

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Сибирский федеральный университет

## **ОСНОВЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ**

Учебно-методическое пособие

*Электронное издание*

Красноярск  
СФУ  
2012

УДК 576.(07)

ББК 28.0я73

О-753

Составитель: Е.А. Иванова

О-753 **Основы** биологической продуктивности: учеб.-метод. пособие [Электронный ресурс] / сост. Е.А. Иванова. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – Систем. требования: РС не ниже класса Pentium I; 128 Мб RAM; Windows 98/XP/7; Adobe Reader V8.0 и выше. – Загл. с экрана.

*В учебно-методическом пособии по курсу «Основы биологической продуктивности» рассматриваются кратко темы практических занятий, вопросы, вынесенные для подготовки студентов к занятиям и в виде докладов, литературные источники для подготовки к занятиям. В конце предлагаются контрольные вопросы для зачета.*

*Предназначено для бакалавров направления «Биология».*

УДК 576. (07)

ББК 28.0я73

© Сибирский  
федеральный  
университет, 2012

Учебное издание

Подготовлено к публикации редакционно-издательским  
отделом БИК СФУ

Подписано в свет 6.03.2012 г. Заказ 6092.  
Тиражируется на машиночитаемых носителях.

Редакционно-издательский отдел  
Библиотечно-издательского комплекса  
Сибирского федерального университета  
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79  
Тел/факс (391)206-21-49. E-mail rio@sfu-kras.ru  
<http://rio.sfu-kras.ru>

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Общие требования.....	5
Содержание и методика подготовки к практическим занятиям.....	7
Практическое занятие 1.....	7
Практическое занятие 2.....	10
Практическое занятие 3.....	12
Практическое занятие 4.....	15
Практическое занятие 5.....	19
Практическое занятие 6.....	21
Практическое занятие 7.....	22
Практическое занятие 8.....	24
Практическое занятие 9.....	29
Библиографический список.....	32

## ВВЕДЕНИЕ

Курс «Основы биологической продуктивности» предназначена для подготовки бакалавров по направлению 020200.62 – Биология (бакалавр), укрупненной группы 020000 – Естественные науки, включена в цикл дисциплин направления учебного плана в системе подготовки студентов в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования второго поколения, как дисциплина по выбору студента. Данный курс читается в 8 семестре и заканчивается зачетом.

Дисциплина «Основы биологической продуктивности» рассматривает вопросы о потоках вещества и трансформации энергии в водных и наземных экосистемах, способах оценки потоков вещества и энергии и факторов, регулирующих данные потоки. Дает системные представления об общих закономерностях структурно-функциональной организации экосистем, определяющей потоки органического вещества и энергии.

Целью курса «Основы биологической продуктивности» является формирование у студентов представления об основных закономерностях образования и трансформации энергии и органического вещества в разных типах экосистем.

Задачами изучения дисциплины является:

- рассмотреть историю развития учения о продуктивности экосистем в России и за рубежом;
  - изучить закономерности формирования первичной и вторичной продукции водных экосистем и деструкции органического вещества водных экосистем;
  - изучить закономерности формирования первичной и вторичной продукции наземных экосистем;
  - сравнить формирование потоков органического вещества и энергии в экосистемах и их зависимости от факторов среды;
  - научиться рассчитывать и экспериментально определять первичную и вторичную продукцию;
  - применять полученные знания для рационального использования водных биоресурсов и охраны окружающей среды;
- В результате изучения дисциплины студент должен знать:
- историю развития учения о продуктивности в России и за рубежом;
  - термины и основные понятия биологической продуктивности;
  - закономерности формирования первичной и вторичной продукции водных и наземных экосистем;
  - закономерности деструкционных процессов органического вещества в экосистемах;
  - формирование потоков органического вещества и энергии в экосистемах и их зависимости от факторов среды;
  - причины эвтрофирования водоемов и методы ликвидации «цветения» воды;

- прямые и косвенные методы определения первичной и вторичной продукции.

Студент должен уметь:

- проводить типизацию экосистем по показателям продуктивности;
- выявлять и решать современные научные и научно-технические проблемы в области охраны окружающей среды;
- экспериментально определять первичную и вторичную продукцию;
- применять полученные знания для рационального использования водных и наземных биоресурсов и охраны окружающей среды;
- грамотно излагать теоретический материал, а также свободно вести дискуссию по вопросам продуктивности экосистем;
- систематизировать и классифицировать новые данные по биологической продуктивности при работе с научной литературой.

В результате изучения дисциплины студент должен владеть:

- методами определения и расчета первичной и вторичной продукции;
- грамотно излагать теоретический материал;
- свободно вести дискуссию по вопросам биологической продуктивности экосистем.

## **ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

Практические (семинарские) занятия - одна из форм вузовских занятий, проводимых под руководством преподавателя. В то же время, это наиболее сложный и плодотворный вид обучения и воспитания студента. В результате предварительной работы над программным материалом, освоением методов исследования, в процессе выступлений студентов по вопросам темы, возникающей между ними дискуссии и обобщений преподавателя, решаются задачи познавательного и воспитательного характера, формируется мировоззрение, прививаются методологические и практические навыки, необходимые для становления квалифицированных специалистов.

Практические (семинарские) занятия по курсу «Основы биологической продуктивности» слагаются из двух форм проведения: во-первых, занятия по освоению методов и расчетов, во-вторых, по отдельным темам практических (семинарских) занятий студенты представляют доклады с презентациями. В результате выступления студенты учатся: логике построения выступления, четко и кратко излагать суть доклада, составлять и демонстрировать презентацию, соблюдать регламента выступления, вести дискуссию.

