобновления вегетации озимых и многолетних трав, мм (таблица 3); O_c – количество осадков в мм, которое выпадает за период вегетации культуры, из которых растения используют примерно 80% (таблица 3); K – коэффициент производительного использования выпадающих осадков за вегетационный период культуры (0,8).

Урожай абсолютно сухой биомассы, рассчитанный по указанной формуле, пересчитывается в основную продукцию так, как это делали при определении «ПУ_{осн.}» в лабораторной работе № 4).

Задание 2. Рассчитать биологическую урожайность по биогидротермическому потенциалу (формула А. М. Рябчикова)

Решающую роль в формировании урожая играют солнечные лучи, тепло, влага и почвенные условия в комплексе. Взаимоотношение этих факторов отражено в формуле А.М. Рябчикова, которая с высокой точностью позволяет определить биогидротермический потенциал продуктивности в конкретных климатических условиях. Биогидротермический потенциал рассчитывают по формуле:

$$K_p = \frac{W * T_v}{36 * R}, \quad (3)$$

где K_p – биогидротермический потенциал в баллах; T_v – период вегетации, в декадах; 36 – число декад в году; R – радиационный баланс за период вегетации культуры ($Q_{фap}$), в ккал/см².

Для перехода от баллов к урожаю абсолютно сухой биомассы используют следующую формулу:

$$Y_{биол.} = K_p * 20, \quad (4)$$

где $Y_{биол.}$ – урожай абсолютно сухой биомассы ц/га; K_p – биогидротермический потенциал в баллах; 20 – цена 1 балла биогидротермического потенциала в ц/га.

Урожай абсолютно сухой биомассы, рассчитанный по указанной формуле, пересчитывается в основную продукцию так, как это делали при определении «ПУ_{осн.}» в лабораторной работе № 4.

Сделать вывод.

Таблица 1 – Приход ФАР ($Q_{\text{фар}}$, ккал/см²)

Месяц												Сумма за год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Брестская область												
0,9	1,7	3,9	4,8	6,8	7,3	7,1	5,5	3,9	2,0	0,9	0,6	45,4
Гомельская область												
1,0	1,4	3,6	5,3	7,0	7,7	7,6	5,9	4,1	2,2	1,5	0,6	46,4
Гродненская область												
0,7	1,6	3,6	4,4	6,7	7,2	7,1	5,3	3,5	1,9	0,7	0,5	43,2
Минская область												
0,8	1,5	3,6	4,6	6,9	7,4	7,0	5,4	3,5	1,9	0,8	0,5	43,9

Таблица 2 – Калорийность сельскохозяйственных культур и некоторые другие показатели

Культура	Калорийность целого растения, ккал/кг	Соотношение основной продукции к побочной (сумма)	Содержание основной влаги в продукции, %	Ориентировочная продолжительность вегетац. периода (посев-возобн. вегетации-уборка)
1	2	3	4	5
Озимая пшеница	4450	1:1,4 (2,4)	14	10.IV-I.VIII
Яровая пшеница	4500	1:1,2 (2,2)	14	20.IV-10.VIII
Ячмень	4420	1:1 (2)	14	20.IV-25.VII
Овес	4400	1:1,3 (2,3)	14	20.IV-10.VIII
Горох	4710	1:3 (4)	16	20.IV-31.VIII
Люпин (зерно)	4850	1:4 (5)	16	20.IV-20.VIII
Гречиха	4540	1:5 (6)	14	15.V-10.VIII
Картофель	4300	1:0,7 (1,7)	80	1.V-10.IX
Свекла сахарная	4230	1:0,75 (1,75)	80	25.IV-15.X
Свекла кормовая	3850	1:0,5 (1,5)	85	25.IV-20.X
Однолетние травы (сено)	3900	1:1,3 (2,3)	16	1.V-10.VII
Клевер (сено) 1 г.п.	4500	1:5 (6)	16	10.IV-25.VI
Кукуруза (зел. масса)	3900	1:3 (4)	70	25.IV-25.VIII
Озимая рожь	4400	1:1,5 (2,5)	14	5.IV-25.VII

Таблица 3. – Исходные данные для расчета ДВУ по влагообеспеченности посевов

Культура		Запасы продуктивной влаги в слое 0–100 см перед посевом, возобн. вегетации, мм		Осадки за период от посева, возобн. вегет. начала уборки, мм	Коэффициент водопотребления	
		супесчаная почва	суглинистая почва		суглинистая почва	супесчаная почва
1 вар-т	Озимая пшеница	160	185	224	350-	400
	Яровая пшеница	140	185	200	350	400
2 вар-т	Ячмень	140	195	212	350	400
	Овес	140	195	204	350	400
3 вар-т	Горох	140	195	220	350	400
	Люпин	140	185	288	350	400
5 вар-т	Гречиха	130	150	212	350	400
	Картофель	140	190	270	300	400
4 вар-т	Сахарная свекла	140	190	326	250	300
	Кормовая свекла	140	190	326	250	300
5 вар-т	Однолетние травы	140	195	183	300	400
	Многолетние травы	140	185	269	500	700
6 вар-т	Кукуруза	115	165	265	300	-400
	Озимая рожь	160	185	215	350	400

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 Расчет возможной продуктивности экосистем по биоклиматическому потенциалу

Цель работы: освоить предложенный метод расчета биоклиматического потенциала экосистем и определения их продуктивности.

Теоретический материал

Биоклиматический потенциал – это интегральная оценка биоклимата по оценкам его основных режимов. Биоклиматический потенциал имеет большое значение для производства растительной биомассы для получения биоэнергии и различных смазочных материалов и продуктов питания. Те или иные условия, складывающиеся в основных зонах производства продуктов питания, влияют на обеспеченность промышленности растительным сырьем, животноводство – кормами, население страны – продуктами питания. К примеру, по РФ в зонах

основного земледелия этот потенциал не превышает 1,2, черноземной зоне — 1,8 балла. В то время как в Европе в целом он находится на уровне 1,8 – 2,0, США — 2,4, Индии — 4, Бразилии – 5. Эти значения указывают на то, что в РФ условия для производства растениеводческой продукции хуже, чем в Европе, США, Индии и Бразилии.

Ход работы

Выполнить расчёт возможной продуктивности экосистем по биоклиматическому потенциалу (по вариантам). Для выполнения задания расчет необходимо проводить по трем культурам.

Биоклиматический потенциал определяется по формуле 1:

$$БКП = K_p * \frac{\sum t_{>10^{\circ}C}}{1000^{\circ}C}, \quad (1)$$

где БКП — биологический потенциал продуктивности экосистем, баллы;
 $\sum t^{\circ}C$ — сумма среднесуточных активных температур воздуха за летний период, превышающих $>10^{\circ}C$ (взять температуру той культуры, по которой делается расчет, табл. 1);

K_p — коэффициент биологической продуктивности, которая зависит от влагообеспеченности растений и представляет собой отношение максимальной продуктивности в условиях достаточного увлажнения к продуктивности при недостатке влаги, находим его в таблице 5, на пересечении M_d и взятого для расчета растения;

$1000^{\circ}C$ — сумма температур на северной границе полевого земледелия, которая показывает качественную и количественную оценку биологической продуктивности климата.

Величину потенциальной биологической продуктивности по биоклиматическому потенциалу пересчитывают в продуктивность той или иной культуры по следующей формуле 2:

$$m = \frac{K_n}{K_p} * 10 * БКП, \quad (2)$$

где m — продуктивность, ц/га; K_n — коэффициент продуктивности культур (то есть получение сумм температур) $^{\circ}$ продуктивности растений на 100.