Подготовка к практическим (семинарам) занятиям сводится к следующему плану:

1. Выбор темы, определение задач.
2. Подготовка вопросов для обсуждения.
3. Распределение заданий и тем для сообщений.
4. Подбор основной и дополнительной литературы, интернет-ресурсов.

5. Консультации у преподавателя.
6. Определение критериев оценки выступлений.
7. Подготовка доклада и презентации

Презентации — способ представления информации, сочетающий в себе текст, гипертекстовые ссылки, компьютерную анимацию, графики, видео, музыку и звуковой ряд (но не обязательно всё вместе), которые организованы в единую среду. Презентация имеет сюжет, сценарий и структуру, организованную для удобного восприятия информации. Для подготовки презентации необходимо четко сформулировать тему доклада, узнать регламент доклада, четко сформулировать план и тезисы доклада. Написанный на бумаге текст помогает более четко и последовательно изложить материал. Презентации обычно делают в PowerPoint, в Impress, либо в Acrobat. Основные этапы подготовки презентации:

1. Презентация - это, по сути, конспект речи.
2. Презентация состоит из слайдов. Старайтесь придерживаться принципа: один слайд - одна мысль. Наиболее убедительным тот слайд на котором даётся тезис и несколько его доказательств.
3. Титульный слайд должен содержать название презентации, её автора, контактную информацию автора.
4. На втором слайде обычно представлен план презентации, основные разделы или вопросы, которые будут рассмотрены.
5. Остальные слайды, в идеале, нужно строить по модели: тезис - аргументы – вывод.
6. Выводы всегда должно быть даны ясно и лаконично на отдельном слайде.
7. Предпоследний слайд должен содержать информацию об использованных источниках литературы, интернет-ресурсах.
8. Последний слайд может повторять титульный с добавлением фразы "Спасибо за внимание!"

Перед презентацией обязательно нужно провести репетицию. На ней вы сможете понять, где могут возникнуть трудности, почувствовать реальный хронометраж презентации, а также исправить замеченные по ходу ошибки.

Практические занятия, по темам, связанные с освоением методов и решением реалисти-задач, строятся по другому принципу: студентам дается возможность освоить метод на практике и провести необходимые расчеты данных, а также решение задач. Такой комбинированный подход к освоению курса оправдан тем, что часть методов необходимо осваивать в полевых условиях, что в семестре зимнее-весенний период обучения студентов невозможно, поэтому часть методов изучается теоретически. Кроме этого, для закрепления навыков расчета по первичной и вторичной продукции экосистем необходимо решение примерных реалисти-задач.

## СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ К ПРАКТИЧЕСКИМ (СЕМИНАРСКИМ) ЗАНЯТИЯМ

На практических (семинарских) занятиях студенты рассматривают темы, которые интегрировано отражают лекционный курс и самостоятельную работу студента. Часть тем практических занятий связана с освоением метода определения первичной или вторичной продукции. К другой части практических занятий (семинаров) студенты готовят доклад с презентацией по одной из выбранных тем. Темы выдаются преподавателем заранее и согласовываются со всей группой. Во время подготовки к практическому занятию студент может получить индивидуальную консультацию у преподавателя.

Таблица 1 – Общая трудоемкость изучения дисциплины составляет 100 часов

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр
		8
Общая трудоемкость дисциплины	100	100
Аудиторные занятия:	51	51
лекции	34	34
практические занятия (ПЗ)	17	17
Самостоятельная работа:	49	49
изучение теоретического курса (ТО)	49	49
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	Зачет	Зачет

Практические занятия для студентов по курсу «Основы биологической продуктивности» включают освоение методов, подготовка докладов с презентациями по темам семинаров и решение реалити-задач.

### Практическое занятие 1

**Структура экосистемы. Трофические цепи. Пирамиды биомассы, численности и энергии. Биопродуктивность. Виды продукции (2 часа)**

*Форма занятия:* семинар.

*Цель:* Изучение структуры экосистемы и биологической продуктивности экосистем.

*Задачи:*

- изучение структурных и функциональных показателей экосистемы;
- выявление основных трофических цепей в разных типах экосистем;
- сравнение пирамид численности, биомассы и энергии в экосистеме;
- изучение видов биологической продуктивности.

*Вводные пояснения.* Солнечный свет и экосистемы связаны основной функцией: способностью накапливать энергию в органическом веществе, иначе продуктивность.

Биологическая продуктивность, экологическое и общебиологическое понятие, обозначающее новообразование биомассы растений, микроорганизмов и животных, входящих в состав экосистемы. Биологическая продуктивность включает в себя две составляющие: первичную и вторичную продукцию. Первичная продукция (ПП) в свою очередь состоит из валовой ПП, чистой ПП и эффективной ПП.

Первичная продукция (или первичная продуктивность) – это количество органического вещества, синтезированного автотрофными организмами, за определенный промежуток времени, отнесенное к единице площади или объема водоема.

Первичная продукция - результат фотосинтеза зеленых растений и хемосинтеза бактерий, и обычно выражается как количество сухого органического вещества в  $г/м^2 \cdot год$ , или как энергию в  $ккал/м^2 \cdot год$ . Для водоемов продукция может выражаться в объеме в  $г/м^3 \cdot сутки$  - для планктона,  $кг/м^2 \cdot год$  - для рыб, или  $т/га$  - общая биомасса за год. В водоемах ПП еще выражают как количество  $O_2$  или  $C$  в  $м^3$  или под  $м^2$  в единицу времени ( $мгO_2/л \cdot сут.$ ,  $гO_2/м^3 \cdot сут.$ , либо как энергию ( $ккал/м^2 \cdot час$ ).