Исходные данные для определения урожайности приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. – Коэффициент продуктивности при различном показателе увлажнения

Культура	$\sum t_{>10^{\circ}C}$	Показатель увлажнения (M_d)							
		0,35	0,38	0,42	0,45	0,50	0,55	0,60	0,75
Кукуруза	2200	0,52	1,00	1,28	1,45	1,54	1,60	1,40	0,75
Озимая пшеница	1450	0,48	0,86	1,06	1,19	1,25	1,25	1,20	1,34
Озимая рожь	1350	0,47	0,86	1,07	1,20	1,27	1,29	1,28	1,15
Овес	1400	0,58	1,10	1,87	1,52	1,59	1,60	1,56	1,18

Ячмень	1350	0,59	1,11	1,39	1,54	1,62	1,64	1,59	1,39
Яровая пшеница	1450	0,47	0,81	1,00	1,08	1,11	1,04	1,02	1,41
Горох	1250	0,51	0,95	1,21	1,28	1,36	1,41	1,35	0,98
Гречиха	1300	0,46	0,88	0,98	1,06	1,12	1,01	1,08	1,01
Люпин	1700	0,49	0,98	1,07	1,12	1,15	1,17	1,06	0,97
Огурец	1200	0,40	0,67	0,82	0,94	1,01	1,08	1,04	1,00
Томат (красный)	1500	0,58	0,62	0,78	0,95	1,07	1,11	1,03	0,99
Капустные	1100	0,60	0,66	0,77	0,93	1,09	1,16	1,10	1,03
Свекла столовая	1400	0,75	0,84	0,95	1,06	1,13	1,20	1,08	1,01
Морковь	1500	0,50	0,65	0,73	0,96	1,12	1,25	1,13	1,08
Репка	1000	0,57	0,68	0,80	1,02	1,18	1,28	1,18	1,10
Картофель	1250	0,64	0,67	1,04	1,09	1,17	1,23	1,15	1,09

Таблица 2. – Исходные данные по количеству активных температур и других показателей продуктивности

Вар-ты	Регион	$\Sigma t > 10^{\circ}\text{C}$	Kp	Md	Регион	$\Sigma t > 10^{\circ}\text{C}$	Kp	Md
1	Архангельский	1461	1,20	0,60	Пековский	1850	1,20	0,60
2	Ленинградский	1663	1,20	0,60	Новгородский	1800	1,20	0,60
3	Ивановский	1918	1,10	0,55	Тульский	2200	1,04	0,53
4	Владимирский	2048	1,08	0,55	Смоленский	2000	1,08	0,55
5	Костромской	1811	1,00	0,58	Тверской	1800	1,18	0,60
6	Московский	2100	1,12	0,56	Кировский	1850	1,04	0,49
7	Ярославский	1950	1,18	0,59	Курский	2370	0,95	0,42
8	Орловский	2230	0,99	0,53	Воронежский	2600	0,83	0,35

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Продуктивность основных экосистем (биомов) Земли.

Цель работы: сравнить продуктивность основных биомов Земли и выявить наиболее продуктивные экосистемы.

Мировое распределение первичной биологической продукции крайне неравномерное. Эффективность связывания растительностью солнечной радиации снижается при недостатке тепла и влаги, при неблагоприятных физических и химических свойствах почвы и т. п. Теоретически возможная скорость создания первичной биологической продукции определяется возможностями фотосинтетического аппарата растений. Максимально достигаемый в природе КПД фотосинтеза составляет 6–8% энергии фотосинтетически активной радиации (ФАР) – теоретически возможный. В целом же по земному шару усвоение

растениями солнечной энергии не превышает **0,1%**. Средний коэффициент использования энергии ФАР для территории России, например, составляет около 0,8%: от 1,8–2,0% на Северном Кавказе до 0,1–0,2% в пустынях и тундрах.

Достигающая поверхности Земли в течение одного года солнечная энергия составляет около $38 \cdot 10^9$ кДж/га. Один гектар леса в средних широтах продуцирует до 6 т древесины и 4 т листьев, сжигание которых дает $193 \cdot 10^6$ кДж, т. е. эффективность использования солнечной энергии в средних широтах – около 0,5%. Питание людей обеспечивается в основном сельскохозяйственными культурами, занимающими 10% площади суши. Почти половина урожая идет на питание людей, остальное – на корм домашним животным, используется в промышленности и теряется в отбросах. Всего человек потребляет **около 0,2% первичной продукции Земли**. Изучение потоков энергии имеет важное значение для расчетов общей биопродуктивности экосистем, включая оценку (прогноз) хозяйственно возможной продуктивности.

Ход работы

Задание 1. Используя данные таблицы 1, определить участие (в %) различных типов экосистем Земли в формировании биомассы и чистой первичной продукции (ЧПП) биосферы. Проведите оценку продуктивности экосистем Земли, приняв за 100 баллов продуктивность тропического дождевого леса. Сравните экосистемы континентов и океана по показателям биомассы и продуктивности. Объяснить причину различия показателей биомассы и продуктивности экосистем Мирового океана и континентов.

Таблица 1 – Чистая первичная продукция и растительная биомасса Земли (Уиттекер, 1980)

Тип экосистемы	Площадь, 10^6 км ²	ЧПП, г/м ² · год	Мировая ЧПП, 10^9 т/год	Биомасса, кг/м ²	Глобальная биомасса, 10^9 т
Тропический дождевой лес	17	2200	37,4	45	765
Тропический сезонный лес	7,5	1600	12,0	35	260
Вечнозеленый лес умеренной зоны	5,0	1300	6,5	35	175
Листопадный лес умеренной зоны	7,0	1200	8,4	30	210
Бореальный лес	12,0	800	9,6	20	240
Редколесье и кустарники	8,5	700	6,0	6	50
Саванна	15,0	900	13,5	4	60
Злаковники умеренной зоны	9,0	600	5,4	1,6	14
Тундра и альпийская растительность	8,0	140	1,1	0,6	5
Пустынная и полупустынная растительность	18,0	90	1,6	0,7	13
Экстремальные пустыни, скалы, пески и лед	24,0	3	0,07	0,02	0,5
Возделываемые земли	14,0	650	9,1	1	14
Болота	2,0	2000	4,0	15	30
Озера и реки	2,0	250	0,5	0,02	0,05
Все континенты	149,0	12433	115,17	371,86	1071,55

Открытый океан	332,0	125	41,5	0,003	1,0
Зоны подъема глубинных вод на поверхность	0,4	500	0,2	0,02	0,008
Континентальный шельф	26,6	360	9,6	0,01	0,27
Заросли водорослей и риффы	0,6	2500	1,6	2	1,2
Речные дельты	1,4	1500	2,1	1	1,4
Мировой океан	361	4985	55,0	3,03	3,88
Всего	510	17418	170,17	374,89	1075,43

Задание 2. В таблице 2 приведены показатели, характеризующие продуктивность основных биомов Земли. Используя эти данные, а также привлекая данные из таблицы 1, оцените:

- 1) эффективность формирования чистой первичной продукции (г/м² листовой поверхности в год);
- 2) эффективность продуктивности хлорофилла разных типов экосистем (г/г хлорофилла);
- 3) скорость биологического круговорота в наземных экосистемах по отношению массы подстилки к массе чистой первичной продукции;
- 4) степень использования чистой первичной продукции животными (%);
- 5) степень перехода органического вещества растений в животное органическое вещество (%).

Таблица 2 – Характеристика продуктивности биосферы по основным экосистемам земного шара (Уиттекер, 1980)

Тип экосистемы	Хлорофилл, *10 ⁶ т	Листовая поверхность, *10 ⁶ км ²	Масса подстилки, *10 ⁹ т	Потребление животными, *10 ⁶ т/год	Продукция животных, *10 ⁶ т/год	Биомасса животных, *10 ⁶ т
Тропический дождевой лес	51	136	3,4	2600	260	330
Тропический сезонный лес	18,8	38	3,8	720	72	90
Вечнозеленый лес умеренной зоны	17,5	60	15,0	260	26	50
Листопадный лес умеренной зоны	14,0	35	14,0	420	42	110
Бореальный лес	36,0	144	48,0	380	38	57
Редколесье и кустарники	13,6	34	5,1	300	30	40
Саванна	22,5	60	3,0	2000	300	220
Злаковники умеренной зоны	11,7	32	3,6	540	80	60
Тундра и альпийская растительность	4,0	16	8,0	33	3	3,5
Пустынная и полупустынная растительность	9,0	18	0,36	48	7	8
Экстремальные пустыни, скалы, пески и лед	0,5	1,2	0,03	0,2	0,02	0,02

Возделываемые земли	21,0	56	1,4	90	9	6
Болота	6,0	14	5,0	320	32	20
Озера и реки	0,5			100	10	10
Все континенты	226	644	111	7810	909	1005
Открытый океан	10,0			16600	2500	800
Зоны апвеллинга	0,1			70	11	4
Континентальный шельф	5,3			3000	430	160
Заросли водорослей и рифы	1,2			240	36	12
Речные дельты	1,4			320	48	21
Мировой океан	18,0			20230	3025	997
Всего	244			28040	3934	2002

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Методы определения вторичной продукции

Цель работы: освоить методику расчета вторичной продукции экосистем.

Теоретический материал

Для продолжения существования и развития биосферы, на Земле постоянно должен происходить круговорот биологически важных веществ, т.е. после использования они должны вновь переходить в усвояемую для других организмов форму. Этот переход биологически важных веществ из звена в звено может осуществляться только при определенных затратах энергии, источником которой является Солнце.

Продуктивность экосистем тесно связана с потоком энергии, проходящим через ту или иную экосистему. Органическое вещество, создаваемое в процессе фотосинтеза, называют первичной продукцией экосистемы. Только часть энергии света, получаемой зеленой поверхностью, может быть использована растениями в процессе фотосинтеза. Скорость, с которой растения накапливают химическую энергию в результате фотосинтеза, называется валовой первичной продуктивностью. Около 20 % этой энергии расходуется растениями на дыхание и фотодыхание. Скорость накопления органического вещества, за вычетом этого расхода, называется чистой первичной продуктивностью. Это энергия, которую могут использовать организмы следующих трофических уровней.