Валовой первичной продукцией (А) называют общее количество энергии, связанное в органическом веществе растений или других автотрофов в расчете на единицу площади (или объема) за единицу времени.

Чистая первичная продукция (Р) – количество синтезированного органического вещества, или связанной в ней энергии на единицу поверхности Земли за единицу времени, которая остается за вычетом расходов на дыхание (R).

«Эффективная» первичная продукция - разница между валовой ПП и той ее частью, которая была затрачена в процессе дыхания самими продуцентами.

Таким образом, чистая первичная продукция равна:

$$P=A-R$$

Вторичная продукция – продукция гетеротрофных организмов. Вторичная продукция представляет собой биомассу, а также энергию и биогенные летучие вещества, производимые всеми консументами на единицу площади (или объема) за единицу времени.

По другому принципу биологическую продукцию делят на промежуточную и конечную. К промежуточной относят продукцию, потребляемую другими членами экосистемы, вещество которой вновь возвращается в осуществляемый в её пределах круговорот; к конечной — продукцию, в той или иной форме отчуждаемую от экосистемы, то есть, выходящую за её пределы.

*Ход занятия:* На занятие студенты делают доклады с презентациями и последующим коллегиальным обсуждением по следующим темам:

1. Структурные показатели экосистемы.
2. Функциональные показатели экосистемы.



3. Основные трофические цепи и сети в водных экосистемах.
4. Основные трофические цепи и сети в наземных экосистемах.
5. Пирамиды численности в разных экосистемах и факторы их формирующие.
6. Пирамиды биомасс в разных экосистемах и факторы их формирующие.
7. Пирамиды энергии в разных экосистемах.
8. Биологическая продукция: основные понятия.
9. Первичные продуценты в экосистемах.
10. Первичная продукция и ее виды.
11. Вторичная продукция и вторичные продуценты в водных и наземных экосистемах.
12. Отличие формирование биологической продуктивности в водных экосистемах от наземных.

*Литература для подготовки к занятию*

1. Колмаков В.И. Гидробиология: избранные главы/ В.И. Колмаков. Красноярск: Краснояр гос.ун-т, 2006. – 90 с.
2. Фотосинтез и биопродуктивность: методы определения/ под ред. А.Т. Мокроносова. – М.: ВО Агропромиздат, 1989. – 460 с.
3. Шитиков, В.К. Количественная экология: методы системной идентификации // В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко.– Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
4. Алимов, А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию / А.Ф. Алимов.– Л.: Гидрометеиздат, 1989.– 152 с.
5. Гиляров, А.М. Сто двадцать пять лет “Экологии” Эрнста Геккеля / А.М. Гиляров // Журн. общей биол., 1992.– Т.53.– № 1. С.5-17.
6. Определение продукции популяций водных сообществ: Учебно-методическое пособие. /под ред Алимов А.Ф., Гольд З.Г. – Новосибирск: Наука, 2000.– 63 с.
7. Уиттекер, Р. Сообщества и экосистемы/Р. Уиттекер. – М.: Прогресс, 1980. – 326 с.

*Вопросы для самоконтроля*

1. Что такое экосистема?
2. Что входит в структуру экосистемы?
3. Какие типы трофических цепей вы знаете?
4. Чем отличаются пирамиды численности и биомассы?
5. В чем заключается смысл экологического закона Линдемманна?
6. Что такое биологическая продуктивность?
7. Какие виды биологической продуктивности вам известны?
8. Какие виды первичной продукции вы знаете?
9. Что такое промежуточная продукция?
10. В каких единицах измеряется продукция?

## Практическое занятие 2

**Методы определения первичной продукции. Метод темных и светлых склянок и флуоресцентные методы. Расчетные способы определения первичной продукции фитопланктона. Решение «реалити-задачи» по определению типа «модельного» водоема на основе сравнения данных по первичной продукции (2 часа)**

*Форма занятия:* практическое занятие.

*Цель:* изучение методов определения первичной продукции и приобретение навыков в расчетах первичной продукции фитопланктона.

*Задачи:*

- овладение определения первичной продукции фитопланктона методом светлых и темных склянок;
- знакомство с определением первичной продукции фитопланктона флуоресцентными методами (РАМ и ингибиторный метод):
- овладение расчетов первичной продукции фитопланктона
- решение «реалити-задач» по определению типа «модельного» водоема на основе сравнения данных по первичной продукции.

*Вводные пояснения.* Для определения первичной продукции фитопланктона используют ряд методов, имеющие разные подходы: скляночный метод в кислородной модификации и флуоресцентные методы.

Самый старый метод определения ПП «скляночный» метод в кислородной модификации. Его суть состоит в том, что измеряется концентрация кислорода в воде, которую помещают в светлые и темные (затененные) склянки, затем их экспонируют в водоеме от 6 до 24 часов. В светлых склянках под действием солнечного света водоросли фотосинтезируют и образуют органическое вещество, побочным продуктом является кислород, который растворяется в воде. В темных склянках, без доступа света, идет процесс дыхания гидробионтов, поэтому объем начального кислорода уменьшается за время экспозиции.

Метод РАМ (pulse amplitude modulation), и ее современная модификация FRR (fast repetition rate) основаны на получении индукционных переходов флуоресценции за счет воздействия импульсов света разной интенсивности и длительности от искусственных источников.

Метод “натуральной”, “пассивной” или “солнечно-индуцированной” (passive, sun-induced) флуоресценции, заключается в регистрации флуоресценции, возбуждаемой естественным солнечным излучением, и существовании тесной связи между мгновенной скоростью флуоресценции и скоростью фотосинтеза.

Метод ингибиторной флуоресценции, предполагает получение индукционного перехода от стационарного к максимальному уровню флуоресценции за счет действия ингибиторов электронного транспорта диуроновой группы.

*Ход занятия.* 1. Для определения ПП фитопланктона скляночным методом проводится практическая работа. Описание методики проведения эксперимента дано в учебно-методическом пособии (Определение продукции популя-

ций водных сообществ /отв. Ред. А.Ф. Алимов, З.Г. Гольд. - Новосибирск: Наука, 2000. – 62 с.) на страницах 8-12. Провести соответствующие расчеты.

2. Для определения ПП фитопланктона методом РАМ и методом ингибиторной диагностики студенты проводят эксперименты с использованием учебного пособия (Современные аппаратура и методы исследования биологических систем / ред. Э.Дж. Сински, Т.Г. Волова. – Красноярск: СФУ-ИБФ, 2011. – 480 с.), где данная работа представлена на страницах 342-346. Провести соответствующие расчеты.

3. Пример реалити-задачи по расчету первичной продукции скляночным методом в кислородной модификации.

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

Таблица 1 – Количество кислорода ( $\text{г O}_2 / \text{м}^3$ ) в светлых, темных и исходных склянках на разных горизонтах

Горизонт	Вариант склянок	Повторности		
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

Определите валовую продукцию ( $A$ ,  $\text{г O}_2 / \text{м}^3$ ) по всем горизонтам и повторностям по формуле:

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

Далее определите деструкцию органического вещества ( $R$ ,  $\text{г O}_2 / \text{м}^3$ ) планктоном по формуле:

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

Затем нужно рассчитать чистую первичную продукцию ( $P$ ,  $\text{г O}_2 / \text{м}^3$ ) по формуле:

$$P = A - R$$

Далее нужно рассчитать чистую первичную продукцию как среднюю по горизонтам, а затем рассчитать чистую первичную продукцию по станции с помощью метода численного интегрирования (метода трапеций). Сравните полученные результаты и сделайте вывод.

### *Литература для подготовки к занятию*

1. Определение продукции популяций водных сообществ /отв. Ред. А.Ф. Алимов, З.Г. Гольд. - Новосибирск: Наука, 2000. – 62 с.
2. Современная аппаратура и методы исследования биологических систем / ред. Э.Дж. Сински, Т.Г. Волова. – Красноярск: СФУ-ИБФ, 2011. – 480 с.
3. Колмаков В.И. Гидробиология: избранные главы/ В.И. Колмаков. Красноярск: Красноярск гос.ун-т, 2006. – 90 с.
4. Шитиков, В.К. Количественная экология: методы системной идентификации // В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко.– Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
5. Алимов, А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию / А.Ф. Алимов.– Л.: Гидрометеиздат, 1989.– 152 с.
6. Гольд В.М. Теоретические основы и методы изучения флуоресценции хлорофилла / В.М. Гольд, Н.А. Гаевский, Ю.С. Григорьев, А.В. Гехман, В.А. Попельницкий. – Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та. 1984.- 84 с.
7. Гольд В.М. Определение фотосинтеза фитопланктона флуоресцентным методом/ В.М. Гольд, В.А. Попельницкий // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов. С.-Пб.: Гидрометеиздат, 1993. – С.25-30.
8. Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов / Под ред. И.Л. Пыриной.– Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1993. – 167 с.

### *Вопросы для самоконтроля*

1. Как определить первичную продукцию фитопланктона скляночным методом в кислородной модификации?
2. На чем основаны флуоресцентные методы определения первичной продукции фитопланктона?
3. В чем состоит различие метода ингибиторной флуоресценции и метода РАМ?
4. Как рассчитать чистую первичную продукцию фитопланктона?
5. Что такое деструкция органического вещества планктоном в водоеме?

## **Практическое занятие 3**

### **Определение вторичной продукции бактериопланктона и простейших, ее расчет (2 часа)**

*Форма занятия:* практическое занятие.

*Цель:* изучение методов определения продукции бактериопланктона и простейших, приобретение навыков в расчетах продукции микробов.

*Задачи:*

- изучение методов определения продукции бактериопланктона;
- овладение расчетом продукции бактериопланктона.

*Вводные пояснения.* Бактерии в водных экосистемах являются редуцентами и, синтезируя биомассу, выступают как первичное звено трофической цепи. Для расчета продукции популяции этих организмов используют скорость их размножения, поскольку они размножаются простым делением, поэтому необходимо уметь рассчитать время удвоения численности их клеток.

Интенсивность размножения бактерий планктона определяют с помощью «прямого» метода, разработанного М.В. Ивановым и основанного на учете изменений численности (биомассы) бактерий за определенный отрезок времени в двух изолированных пробах воды.