Количество органического вещества, накопленного гетеротрофными организмами, называется **вторичной продукцией**. Вторичную продукцию вычисляют отдельно для каждого трофического уровня, так как прирост массы на каждом из них происходит за счет энергии, поступающей с предыдущего уровня.

Ход работы

Задание 1. Рассчитать отношение вторичной продукции к потребляемому корму у суслика малого и сурка степного, используя данные таблицы 1. Полученные результаты занести в таблицу 2. Провести анализ результатов и сделать вывод об эффективности образования продукции разными видами животных. Определить какой вид животных более эффективно использует энергию пищи на рост и накопление жировых запасов.

Таблица 1 – Продукция малых сусликов и степных сурков в Северном Прикаспии

№ п/п	Вид год	Корм		Вторичная продукция, тыс. ккал/га
		потреблено, тыс. ккал/га	усвоено, тыс. ккал/га	
1	Суслик малый			
	1996	535	427	40
	1997	355	283	28
	1998	288	225	17
2	Сурок степной			
	1996	278	206	54
	1997	318	239	65
	1998	310	220	60

Таблица 2 – Эффективность образования продукции разными видами животных

№ п/п	Вид	Год	Отношение вторичной продукции к потребленному корму, %	Отношение вторичной продукции к усвоенному корму, %
1	Сурик малый	1996		
		1997		
		1998		
		Среднее 1996–1998 гг.		
2	Сурик степной	1996		
		1997		
		1998		
		Среднее 1996–1998 гг.		

Отношение **вторичной продукции** к потребленному корму у различных видов животных определяется по формуле 1:

$$K_1 = C/A \cdot 100, \quad (1)$$

где K_1 - отношение вторичной продукции к потребленному корму, %; C – вторичная продукция, тыс. ккал/га.

Отношение **вторичной продукции** к усвоенному корму определяется по формуле:

$$K_2 = C/B \cdot 100, \quad (2)$$

где K_2 – отношение вторичной продукции к усвоенному корму, %; C – вторичная продукция, тыс. ккал/га; B – усвоено корма, тыс. ккал/га.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

Потребление пищи консументами

Цель работы: решение экологических задач по заданной тематике.

Теоретический материал

Консументы – это потребители органических веществ. Среди консументов встречаются «универсалы» (полифаги): они потребляют добычу самых разнообразных видов (впрочем, по степени «приемлемости» различные пищевые объекты часто неодинаковы и располагаются в определенном порядке). Бывает и так, что консумент специализируется на вполне определенных частях тела своих жертв, но жертвы при этом могут принадлежать к множеству различных видов. Такое явление наиболее обычно среди растительноядных животных. Например, многие птицы специализируются на питании семенами, но при этом редко ограничиваются семенами лишь вполне определенных растений. Многие пастбищные животные специализируются на питании листьями, а корней, как правило, не трогают; а вот некоторые круглые черви (нематоды) и личинки некоторых жуков – специализированные ризофаги: они поедают корни различных растений, но не причиняют вреда листьям. Такие консументы имеются и среди зоофагов. Некоторые рыбы из семейства цихлид замечательны тем, что специализируются на питании чешуей других рыб. Олигофаги питаются немногочисленными видами корма. Наконец, консументы могут специализироваться на питании организмами одного единственного вида или очень немногих близкородственных видов; таких потребителей называют монофагами. Примеры монофагов – гусеницы киноварной моли (поедающие листья, бутоны и самые молодые побеги растений), гусеницы и личинки дубовых галлиц.

Ход работы

Задача 1. Пользуясь правилом экологической пирамиды, определите, какая площадь (в гектарах) соответствующей экосистемы может прокормить одну особь последнего звена в цепи питания: а) планктон→рыба→тюлень (300 кг). Сухая биомасса планктона с 1 м^2 моря составляет 600г. Из указанной в скобках массы тюленя 60% составляет вода. (Ответ: 2 га моря).

Задача 2. Одна устрица фильтрует до 10 л/ч воды, содержание водорослей в которой составляет 0,5 г/л. Какое количество энергии в кДж этих водорослей будет усвоено банкой из 1000 устриц, если в 1 г биомассы водорослей содержится 2,5 кДж энергии корма. На процессы жизнедеятельности устрицы тратят до 60% энергии корма. (Ответ 7500 кДж).

Задача 3. В пруду обитает популяция из 15 щук. 1 щука в среднем за месяц съедает около 20 карасей. На сколько особей увеличится численность популяции карасей к концу года, если щуки съедают примерно 40% их годового прироста. (Ответ: 9000 ос.).

Задача 4. Установлено, что 1 кг массы синиц (консументы 2 порядка) соответствует 4000 кДж энергии. КПД фотосинтеза лесной экосистемы составляет 1 %. Какое максимальное количество птиц средней массой 25 г может прокормиться в сообществе, на поверхность которого поступает 2×10^8 кДж солнечной энергии, если первичным потребителем, которыми питаются птицы, доступно не более 5% энергии, запасенной продуцентами?

Задача 5. В озере обитает популяция плотвы из 400 половозрелых особей. Удельная рождаемость плотвы составляет 50 потомков в год на одну

половозрелую самку. Плотва является основным кормом для популяции из 20 щук, которые съедают примерно 60% годового прироста плотвы. Одна щука в среднем съедает около 20 особей плотвы в месяц. Какой половой состав (в%) имеет популяция плотвы? (Ответ: 40% – самок, 60% – самцов).

Задача 6. Вычислить возможность существования в озере Лох-Несс плезиозавра, причем не одного, а целой семьи, так как для сохранения вида необходима репродукция.

Справка. Плезиозавры – подотряд больших ископаемых морских хищных ящериц отряда зауроптеригий. Имели короткий, широкий и сплюснутый позвоночник, длинную шею, небольшую голову и хвост (общая длина тела – почти 15 метров), или некоторые (плиозавры) – короткую шею и большую голову, ластообразные конечности с большим количеством фаланг.

Допустим, что общая масса семьи плезиозавров – 100 тонн (5–7 особей, **40% сухое вещество**). Общая площадь озера Лох-Несс – (57000 км²). Цепь питания: фитопланктон – личинки насекомых – мальки рыбы – рыбы – семья плезиозавров.

Вычислим, какая площадь акватории озера необходима, чтобы прокормить этих животных, когда известно, что биомасса фитопланктона – 500г/м² сухой массы.

Задача 7. В одном из районов саванн популяция львов состоит из 40 особей. Основной пищей им являются косули. Популяция косуль способна за год восстановить свою численность на 25%. Один лев в среднем в год убивает до 100 косуль, что составляет 4% годового прироста их популяции. Чему будет равна численность популяции косуль через год при условии, что на данную территорию вселится еще 10 львов? Сможет ли данная популяция сохранить свое существование (нижний предел численности равен 1000 особей), если другие хищники за год будут съедать до 2000 косуль? (Ответ: 3000 ос.; популяция косуль в данных условиях существовать не сможет)

Задача 8. Вес самки одного из видов летучих мышей, питающихся насекомыми, не превышает 5 грамм. Вес каждого из двух ее новорожденных детенышей – 1 грамм. За месяц выкармливания детенышей молоком вес каждого из них достигает 4.5 грамма. На основании правила экологической пирамиды определите, какую массу насекомых должна потребить самка за это время, чтобы выкормить свое потомство. Чему равна масса растений, сохраняющаяся за счет истребления самкой растительных насекомых? Чем можно объяснить большое различие суточной потребности в энергии (на единицу массы тела) у человека и у мелких птиц или мелких млекопитающих? (Ответ: 70 г., 700 г.).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

Фитофаги

Цель работы: изучение фитофагов как экологической группы живых организмов на основе решения экологических задач.

Теоретический материал

Фитофагия – питание животных растительной пищей. Фитофаги являются так называемыми первичными потребителями (консументами I-го порядка) в пищевой цепи, а в экосистемах — хищниками с пастбищным типом питания. Фитофаги и их кормовые растения эволюционируют связанно

(коэволюционируют): растения приобретают признаки устойчивости к поедателям (например, ядовитость разной степени или колючесть), а фитофаги противостоят этому.

Среди животных абсолютных фитофагов не существует, все они частично используют и животную пищу (например, жвачные переваривают часть своих протистов-симбионтов, северные олени едят иногда леммингов); но масса случайно поедаемых мелких животных (насекомых, простейших) чаще несопоставима с массой потребляемых фитофагами растений. Из пищеварительных ферментов у них преобладают амилазы. У некоторых беспозвоночных есть ферменты, расщепляющие целлюлозу (целлюлаза, гемицеллюлаза, лихеназа и др.), у позвоночных животных они отсутствуют, но её усвоение у большинства позвоночных фитофагов осуществляется при помощи симбиотических простейших.

Ход работы

Задача № 1. Определите правильно составленную пастбищную цепь питания:

- а) леопард – газель – трава; б) клевер – заяц – орел – лягушка;
в) перегной – дождевой червь – землеройка – горностай; г) трава – зеленый кузнечик – лягушка – уж.