Время удвоения численности бактерий (скорость генерации, g):

$$g = t \ln 2 / (\ln N_1 - \ln N_0),$$

где g – время удвоения численности бактерий (ч), t – продолжительность экспонирования (ч),  $\ln N_1$  – конечная численность бактерий,  $\ln N_0$  – начальная численность бактерий ( $10^6$  кл/мл)

Биомасса бактерий (мг/л):

$$B = NV,$$

где N – численность бактерий ( $10^6$  кл/мл), V – средний объем бактериальных клеток ( $\text{мкм}^3$ )

Константа роста:

$$k = \ln 2 / g = 0.693 / g \text{ (ч}^{-1}\text{) или } 16,63 / g \text{ (сут}^{-1}\text{)}$$

Способ расчета продукции бактерий (P, г/м<sup>3</sup> сут.) по скорости размножения, разработанный Д.З. Гак осуществляется по следующей формуле:

$$P = B_{\text{ср}} \cdot kt,$$

где  $B_{\text{ср}}$  - средняя биомасса  $((B_1 - B_0) / 2)$ , k – константа роста, t – продолжительность экспозиции.

Продукция простейших рассчитана на основе продукция популяций инфузории (P, г/м<sup>3</sup> сут.):

$$P = C_w \cdot N_{\text{ср}} \cdot W_{\text{ср}},$$

где  $N_{\text{ср}}$  – средняя численность популяции,  $W_{\text{ср}}$  – средняя масса особи в популяции,  $C_w$  – удельная скорость размножения или константа роста:

$$C_w = k = \ln 2 / g$$

отсюда

$$P = 1 / (g \cdot \ln 2 \cdot N_{\text{ср}} \cdot W_{\text{ср}}).$$

Расчет потребления кислорода бактериями важный показатель, для того чтобы определить деструкцию органического вещества планктоном.

1. Кислородно-скляночным методом в начале и в конце экспозиции (24 часа) пробы определяют содержания кислорода, потребляемое бактериопланктоном в фильтрованной (освобожденной от фитопланктона) воде и рассчитывают потребление кислорода на клетку (Q) за единицу времени (сут) по формуле:

$$Q = [(K_{исх} - K_{кон} \cdot 24)/j]/[(N_1 + N_2)/2], \text{ мгО}_2/(\text{кл.сут}),$$

где  $K_{исх}$ , мгО<sub>2</sub>/мл – содержание кислорода в начале экспозиции,  $K_{кон}$ , мгО<sub>2</sub>/мл – содержание кислорода в конце экспозиции,  $N_1$  – общая численность бактерий в начале эксперимента, кл/мл,  $N_2$  – общая численность бактерий в конце опыта, кл/мл,  $j$  – время экспонирования.

2. Данные о потреблении кислорода бактериальными клетками позволяют рассчитать величину деструкции ОВ бактериопланктоном:

$$R = Q \cdot N \cdot 3,38 \text{ кал}/(\text{м}^3 \text{сут}),$$

где  $R$  – деструкция органического вещества, кал/(м<sup>3</sup>сут);  $Q$  – скорость потребления кислорода бактериальной клеткой мгО<sub>2</sub>/(кл.сут);  $N$  – численность бактерий в профильтрованной пробе воды кл/м<sup>3</sup>; 3,38 кал/мг О<sub>2</sub> – оксикалорийный коэффициент.

*Ход занятия.* Используя, выше изложенные формулы решить следующую задачу. В модельном озере Круглое нужно рассчитать продукцию бактериопланктона и деструкцию органического вещества, если известно, что склянки с водой из водоема экспонировали 24 часа на трех горизонтах: поверхность, прозрачность (3 м), придонный (5 м). Содержание кислорода, численность бактерий и их средний объем клетки даны в табл. 2.

Таблица 2 – Численность бактерий, средний объем бактериальной клетки и содержание кислорода на станции озера Круглое

Горизонт	Численность бактерий, кл/мл			Средний объем клетки, мкм <sup>3</sup>	Содержание кислорода	
	В природной воде (N)	В начале эксперимента (n <sub>1</sub> )	В конце эксперимента (n <sub>2</sub> )		В начале эксперимента (K <sub>исх</sub> )	В конце эксперимента (K <sub>кон</sub> )
Поверхность	1020000	900500	1250000	0,71	8,9	8,0
Прозрачность	1735000	1300000	1800000	0,70	9,1	8,3
Дно	2110000	1920000	2300000	0,72	7,9	7,0

Расчеты записать в тетрадь, сделать вывод.

#### *Литература для подготовки к занятию*

1. Алимов, А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию / А.Ф. Алимов. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 152 с.
2. Алимов, А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем / А.Ф. Алимов. – Санкт-Петербург: Наука, 2001. – 147 с.
3. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Задачи и методы изучения использования кормовой базы рыбой. – Л., 1984в. – 19 с.

4. Определение продукции популяций водных сообществ: Учебно-методическое пособие /под ред. А.Ф. Алимов, З.Г. Гольд – Новосибирск: Наука, 2000.– 63 с.

*Вопросы для самоконтроля.*

1. Какие параметры необходимы для расчета продукции бактериопланктона?
2. Какой метод используется для расчета бактериопланктона и простейших?
3. Что такое время скорость генерации бактерий?
4. Как рассчитать константу роста?
5. Что такое бактериопланктон?

#### **Практическое занятие 4**

##### **Методы определения продукции водных животных на примере зоопланктона, зообентоса (2 часа)**

*Форма занятия:* семинар.

*Цель:* изучение методов определения продукции водных животных на примере зоопланктона, зообентоса.

*Задачи:*

- изучение методов определения продукции водных животных на примере зоопланктона;
- изучение методов определения продукции водных животных на примере зообентоса;
- освоение расчетов по вторичной продукции водных животных.

*Вводные пояснения.* Определение продукции планктонных ракообразных по скорости прироста биомассы. Определение продукции популяции ракообразных (P) заключается в нахождении величины продукции за счет увеличения массы тела рачков, т.е. скорости соматического роста (P<sub>s</sub>) и продукции за счет генеративного роста (P<sub>q</sub>):

$$P = P_s + P_q$$

Для определения скорости соматического роста рачков необходимо знать численность размерно-возрастных групп (N<sub>i</sub>) и суточный прирост массы тела особи (W<sub>i</sub>) :

$$P_{si} = \sum \Delta W_i N_i$$

Который рассчитывается по формуле:

$$W = ql^b$$

где W - масса сырого вещества, мг; l- длина тела , мм; q- масса при длине равной 1 мм; b - показатель степени

Средняя продукция за счет генеративного роста (P<sub>q</sub>) (воспроизведение партеногенетической самки) включает данные численности половозрелых самок (N<sub>♀</sub>), массы яйца (W<sub>qi</sub>), количества яиц в помете (F<sub>qi</sub>), продолжительность

развития яиц в выводковой камере ( $D_{qi}$ ) в пределах каждой размерно-возрастной группы:

$$P_{qi} = (W_{qi} F_{qi} N_{\varphi}) / D_{qi}$$

Соответственно средняя продуктивность равна:

$$P_q = \sum P_{qi}$$

Масса яйца определяется по его объему (по формуле шара  $\frac{4}{3}\pi D^3/6$ ) и удельному весу, равной единице (1 мг/мм<sup>3</sup> или 1 г/см<sup>3</sup>).

Расчет продукции донных животных по размерно – возрастной структуре популяций. Продукция популяции за определенное время представляет собой сумму приростов массы тела всех особей, включая не доживших до конца рассмотренного периода. Расчет продукции как суммы приростов особей требует знаний размерно-возрастного состава популяций, величин приростов размеров или массы тела особей каждой размерно-возрастной группы.

Рост и скорость роста организмов зообентоса могут быть достоверно определены в результате анализа динамики численности размерно-возрастного состава популяций по эмпирическим данным и показаны в виде кривой зависимости абсолютного прироста от возраста и кривой численности отдельных возрастов. Эти кривые помогут определить продукцию предполагаемым методом.

Скорость продуцирования отдельной возрастной группы за счет соматического роста ( $P_{si}$ ) в любой момент времени представляет собой произведение прироста массы тела особи данной возрастной группы на среднюю численность животных этой группы

$$P_{si} = \sum \Delta W_i N_i$$

где средний прирост массы тела за время ( $t_2 - t_1$ ) равен:

$$\Delta W_i = (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)$$

В состав популяции входят особи разного возраста с различной скоростью роста, которая закономерно изменяется с возрастом. Относительный удельный прирост ( $C_w$ ) обычно снижается от начальных стадий к последующим. Скорость продуцирования всей популяции ( $P'_{sj}$ ) определяется суммирование скорости продуцирования за счет соматического роста отдельных возрастных групп ( $P_{sj}$ )

$$P'_{sj} = \sum_{n-1}^n \cdot P_{si}$$

Продукция за длительный период (месяц, сезон, год) может быть рассчитана как интеграл временной функции:

$$P = \int_{t_1}^{t_n} \cdot P'_{si} (dt)t$$

где  $P'_{sj}$  - продукция за сутки.

На графике эта величина пропорциональна площади, ограниченной осью абсцисс, на которой отмечено время, и кривой зависимости от времени скорости продуцирования популяции. Для нахождения этой площади ее рассматривают как сумму площадей трапеций:



$$P = (P'_1 + P'_2) (t_2 - t_1)/2 + (P'_2 + P'_3) (t_3 - t_2)/2 + \dots + (P'_n + P'_{n-1}) (t_{n-1} - t_n)/2$$

или прямоугольников

$$P = (P'_1 T_1)/2 + (P'_2 T_2)/2 + \dots + (P'_n T_n)/2$$

где T – отрезок времени, на котором скорость продуцирования может быть одинаковой.

Расчет продукции популяций водных животных физиологическим методом. Физиологический метод дает приближенные, ориентировочные величины продукции водных животных, если отсутствуют данные о скорости роста животных отдельных возрастов, составляющих популяцию. Расчет продукции этим методом возможен, когда известно (Алимов, 1989): траты на обмен у животных (R), соотношение трат (R) с продукцией (P), передаваемое коэффициентом эффективности использования ассимилированной энергии пищи (A = P+R) на рост (K<sub>2</sub>):

$$K_2 = P/A = P/(P+R)$$

$$R = (2.879 \pm 0.046) P, \text{ ккал/м}^2$$

Траты на обмен (R) могут быть полечены, если известна зависимость энергетического обмена (обычно понимаемого как скорость потребления кислорода животными в процессе дыхания (Q)) от массы тела (W<sub>i</sub>)

$$Q = a W_i^b \text{ мг O}_2/\text{ч, или млO}_2/\text{ч}$$

где a – коэффициент, равный скорости обмена у животных весом в 1г, b – степенной коэффициент, чаще колеблется в пределах 0,6-0,9, W<sub>i</sub> – масса тела, г.

Чтобы узнать траты на обмен, нужно Q умножить на оксикалорийный коэффициент (K<sub>c</sub>) (K<sub>c</sub>- отношение количества энергии, выделяющейся при окислении органических веществ к количеству потребленного кислорода). У водных животных величина оксикалорийного коэффициента колеблется в пределах 3,28 – 3,53 кал/мг O<sub>2</sub>. В расчетах используют средние величины.

$$K_c = 3,38 \text{ кал/мгO}_2 \text{ (14,23 Дж/мгO}_2)$$

или

$$K_c = 4,86 \text{ кал/мгO}_2 \text{ (20,33 Дж/мгO}_2)$$

$$R = QK_c = a W_i^b K_c/q$$

$$q = 2.25^{0.1(20-t)}$$

t – реальная температура водоема.