Задача № 2. Рассмотрите пищевую цепь: злаки – кузнечики – лягушки – змеи – орлы. Определите биомассу злаков (в тоннах), необходимую для того чтобы суммарный прирост биомассы птиц за год составил 20 кг, если известно, что в 1 кг растений аккумулируется 100 кДж энергии, а 1 кг биомассы птиц соответствует 20 кДж.

Задача № 3. Одна мышь биомассой 5 г рождает 2-х детенышей массой 1 и 0,5 г. За 4 недели выкармливания детенышей молоком их масса становится 5 и 4 г соответственно. На основании правила экологической пирамиды определите какая биомасса зерна необходима самке чтобы выкормить свое потомство.

Задача № 4. На определенной территории живут зайцы, биомасса каждого из них отличается на 0,2 кг. Биомасса самого маленького зайца 1,6 кг, самого большого – 5 кг. Масса одной лисицы в 20 раз меньше массы всех зайцев. Найдите среднюю массу одной лисы. Вычислите, сколько лис могут существовать на данной территории, если они питаются только зайцами.

Задача № 5. Рассчитайте количество консументов 3 порядка в лесу, где энергия всех продуцентов составляет 1000 кДж. Известно также, что одна особь искомого консументов весит 100 г, а в 1 кг их массы запасается 1000 Дж энергии.

Задача № 6. Известно, что в небольшом водоеме в течение года продуценты произвели 25 кг первичной валовой продукции. Рассчитайте, сколько вещества аккумулируется консументами 3 порядка данного водоема, если известно, что на дыхание автотрофы затрачивают 20% синтезированного органического вещества.

Задача № 7. Определите биомассу продуцентов экосистемы озера, использованной для аккумуляции $2,5 \times 10^7$ кДж энергии в организме карпа (пищевая цепь: фитопланктон – малек карпа – окунь), если известно, что для синтеза 1 кг продуцентов ими поглощается 5×10^6 кДж энергии, при этом КПД фотосинтеза составляет около 1 %.

Задача № 8. Определите вторичную продукцию (консументов 1 порядка) небольшой лесной экосистемы площадью 10 км^2 , если известно, что в эту экосистему в среднем поступает на 1 см^2 20 ккал солнечной энергии за месяц. На

фотосинтез используется не более 1 % поступившей энергии, а на создание 1 г органического вещества растения затрачивают не менее 500 кал. Косументы без ущерба для растений могут потреблять не более 10% аккумулируемой растениями энергии.

Задача № 9. В искусственном водоеме объемом 3000 м^3 выращивают рыб одного вида. Рыбы кормятся дафниями, которые питаются организмами фитопланктона. Средний прирост массы тела рыбы составляет 2,5 г в месяц, плотность популяции – 0,4 особи на м^3 . Какой процент фиксированной при фотосинтезе энергии фитопланктон тратит на процессы жизнедеятельности, если полученная данной экосистемой солнечная энергия эквивалентна 25 т органического вещества, а КПД фотосинтеза составляет 2,5 процента.

Задача 10. Установлено, что 1 кг массы синиц (консументы 2 порядка) соответствует 4000 кДж энергии. КПД фотосинтеза лесной экосистемы составляет 1 %. Какое максимальное количество птиц средней массой 25 г может прокормиться в сообществе, на поверхность которого поступает 2×10^8 кДж солнечной энергии, если первичным потребителем, которыми питаются птицы, доступно не более 5% энергии, запасенной продуцентами?

Задача 11. Продуценты охотхозяйства запасают $1,8 \times 10^7$ кДж энергии. На какое количество зайцев можно выдать лицензию охотникам, если биомасса популяции зайцев составляет 10% от биомассы всех консументов 1 порядка и не менее 60 % популяции должно сохраниться? В 1 кг биомассы консументов 1 порядка запасается около 2000 кДж энергии. Масса 1 зайца в среднем 3 кг.

Задача 12. В небольшой экосистеме обитают организмы, объединенные в единую пищевую сеть: растения, черные дрозды, дождевые черви, бактерии, грибы и др. Дрозды выедают 15% популяции червей и 3 % фитомассы, получая при этом 1947 кДж. Дождевые черви питаются детритом. Энергия, заключенная в детрите составляет $2,6 \times 10^6$ кДж, суммарная солнечная радиация – $5,4 \times 10^7$ кДж. Какой процент фиксированной энергии продуценты затрачивают на процессы жизнедеятельности, если известно, что КПД фотосинтеза 2%, передача энергии с одного уровня на другой в детритной цепи – 5%, а в пастбищной – 10%?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

Детритофаги как звено редуцентов, их функции, классификация

Цель работы: изучить функции детритофагов в экосистеме посредством решения экологических задач.

Теоретический материал

Когда растения и животные погибают, их тела становятся ресурсом для других организмов. На отмерших организмах поселяются грибы и бактерии, которые разрушают органическое вещество, переводя его в минеральную форму. Эти частицы (детрит) образуют самостоятельные микроэкосистемы, состоящие из живых и неживых компонентов. Учитывая это, под термином «детрит» целесообразно понимать единый комплекс, состоящий из частиц мертвого органического вещества на разных стадиях трансформации и ассоциированных с ним микроорганизмов.

Детритофаги – животные и протисты, которые питаются разлагающимся органическим материалом – детритом.

Детритофаги являются важным звеном в круговороте веществ в живой природе, усиливая доступность органических веществ для бактерий. В экосистемах

детритофаги выполняют роль консументов, как и животные, питающиеся «живой» органикой. От остальных консументов детритофаги отличаются тем, что не уменьшают продукцию своих ресурсов, не контролируют скорость, с которой их ресурсы становятся доступными или возобновляются; они полностью зависят от скорости, с которой какой-нибудь другой фактор (старение, болезни, борьба, затенение листьев деревьями) высвобождает ресурс, обеспечивающий их жизнедеятельность. Существуют переходы между детритофагами и редуцентами – бактериями и грибами, а также переходы между детритофагами, которые питаются мертвым веществом, и консументами, которые потребляют поселяющиеся на детрите бактерии и грибы.

Ход работы

Задание 1. По данным таблицы 1 рассчитайте интенсивность разложения подстилки под древостоями разных типов. Расположить виды в ряд в порядке убывания скорости разложения их листового опада.

Таблица 1. – Запас подстилки в разных типах леса, г С/м²

Запас подстилки, г С/м ²	кедр	сосна	лиственница	ель	осина	береза
1987 г.	565	643	565	137	343	160
1991 г.	562	676	535	161	265	140

Задание 2. В листопадном лесу в подстилке обитает 80 экз. диплопод на м², масса 1 экз. – 100 мг. Годичное поступление опада в подстилку 300 г/м² обеззоленного органического вещества с массовой долей углерода – 48%. Активность диплопод продолжается 6 месяцев в году.

На основании данных таблицы 2 рассчитать коэффициенты экологической эффективности между трофическими уровнями (эффективность продукции трофического уровня) и внутри трофического уровня (эффективность использования продукции, эффективность роста, эффективность ассимиляции).

Таблица 2. – Энергетические показатели пищевой активности диплопод, кал/г·сут.

Потребление подстилки	256,7
Ассимиляция	13,3
Продукция	1,1
Дыхание	12,2
Экскреция	243,4

Задание 3. Морские блюдечки расходуют на экскрецию слизи 8% полученной из пищи энергии. Уравнение энергетического баланса популяции имеет вид:

$$1605 = 68 + 96 + 498 + 884 + 59.$$

$$C = P_g + P_r + R + F + U,$$

где P_g , P_r , R , F , U – количество энергии, затраченной соответственно на рост, репродуктивные процессы, дыхание, выделение и экскрецию.

Ассимиляция равна $A = P_g + P_r + R + U$.

Но непосредственное измерение величины потребленной энергии C_T дало величину 2227 кДж/м²·год. Обнаружено, что вне водной среды морское блюдечко

экскретирует слизь в количестве $\gamma=7,237 \cdot 10^{-6} x^{1,19}$ сух. массы/час, в воде - $\gamma=8,51 \cdot 10^{-6} x^{1,9}$, где x – длина раковины, мм.

Средняя длина раковины – 38 мм, плотность популяции – $12,6 \text{ м}^{-2}$.

1. Рассчитать суточную экскрецию слизи (на 1 м^2 берега) моллюсками на воздухе и в воде.

2. Предположив, что морские блюдечки проводят равное количество времени на воздухе и в воде, определить количество слизи, экскретируемое ими на протяжении года на воздухе и в воде.

3. Определить, какое количество энергии расходует моллюск на процессы экскреции слизи на протяжении года (энергосодержание слизи равно $9,89 \text{ кДж/г}$ сух. массы)

4. Используя уравнение энергетического баланса, пересчитайте величину C , подставив в уравнение численно значение U .

5. Какой процент ассимилированной энергии расходуется на экскрецию слизи?

Задание 4. В небольшой экосистеме обитают организмы, объединенные в единую пищевую сеть: растения, черные дрозды, дождевые черви, бактерии, грибы и др. Дрозды выедают 15% популяции червей и 3 % фитомассы, получая при этом 1947 кДж . Дождевые черви питаются детритом. Энергия, заключенная в детрите составляет $2,6 \times 10^6 \text{ кДж}$, суммарная солнечная радиация – $5,4 \times 10^7 \text{ кДж}$. Какой процент фиксированной энергии продуценты затрачивают на процессы жизнедеятельности, если известно, что КПД фотосинтеза 2%, передача энергии с одного уровня на другой в детритной цепи – 5%, а в пастбищной – 10%?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12 Биологическая очистка сточных вод

Цель работы: ознакомиться с методами очистки сточных вод, освоить методику решения задач.

Теоретический материал

Наиболее полная очистка производственных сточных вод (ПСВ), содержащих органические вещества в растворенном состоянии, достигается биологическим методом. Основной процесс, протекающий при биологической очистке ПСВ – биологическое окисление. Биологическая очистка ПСВ осуществляется сообществом микроорганизмов, включающим множество различных бактерий, простейших и ряд более высоко организованных организмов – водорослей, грибов и т.д., связанных между собой в единый комплекс сложными взаимоотношениям. Процесс этот по своей сущности природный, и его характер одинаков для процессов, протекающих в водоеме и очистных сооружениях.

Биологическая очистка ПСВ в естественных условиях:

а) Почвенная очистка сточных вод

Методы почвенной очистки сточных вод основаны на способности самоочищения почвы. Осуществляется такая очистка на **полях орошения** или на **полях фильтрации**.

Поля орошения – специально подготовленные и спланированные земельные участки, предназначенные для очистки сточных вод и для

выращивания на них сельскохозяйственных культур. Если земельные участки предназначаются только для очистки сточных вод они носят название **полей фильтрации**.

Очистка сточных вод в обоих случаях происходит в результате совокупности сложных физико-химических и биологических процессов. Сущность процесса очистки состоит в том, что при фильтрации сточных вод через почву в верхнем ее слое задерживаются взвешенные и коллоидные вещества, образующие на поверхности частичек почвы густозаселенную микроорганизмами пленку. Используя кислород, проникающий из атмосферы в поры почвы, микроорганизмы переводят органические вещества в минеральные соединения. Таким образом, наличие кислорода является необходимым условием нормального хода процесса. Так как с точки зрения кислородного режима верхние слои почвы (0,2–0,3 м) находятся в более благоприятных условиях, то именно в этих слоях и происходят наиболее интенсивное окисление органических веществ и процесс нитрификации. Отсюда вытекают требования, которые предъявляются к отводимой под поля орошения или фильтрации территории, к свойствам грунтов, а также к качеству и объему ПСВ, которая может быть очищена на 1 га площади полей.

б) Очистка сточных вод в биологических прудах

В биологических прудах, которые представляют собой искусственно созданные водоемы, для очистки ПСВ также используются естественные процессы. Эти сооружения можно использовать для глубокой очистки (доочистки) ПСВ, прошедших биологическую обработку. Существуют **биопруды с естественной и искусственной аэрацией**.

Глубина прудов с естественной аэрацией обычно не превышает 1 м. Для искусственной аэрации используют либо механические аэраторы, либо пропускают (барботируют) воздух через слой воды. Глубина прудов с искусственной аэрацией обычно достигает 3 м. Как правило, пруды с искусственной аэрацией объединяют в несколько параллельных каскадов.

В окислительных процессах протекающих в биопрудах, существенную роль играет водная растительность, которая способствует снижению концентрации биогенных элементов и регулирует кислородный режим водоема. Продолжительность очистки ПСВ в биопрудах достаточно велика. Так, время полного окисления в прудах с естественной аэрацией спиртов, фенолов, карбоновых кислот, ароматических углеводородов составляет 40, 44, 60 и 80 суток соответственно. В биопрудах с искусственной аэрацией время полного окисления тех же веществ уменьшается примерно в 4-5 раз и составляет 10, 11, 12 и 17 суток соответственно.

ПСВ, обработанные в биопрудах, рекомендуется дополнительно очищать в отстойных секциях. Для глубокой очистки стоков воду из прудов необходимо пропускать через песчаные фильтры.

Биологическая очистка сточных вод в искусственных условиях осуществляется в биофильтрах, погружных биофильтрах и аэротенках. **Скорости аэробного окисления при биологической очистке ПСВ вод изменяются в широких пределах – от 10 до 30 мг БПК₅ на 1г беззольного вещества активного ила в 1 ч** и являются функцией видового и количественного состава активного ила (или биопленки), начальной концентрации загрязнений, требуемой степени очистки, биохимической структуры загрязнений, а также физических параметров процесса (интенсивности перемешивания, рН, температуры и т. д.). Наибольшая скорость биологического окисления загрязнений достигается в

аэротенках, работающих с высокими дозами активного ила, и в окситенках, снабжаемых техническим кислородом.

Примеры решения задач

Пример 1. Смешиваются сточные воды с расходом 2, 10 и 100 тыс.м³·сут⁻¹ и концентрациями по БПК_{полн} соответственно 500, 380 и 220 мг О·л⁻¹. Определите БПК_{полн} смеси и отметьте условия, при которых задача может быть решена.

Решение:

Задача может быть решена, если при смешении в стоках не происходит никаких химических изменений и компоненты не оказывают взаимного токсического или стимулирующего действия.

$$\text{БПК}_{\text{полн см.}} = \frac{\sum Q_i \cdot \text{БПК}_i}{\sum \text{БПК}_i} = \frac{2 \cdot 0,5 + 10 \cdot 0,38 + 100 \cdot 0,22}{2 + 10 + 100} = 0,2366 \text{ т} \cdot \text{тыс.м}^{-3} = 237 \text{ мг О} \cdot \text{л}^{-1}.$$

Ответ: БПК_{полн} смеси равно 237 мг О·л⁻¹.

Пример 2. Вычислите БПК₅ и ХПК раствора этанола с концентрацией 200 мг·л⁻¹, если константа k* процесса окисления (при определении БПК) равна 0,2 сут⁻¹. Удельное БПК_{полн} спирта равно 1,82 мг О·мг⁻¹.

Решение:

Определим удельное ХПК этанола. Уравнение полного окисления этанола:



$$\text{ХПК}_{\text{уд}} = \frac{\text{ХПК}}{M_{\text{в-ва}}} = \frac{n \cdot M(\text{O}_2)}{M_{\text{в-ва}}},$$

где n – стехиометрический коэффициент перед кислородом в уравнении полного окисления вещества;

M(O₂) – молярная масса кислорода, г·моль⁻¹

M – молярная масса вещества, г·моль⁻¹.

$$\text{ХПК}_{\text{уд}} = 3 \cdot 32 / (12 \cdot 2 + 1 \cdot 6 + 16 \cdot 1) = 2,08 \text{ мг О} \cdot \text{мг}^{-1}.$$

Следовательно, ХПК = ХПК_{уд} · C = 2,08 мгО·мг⁻¹ · 200 мг·л⁻¹ = 416 мгО·л⁻¹.

БПК_{полн} = БПК_{полн уд.} · C = 1,82 · 200 = 364 мг О·л⁻¹.

Зная БПК_{полн}, вычислим БПК₅ по кинетическому уравнению реакции первого порядка: БПК_τ = БПК_{полн} · (1 - 10^{-k*τ}); БПК₅ = 364 · (1 - 10^{-0,2·5}) = 326 мг О·л⁻¹.

Ответ: ХПК раствора этанола равно 416 мг О·л⁻¹, БПК₅ этого же раствора – 326 мг О·л⁻¹.

Пример 3. Вычислите % (долю) циркуляционного (возвратного) ила, если доза ила в аэротенке C_а = 1,6 г·л⁻¹, доза (концентрация) возвратного ила в регенераторе C_в = 5,4 г·л⁻¹ и прирост ила Пр = 120 мг·л⁻¹.

Решение:

$$\text{Доля возвратного ила } \alpha \text{ определяется как } \alpha = \frac{Q_{\text{и}}}{Q_{\text{св}}} \cdot 100\%,$$

где Q_и – расход возвратного ила, м³·час⁻¹;
Q_{св} – расход очищаемой сточной воды, м³·час⁻¹.