Таким образом, зная величины по формулам можно рассчитать продукцию особи определенной массы (возраста):

$$P = R K_2 / (1 - K_2)$$

При определении «реальной» или «чистой» продукции сообщества водных животных следует сгруппировать виды в соответствии с их принадлежностью к трофическим уровням: первичные консументы – мирные животные, вторичные консументы – хищные животные. В группе хищных животных выделяются облигатные и факультативные хищники. Часть продукции нехищных животных потребляется внутри биоценоза входящими в него хищниками. То-

гда суммарную реальную продукцию сообщества ( $P_c$ ) рассчитывают из равенства:

$$P_c = P_m + P_x - C_x$$

$P_m$  – продукция мирных, нехищных животных;  $P_x$  – продукция хищных;  $C_x$  – рацион хищных животных с учетом облигатных ( $C_{x0}$ ) и факультативных ( $C_{xf}$ ) хищников:

$$C_x = C_{x0} + 0,5 \cdot C_{xf}$$

Учитывая соотношение рациона (усвоенной энергии пищи  $C$ ), ассимилированной энергии пищи  $A$  ( $A=P+R$ ) и усвояемости пищи  $U$  (у хищных  $U_x = 0,8$ ; у нехищных  $U_m = 0,6$ ; олигохет-детритофагов  $U_o = 0,5$ ), рассчитывают величину рациона нехищных ( $C_m$ ) и хищных ( $C_x$ ) животных:

$$C_m = A_m / U_m = (P_m + R_m) / U_m = (P_m + R_m) / 0,6 = (P_m + R_m) \cdot 1,66$$

$$C_{mol} = (P_{mol} + R_{mol}) / 0,5 = (P_{mol} + R_{mol}) \cdot 2,00$$

$$C_x = A_x / U_x = (P_x + R_x) / U_x = (P_x + R_x) / 0,8 = (P_x + R_x) \cdot 1,25$$

Согласно равенствам:

$$P_i = R_i \cdot K_2 / (1 - K_2) \quad \text{и} \quad P_c = P_m + P_x - C_x$$

суммарная реальная продукция сообщества животных определяется:

$$P_c = P_m + P_x - (C_{x0} + 0,5 C_{xf})$$

$$P_c = P_m + P_x - A_x = P_m - R_x$$

То есть достаточно знать продукцию мирных животных и траты на обмен у хищников.

*Ход занятия.* I. Доклады студентов с презентацией на темы:

1. Определение продукции планктонных ракообразных по скорости прироста биомассы.
2. Расчет продукции донных животных по размерно – возрастной структуре популяций.
3. Расчет продукции популяций водных животных физиологическим методом.

II. Расчет продукции планктонных ракообразных по скорости прироста биомассы студенты осуществляют используя учебно-методическое пособие (Определение продукции популяций водных сообществ: Учебно-методическое пособие /под ред. А.Ф. Алимов, З.Г. Гольд – Новосибирск: Наука, 2000.– 63 с.) на страницах 29-34. Расчет продукции донных животных по размерно-возрастной структуре популяций студенты делают, используя то же учебно-методическое пособие на страницах 35- 40. Там же на страницах 41-50 даны расчеты продукции популяции водных животных физиологическим методом.

*Литература для подготовки к занятию*

1. Шитиков, В.К. Количественная экология: методы системной идентификации // В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко.– Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.

2. Алимов, А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию / А.Ф. Алимов.– Л.: Гидрометеиздат, 1989.– 152 с.

3. Алимов, А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем / А.Ф. Алимов. – Санкт-Петербург: Наука, 2001.– 147 с.

4. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Задачи и методы изучения использования кормовой базы рыбой.- Л., 1984в. - 19 с.

5. Мина М.В., Клевезаль Г.А. Рост животных. М.: Наука, 1976.- 291 с.

6. Определение продукции популяций водных сообществ: Учебно-методическое пособие. /под ред Алимов А.Ф., Гольд З.Г. – Новосибирск: Наука, 2000.– 63 с.

*Вопросы для самоконтроля*

1. Что такое соматическая продукция?
2. Что такое генеративная продукция?
3. Как рассчитывается общая продукция популяции рачков?
4. Что такое размерно-возрастная структура популяции?
5. Что понимается под физиологическим методом расчета продукции популяции водных животных?
6. Что включает понятие траты на обмен у животных?
7. Что такое ассимилированная энергия пищи?

## **Практическое занятие 5**

**Методы определения продукции рыб. Решение «реальности-задачи» по сравнению продукции разных трофических звеньев модельного водоема (2 часа)**

*Форма занятия:* семинар.

*Цель:* изучение методов определения продукции рыб и приобретение навыков в расчетах рыбопродуктивности.

*Задачи:*

- знакомство с методами определения продукции рыб;
- овладение расчетов по определению продукции рыб.

*Вводные пояснения.* Рыбопродуктивность – это свойство производить (продуцировать) за некоторое время, например, год, определенное количество органического веществ в виде продукции рыб.