Составим уравнение материального баланса по илу. В аэротенк в единицу времени поступает возвратный ил объемом $Q_{\text{и}}$ и сточная вода объемом $Q_{\text{св}}$, очистка которой обусловит образование ила в количестве $Q_{\text{св}} \cdot \text{Пр}$. Следовательно,

$$Q_{\text{и}} \cdot C_{\text{в}} + Q_{\text{св}} \cdot \text{Пр} = (Q_{\text{и}} + Q_{\text{св}}) \cdot C_{\text{а}}$$

Поэтому

$$Q_{\text{и}} \cdot C_{\text{в}} - Q_{\text{и}} \cdot C_{\text{а}} = Q_{\text{св}} \cdot C_{\text{а}} - Q_{\text{св}} \cdot \text{Пр};$$

$$Q_{\text{и}} \cdot (C_{\text{в}} - C_{\text{а}}) = Q_{\text{св}} \cdot (C_{\text{а}} - \text{Пр}).$$

$$\alpha = \frac{Q_{\text{и}}}{Q_{\text{св}}} \cdot 100\% = \frac{C_{\text{а}} - \text{Пр}}{C_{\text{в}} - C_{\text{а}}} \cdot 100\% = (1,6 - 0,12) \cdot 100\% / (5,4 - 1,6) = 39\%$$

Ответ: Доля возвратного ила в регенераторе составляет 39%.

Пример 4. Вычислите среднюю статистическую простейшую формулу беззольного вещества и удельное ХПК ила, если анализом по методу сжигания пробы активного ила найдено, что беззольное вещество имеет следующий состав (масс. %): С–49, Н–8, N–10 O–33.

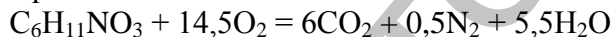
Решение:

Обозначим формулу беззольного вещества активного ила $C_xH_yN_zO_w$. Тогда отношение количеств элементов, входящих в состав вещества, равно

$$x : y : z : w = \frac{\omega(C)}{M(C)} : \frac{\omega(H)}{M(H)} : \frac{\omega(N)}{M(N)} : \frac{\omega(O)}{M(O)} = \frac{49}{12} : \frac{8}{1} : \frac{10}{14} : \frac{33}{16} = 4,08 : 8 : 0,71 : 2,06$$

$x : y : z : w = 5,76 : 11,2 : 1 : 2,9 \approx 6 : 11 : 1 : 3$, и формула беззольного вещества – $C_6H_{11}NO_3$.

Уравнение полного окисления беззольного вещества:



$$\text{ХПК}_{\text{уд}} = \frac{M_{\text{в-ва}}}{M_{\text{в-ва}}} = \frac{n \cdot M(O_2)}{M_{\text{в-ва}}}$$

где n – стехиометрический коэффициент перед кислородом в уравнении полного окисления вещества;

$M(O_2)$ – молярная масса кислорода, г·моль⁻¹;

M – молярная масса вещества, г·моль⁻¹.

$$\text{ХПК}_{\text{уд}} = 14,5 \cdot 32 / (6 \cdot 12 + 1 \cdot 11 + 14 \cdot 1 + 16 \cdot 3) = 3,2 \text{ г О/г} = 3,2 \text{ мг О} \cdot \text{мг}^{-1}.$$

Ответ: Простейшая формула беззольного вещества активного ила $C_6H_{11}NO_3$. Удельное ХПК активного ила равно 3,2 мг·мг⁻¹.

Ход работы

Задача 1. Смешиваются сточные воды с расходом 50, 70 и 120 м³·сут⁻¹ и концентрациями по БПК_{полн} соответственно 500, 380 и 220 мг·л⁻¹. Определите БПК_{полн} смеси, если при смешении в стоках не происходит никаких химических изменений и компоненты не оказывают взаимного токсичного действия при определении БПК.

Задача 2. Вычислите БПК₅ и ХПК раствора пропилового спирта с концентрацией 120 мг·л⁻¹. Константа биоокисления $k^* = 0,2 \text{ сут}^{-1}$. БПК_{полн} / ХПК = 0,8. Определите время полного окисления пропилового спирта.

Задача 3. Вычислите % (долю) циркуляционного (возвратного) ила, если доза ила в аэротенке $C_{\text{а}} = 2,0 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$, концентрация возвратного ила в регенераторе $C_{\text{в}} = 6,4 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ и прирост ила $\text{Пр} = 170 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$.

Задача 4. Вычислите % (долю) циркуляционного (возвратного) ила, если доза ила в аэротенке $C_a = 2,2 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$, концентрация возвратного ила в регенераторе $C_b = 7,0 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ и прирост ила $\text{Пр} = 180 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$.

Задача 5. Определите среднюю статистическую формулу беззольного вещества и удельную ХПК ила, если анализом по методу сжигания пробы активного ила найдено, что беззольное вещество имеет состав (% масс.): С – 48% , Н – 8%, N – 14% и О – 30%.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13

Особенности функционирования наземных и водных экосистем. Вещественные и энергетические потоки в наземных и водных экосистемах

Цель работы: Изучить особенности функционирования наземных и водных экосистем посредством изучения вещественных и энергетических потоков.

Теоретический материал

Продуктивность экосистем оценивается следующими показателями:

1. Валовая первичная продукция (**ВПП**) – энергия, накопленная первичными продуцентами - растениями за единицу времени на единице поверхности, $\text{кДж} / \text{м}^2 \cdot \text{год}$.
2. Чистая первичная продуктивность (**ЧПП**), $\text{кДж} / \text{м}^2 \cdot \text{год}$,

$$\text{ЧПП} = \text{ВПП} - \text{Д1},$$

где **Д1** – энергия, расходуемая растениями при дыхании;

ЧПП – энергия, которую могут использовать организмы следующих трофических уровней.

3. Чистая вторичная продукция (**ЧВП**), $\text{кДж} / \text{м}^2 \cdot \text{год}$ – количество энергии, накопленной гетеротрофными организмами на любом трофическом уровне.

$$\text{ЧВП} = \text{РК} - (\text{Д2} + \Phi),$$

где **РК** – рацион консументов данного трофического уровня – энергия, заключенная в потребляемой пище;

Отношение величин потоков энергии в разных точках пищевой цепи называется экологической эффективностью.

Эффективность использования энергии в пищевой цепи (экологическая эффективность) оценивается коэффициентом использования энергии в пищевой цепи (**К**), %.

При фотосинтезе

$$\text{К} = (\text{ВПП} / \text{Е}) \cdot 100,$$

где **Е** – поступающая солнечная энергия;

Для автотрофов

$$\text{К} = (\text{ЧП} / \text{Е1}) \cdot 100,$$

где **Е1** – потребленная при фотосинтезе солнечная энергия.

Для гетеротрофов

$$\text{К} = (\text{ЧВП} / \text{РК}) \cdot 100.$$

Ход работы

Задание 1. Пользуясь понятиями продуктивность экосистемы и эффективность использования энергии, а так же рисунком 1 ответить на вопросы:

- Какова эффективность фотосинтеза (т.е. преобразования поступающей солнечной энергии в валовую первичную продукцию)?
- Чему равна чистая вторичная продукция птиц, питающихся семенами; паукообразных и кузнечиков (по отдельности)?
- Сколько энергии теряется при дыхании и выделении фекалий у полевых мышей?
- Какие организмы являются продуцентами, первичными и вторичными консументами?
- Рассчитать валовую первичную и вторичную продукцию.
- Рассчитать коэффициент использования энергии для гетеротрофов различных трофических уровней.

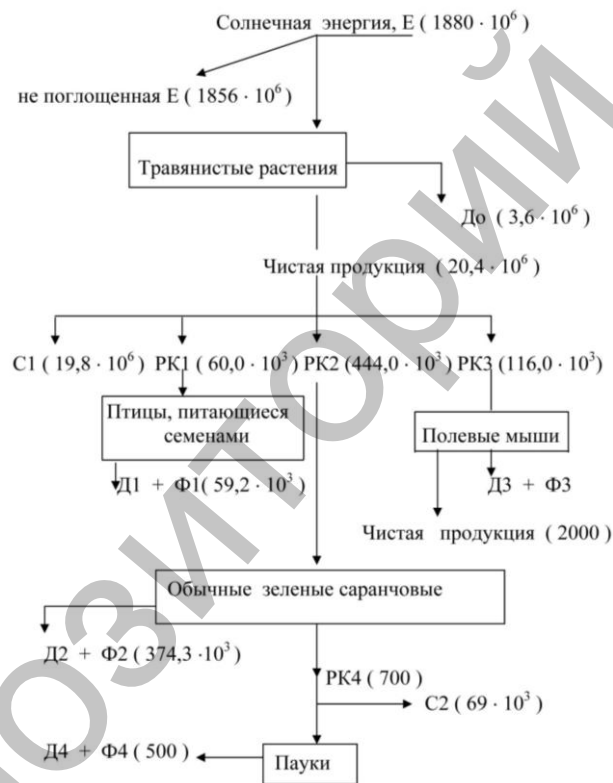


Рисунок 1. – Поток энергии через часть луговой экосистемы ($\text{кДж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$).

Д1, Д2, Д3, Д4 – энергия, теряющаяся при дыхании; РК1, РК2, РК3, РК4 – рацион консумента, энергия, заключенная в потребляемой пище; Ф1, Ф2, Ф3, Ф4 – энергия, заключенная в экскретах и экскрементах; С1, С2 – энергия, заключенная в погибших организмах и расходуемая по другим путям обмена.

Теоретический материал

Концентрирование токсичеких веществ в пищевых цепях. В биологическом обмене участвует большое число химических элементов. Почти все наземные и водные организмы концентрируют в своем теле вещества, в том числе и обладающие токсическим действием. Так как пищевая цепь многоступенчата, на каждой ступени концентрация веществ возрастает в среднем на порядок, то уже на 2-й ступени она возрастает в 100 раз. Например, в водной

среде пятиступенчатая пищевая цепь: водоросли – травоядный зоопланктон – хищный зоопланктон – мелкая рыба – промысловая рыба. Следовательно, в промысловых рыбах концентрация вредных веществ может повыситься в 100 тыс. раз по отношению к их содержанию в воде озера. В последнее время человек все активнее использует синтетические органические соединения, например, для борьбы с вредителями и болезнями растений (пестициды). Среди первых применявшихся пестицидов была группа хлорированных углеводов, в том числе ДДТ. Эти вещества ядовиты для многих животных и человека. Используемые для борьбы с насекомыми (например, для борьбы с малярийным комаром в Мексике), за счет эффекта концентрирования в пищевых цепях, они оказались особенно вредоносны для птиц, рыб и беспозвоночных (рисунок 2).

Птица	75	–	Хищник 2
Крупная рыба	50	–	Хищник 1
Мелкая рыба	10	–	Травоядное животное
Водные растения	0,04	–	Продуцент

Рисунок 2. – Количество ДДТ, заключенное в биомассе организмов, находящихся на разных трофических уровнях. Цифрами выражено количество г ДДТ на $1 \cdot 10^6$ г биомассы.

Таким образом, при совершенно благополучных показателях нормируемых вредных веществ в воде, при наличии сброса токсических веществ в водоем. Люди, потребляющие рыбу, могут погибать или заболевать без внешних, казалось бы, причин. Например, массовое отравление людей – болезнь «Минимата», возникшая у рыбаков японской деревни на берегу залива, в который предприятия сбрасывали соединения ртути. По наблюдениям на р. Колумбия в США при ничтожной концентрации в воде радиоактивных веществ (фосфора, кальция, стронция, цезия и др.) в теле планктона их содержание было в 2 тысячи раз выше, чем в воде, у рыб, поедающих этот планктон, от 15 тыс. до 40 тыс. раз выше. Молодые ласточки, питающиеся насекомыми, имели концентрацию радиоактивных веществ в 500 тыс. раз больше, чем в воде реки. Таким образом, аккумуляция вредных веществ в организмах и их концентрирование в пищевой цепи (биотическое накопление), создает угрозу попадания их в организм человека и животных не только с водой, но и с пищей в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации.

Задание 2.

Используя сведения о концентрировании токсических веществ в пищевых цепях ответить на следующие вопросы.

1. Используя данные, представленные на рисунок 2, сделать заключение, на каком уровне ДДТ оказывает наибольшее влияние, на каком уровне его легче всего обнаружить, на каком уровне находятся насекомые – вредители урожая, «мишень» для ДДТ?

2. В середине 60-х ДДТ был обнаружен в печени пингвинов в Антарктиде – месте весьма удаленном от районов его применения (Мексика, где его распыляли в атмосферу для борьбы с малярийным комаром). Какими путями ДДТ мог попасть в печень пингвинов?

3. Было замечено, что многие животные погибают от отравления ДДТ в те периоды, когда им не хватает пищи. Объясните это явление.

СПИСОК БИОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ДЛЯ РЕШЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОСВОЕНИЯ КУРСА «БИОТИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ»

1. Из перечисленных названий организмов выберите продуцентов, консументов и редуцентов: медведь, бык, дуб, белка, подосиновик, шиповник, скумбрия, жаба, ленточный червь, гниlostные бактерии, баобаб, капуста, кактус, пеницилл, дрожжи.

2. Выберите из списка названия животных, которых можно отнести к консументам второго порядка: серая крыса, слон, тигр, дизентерийная амеба, скорпион, паук, волк, кролик, мышь, саранча, ястреб, морская свинка, крокодил, гусь, лисица, окунь, антилопа, кобра, степная черепаха, виноградная улитка, дельфин, колорадский жук, бычий цепень, кенгуру, божья коровка, белый медведь, медоносная пчела, кровососущий комар, стрекоза, яблоневая плодоярка, тля, серая акула.

3. Используя правило Линдемана, постройте пирамиды биомассы (1) и численности (2) для следующей пищевой цепи луга:

Растения → кузнечик → лягушка → аист.

Биомасса всех растений луга 40 тыс. кг, одного травянистого побега – 0,5 г. (0,0005 кг), 1 кузнечика – 1 г., 1 лягушки – 10 г., 1 аиста – 2 кг.

4. Постройте экологическую пирамиду чисел для степи (летом), если количество особей, кроме микроорганизмов и почвенных животных, на 1000 м², составляет – 1400000; консументов первого порядка (растительноядных животных) – 200000; консументов второго порядка (хищников) – 1. Масштаб изображения произвольный.

5. Используя правило перехода энергии с одного трофического уровня на другой, постройте пирамиды биомассы и численности для следующей пищевой цепи луга: растения – кузнечики – лягушки – ужи – змея. Данные для работы: биомасса всех растений луга – 40000 кг; одного побега травянистого растения – 5 г; кузнечика – 1 г; лягушки – 10 г; ужа – 100 г; змея – 2 кг.

6. Сколько потребуется растений, чтобы в лесу вырос волк и смог достичь массы 40 кг? Пищевая цепь растения – заяц – волк.

7. В период с 1958 по 1980 гг. в результате сжигания топлива всеми странами мира в атмосферу поступило $8,6 \cdot 10^9$ т углерода. На сколько уменьшилось содержание кислорода в % от его поступления в атмосферу за тот же период за счет фотосинтеза. Поступление кислорода за счет фотосинтеза составляет в среднем $2,3 \cdot 10^9$ т в год.

8. В период с 1958 по 1980 гг. в результате сжигания топлива всеми странами мира в атмосферу поступило $8,6 \cdot 10^9$ т углерода. На сколько уменьшилось содержание кислорода в % от его поступления в атмосферу за тот же период за счет фотосинтеза. Поступление кислорода за счет фотосинтеза составляет в среднем $2,3 \cdot 10^9$ т в год.

9. Оцените эффективность фотосинтеза в посадках кукурузы в расчете на 1 га, если известно:

- ✓ общий сухой вес растений, включая корни, листья и початки (сух. вес) – 15000 кг
- ✓ общее содержание золы (минеральный остаток после сжигания) – 805 кг
- ✓ интенсивность дыхания растений – 75 кг/сутки CO₂
- ✓ количество энергии, необходимое для получения 1 кг глюкозы – 3760 ккал.
- ✓ вегетационный период – 100 дней
- ✓ количество солнечной энергии, поступившее на 1 га за 100 дней – 5110000000 ккал.

10. На определенной территории живут зайцы, биомасса каждого из них отличается на 0,2 кг. Биомасса самого маленького зайца 1,6 кг, самого большого – 5 кг. Масса одной лисицы в 20 раз меньше массы всех зайцев. Найдите среднюю массу одной лисы. Вычислите, сколько лис могут существовать на данной территории, если они питаются только зайцами.

11. Человек имеет массу тела 70 кг, из которой 60% составляет вода. Какая площадь акватории моря способна его прокормить, если в пищу потребляется рыба, которая питается водорослями (фитопланктоном). Продуктивность фитопланктона составляет 600 г / м² сухой биомассы.

12. Определите производительность агроценоза площадью 1 га (сухое вещество и энергию, которая в ней запасается), если в течение суток растениями создается 560 г / м² сухого вещества, а в 1 г сухой биомассы, созданной растениями, запасается 22 кДж энергии. 1 га = 10 000 м².

13. Летучая мышь съедает за одну ночь примерно 4г. насекомых. Не менее 20% пищи летучих мышей состоит из комаров. Комар весит примерно 2,2 мг. Летний сезон длится 90 дней. Определите, сколько комаров может съесть летучая мышь за одно лето.

14. Рассчитайте количество консументов 3 порядка в лесу, где энергия всех продуцентов составляет 1000 кДж. Известно также, что одна особь искомым консументов весит 100 г, а в 1 кг их массы запасается 1000 Дж энергии.

15. Известно, что в небольшом водоеме в течение года продуценты произвели 25 кг первичной валовой продукции. Рассчитайте, сколько вещества аккумулируется консументами 3 порядка данного водоема, если известно, что на дыхание автотрофы затрачивают 20% синтезированного органического вещества.

16. Определите вторичную продукцию (консументов 1 порядка) небольшой лесной экосистемы площадью 10 км², если известно, что в эту экосистему в среднем поступает на 1 см² 20 ккал солнечной энергии за месяц. На фотосинтез используется не более 1 % поступившей энергии, а на создание 1 г органического вещества растения затрачивают не менее 500 кал. Консументы без ущерба для растений могут потреблять не более 10% аккумулируемой растениями энергии.

17. Популяция пчел питается нектаром луговых растений. Установлено, что они используют лишь 1% от общего запаса нектара данного луга. Какое количество этих одиночных пчел обитает на лугу, если известно, что для нормальной жизнедеятельности каждой из них необходимо примерно 10 г нектара в год, а всего на лугу образуется около 150 кг нектара?

18. Какое максимальное количество консументов 2-го порядка со средней массой 5 кг сможет прокормиться в сообществе, на поверхность которого поступает $5 \cdot 10^8$ кКал солнечной энергии, если в 1 кг тела хищника содержится 500 кКал энергии, а КПД фотосинтеза в лесу составляет 1%? Процесс трансформации энергии с одного трофического уровня на другой протекает в соответствии с правилом Линдемана).

19. Орешниковая соя в среднем съедает около 200 г растительной пищи в сутки (как правило, это семена и плоды деревьев и кустарников). Активный период ее жизнедеятельности длится с начала по конец октября (в среднем 210 суток). Какое максимальное количество этих зверьков может выжить в широколиственном лесу с биомассой 1400 т, если известно, что количество доступных плодов здесь составляет примерно 0,2% от общей фитомассы?.

20. Определите, какое количество паразитов может обитать в теле хозяина, если известно, что масса 1 паразита составляет 10 г, а в 1 г его тела содержится

100ккал энергии? Хозяином паразита является травоядное животное со средней массой 20 кг, в 1 кг мяса которого – 5000 ккал энергии.

21. Известно, что в лесу хищники второго порядка имеют в среднем массу тела, равную 2 кг, а в 100 г их тела содержится 300 ккал энергии. Рассчитайте, какое количество данных хищников может быть в лесу, на поверхность которого падает 6×10^9 ккал энергии, а КПД фотосинтеза составляет 1%.

22. Сколько ястребов-перепелятников будет обнаружено на определенной территории, если известно, что индивидуальная масса ястреба-перепелятника, питающегося дроздами, – 0,5 кг, а общая биомасса дроздов около 100 кг, причем $\frac{1}{2}$ дроздов погибает, становясь добычей ястребов? б) Рассчитайте массу дождевых червей, необходимых для кормления оставшихся дроздов.

23. Самка бурого медведя, весящего 500кг, рождает 2 детенышей весом 30кг каждый. За 4 месяца вес каждого увеличивается до 100 кг. На основании этой пирамиды определите, какую массу зайцев должна истребить медведица, чтобы выкормить своих детенышей. Чему равна масса растений, уцелевших за это время (вода в организме медведя составляет 80%)?

24. На территории площадью 9,55 га живет 300 кузнечиков. Масса 1 кузнечика вычисляется по формуле $15X-90 = 0$ (г). Биомасса 1 лягушки равна 20 г, на 1га биомасса травы равна 200 кг. На основании правила экологической пирамиды определите численность лягушек, если количество кузнечиков: а) изменится; б) не изменится.

25. Одна мышь биомассой 5г рождает 2 детенышей биомассой 1 г и 0,5 г. За 3–4 недели выкармливания детенышей молоком их биомасса стала 5 г и 4 г соответственно. На основании правила экологической пирамиды определите, какая биомасса зерна необходима самке, чтобы выкормить свое потомство.

26. Известно, что в саванне хищники второго порядка имеют в среднем массу 35 кг, а в 100 г их тела содержится 200 ккал энергии. Рассчитайте, сколько особей данных хищников может прокормиться в экосистеме, на поверхность которой падает $7 \cdot 10^{11}$ ккал солнечной энергии при КПД фотосинтеза, равном 1 %.

27. Дана пищевая цепь: муха – перепел –ястреб-перепелятник. Биомасса мухи – 0,1 г. На данной территории насчитывается около 50000000 мух. Лишь 5% из них становятся пищей для перепелов, 20% которых, в свою очередь, становятся добычей ястребов. Определите среднюю биомассу ястребов, если численность популяции ястребов-перепелятников данной территории равна 5 особям.

28. На небольшом острове существует тесная связь между различными организмами пяти трофических уровней. Единственным источником энергии является солнечный свет с суммарной годовой энергией 3×10^8 кДж. КПД фотосинтеза – 1,5 %. Определите, какое количество паразитов хищников второго порядка данного сообщества может прокормиться, если масса каждого из паразитов составляет 0,2 г, а на 1 кг их массы приходится $5-10^4$ кДж энергии. (Процесс трансформации энергии с одного трофического уровня на другой протекает в соответствии с правилом Линдемана).

29. В сосновом лесу общий запас древесины составляет $2 \cdot 10^6$ кг. Одна личинка соснового усача потребляет 50 г древесины. Примерно в 10 % личинок данного жука развиваются наездники – эфяльты (в одной личинке развивается один наездник). Какое максимальное количество эфяльтов может сформироваться в сосновом лесу, если усачам для питания доступно только 0,01 % древесины сосны?

30. Для развития одной мыши требуется не менее 1 кг растительной пищи. Подорлики могут съесть до 2 % популяции мышей (в среднем каждая особь съедает по 600 грызунов за год). Какое максимальное количество подорликов

сможет выжить в сообществе с фитомассой 6000 т, где мыши используют в пищу 1,5 % фитомассы и являются основной пищей для этих хищных птиц?

31. В широколиственном лесу обитает 600 особей хищников второго порядка. Масса потребляемого корма на одну особь составляет в среднем 2500 кг/год. Площадь леса 1000 га, траты на дыхание у продуцентов составляют 60%, а переход биомассы с одного трофического уровня на другой равен 20%. Какое количество энергии на 1 га леса в месяц должно накапливаться в валовой первичной продукции в расчете на одного хищника второго порядка? В 1 кг биомассы продуцентов содержится 480 кДж энергии.

ТЕМАТИКА РЕФЕРАТОВ ПО УСР ПО ДИСЦИПЛИНЕ «Биотический круговорот»

1. Биотический круговорот веществ.
2. Круговорот воды в природе.
3. Круговорот азота в природе.
4. Круговорот углерода в природе.
5. Функциональные блоки экосистем.
6. Продуценты как основное звено трофических цепей.
7. Роль консументов в экосистемах.
8. Детритофаги как звено редуцентов, их функции, классификация.
9. Почвенные бактерии, их функции.
10. Основные биомы Земли.
11. Биологическая продуктивность основных экосистем земного шара.
12. Методы определения первичной продукции.
13. Биоремедиация загрязненных почв и грунтов.
14. Пастбищные и детритные пищевые цепи.
15. Пищевые цепи и сети Мирового океана.
16. Энергия в экологических системах.
17. Сукцессия как необходимый биологический процесс.
18. Деградация наземных экосистем.
19. Антропогенное эвтрофирование.
20. Способы очистки сточных вод.
21. Обезвреживание и переработка твердых бытовых отходов: пути и методы решения.
22. Коммонер и законы экологии.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басов, В.М. Задачи по экологии и методика их решения: учеб. пособие. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Изд-во ЛКИ, 2007. – 160 с.
2. Практикум по экологии (для технических вузов): учебное пособие / А.Н. Вотрушина [и др.]. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 187 с.
3. Основы биологической продуктивности: учеб.-метод. пособие [Электронный ресурс] / сост. Е.А. Иванова. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012.
4. Сборник задач по учебной дисциплине «Биология». – Чернушка: ГБОУ СПО «КПК», 2015. – 40 с.
5. Сборник практических заданий по экологии: учеб.-метод. пособие. – М., 2013. – 31 с.
6. Экология: метод. указ. к выполн. лаб. раб. по курсу «Экология» / сост. М.В. Бебякова. – Ульяновск : УлГТУ, 2008. – 20 с.
7. Семенченко, В.П. Консументы и их роль в экосистемах: курс лекций / В.П. Семенченко. – Минск : БГУ, 2004. – 95 с.

Учебное издание

ИВАНОВСКИЙ Владимир Валентинович
МАСАЛКОВА Юлия Юрьевна

БИОТИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ

Методические рекомендации
по проведению лабораторных работ

Технический редактор

Г.В. Разбоева

Компьютерный дизайн

Е.А. Барышева

Подписано в печать 2016. Формат 60x84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 2,44. Уч.-изд. л. 2,24. Тираж экз. Заказ

Издатель и полиграфическое исполнение – учреждение образования
«Витебский государственный университет имени П.М. Машерова».

Свидетельство о государственной регистрации в качестве издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/255 от 31.03.2014 г.

Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Витебский государственный университет имени П.М. Машерова».

210038, г. Витебск, Московский проспект, 33.