Вылов рыб составляет обычно определенную часть интегральной продукции рыб и их запаса в водоеме. Отождествление прироста ихтиомассы выживших за год рыб и продукции рыб означает, что продукция рыб недооценена на величину неучтенного прироста элиминированных рыб. Продукция популяции рыб, как и беспозвоночных, представляет собой сумму продукций рыб отдельных возрастов. Трудность оценки продуктивности рыб заключается в трудности определения численности рыб конкретных возрастов. В большинстве

случаев прибегают к реконструкции численности молодежи, моделируя процессы смертности. Предложена формула:

$$N_t = N_0 e^{P_n(t)},$$

где  $N_0$  – начальная численность генерации,  $N_t$  – численность ко времени  $t$ ,  $P_n(t)$  – полином 1-3 степени.

Построив теоретические линии регрессии средней многолетней численности различных возрастных групп от их возраста, можно вычислить значения годовых коэффициентов смертности для каждого возраста ( $J_t$ ):

$$J_t = 1 - N_{t+1}/N_t$$

Данные о скорости роста массы рыб, служащие для построения кривой роста, могут быть непосредственно получены из рутинного биологического анализа рыб в уловах. Зная численность рыб отдельных возрастов и их средний прирост можно рассчитать продукцию рыб по формуле:

$$P_{t,t+1} = \Delta W_{t,t+1} N_t [J_t / -\ln(1-J_t)],$$

где  $P_{t,t+1}$  – продукция рыб в возрасте от  $t$  до  $t+1$ ,  $\Delta W_{t,t+1}$  – средний прирост массы одной особи за время от  $t$  до  $t+1$ ,  $J_t$  – коэффициент смертности рыб за время от  $t$  до  $t+1$ .

*Ход занятия.* Используя учебно-методическое пособие (Определение продукции популяций водных сообществ: Учебно-методическое пособие /под ред. А.Ф. Алимов, З.Г. Гольд – Новосибирск: Наука, 2000.– 63 с.) и формулы на страницах 41-61, студенты рассчитывают продукцию рыб.

#### *Литература для подготовки к занятию*

1. Шитиков, В.К. Количественная экология: методы системной идентификации // В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко.– Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.

2. Алимов, А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию / А.Ф. Алимов.– Л.: Гидрометеиздат, 1989.– 152 с.

3. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Задачи и методы изучения использования кормовой базы рыбой.- Л., 1984в. - 19 с.

4. Определение продукции популяций водных сообществ: Учебно-методическое пособие. /под ред. Алимов А.Ф., Гольд З.Г. – Новосибирск: Наука, 2000.– 63 с.

#### *Вопросы для самоконтроля.*

1. Как проводить расчет продукции рыб по методу Г.П. Руденко?
2. Как проводится расчет рыбопродуктивности по величинам рациона рыб?
3. Как проводится расчет рыбопродуктивности по продукции кормовых организмов?

## Практическое занятие 6

### Методы учета фитомассы подземной и наземной древесной, кустарниковой и травянистой растительности, лесной подстилки, лишайников, почвенных водорослей (2 часа)

*Форма занятия:* семинар.

*Цель:* изучение методов определения первичной продукции в наземных экосистемах.

*Задачи:*

- знакомство с методами определения первичной продукции наземных экосистем методом учета фитомассы подземной и наземной древесной, кустарниковой растительности (метод модельного дерева)

- знакомство с методами определения первичной продукции наземных экосистем методом учета фитомассы травянистой растительности (метод монолитов);

- изучение метода учета лесной подстилки;

- изучение метода учета лишайников и почвенных водорослей.

*Вводные пояснения.* Первичная продукция в наземных экосистемах зависит от:

- интенсивности фотосинтеза растениями и продолжительности его периода;

- фотосинтезирующей поверхности фитоценозов и древостоев, выражаемой индексом листовой поверхности;

- характером расположения листвы в толще полога;

- от количества поступающей фотосинтетической радиации;

- условий увлажнения и минерального питания.

Существуют методы учета фитомассы растительности с изъятием из природы и методы учета фитомассы растительности без повреждения самих растений.

*Ход занятия.* Студенты готовят доклады с презентациями по следующим темам:

1. Метод «модельного дерева».

2. Метод учета опада растительности.

3. Учет травянистой биомассы методом укосов.

4. Учет подземной биомассы, методом почвенных монолитов и рытье траншей лопатами.

5. Оценка первичной продукции по размерам стеблей и листьев.

6. Дистанционные методы определения первичной продукции по спектральным характеристикам хлорофилла.

*Литература для подготовки к занятию.*

1. Фотосинтез и биопродуктивность: методы определения/ под ред. А.Т. Мокроносова. – М.: ВО Агропромиздат, 1989. – 460 с.

2. Гаевский Н.А. Флуоресцентные методы в анализе экологического стресса растений / Экологическая биофизика. Под ред. И.И. Гительзона, Н.С. Печуркина. Т. 1. Фотобиофизика экосистем. М.: Логос. – 2002.- С. 238-283.

3. Уиттекер, Р. Сообщества и экосистемы / Р. Уиттекер. – М.: Прогресс, 1980. – 326 с.

*Вопросы для самоконтроля.*

1. Как определяется первичная продукция методом «модельного дерева»?

2. Как определяется первичная продукция травянистой растительности?

3. Что такое метод укусов?

4. Что такое метод «монолитов»?

5. Как учесть подземную фитомассу ?

6. На каком принципе основаны дистанционные методы определения продуктивности экосистем?

## **Практическое занятие 7**

### **Методы учета насекомых, птиц и наземных животных (2 часа)**

*Форма занятия:* семинар.

*Цель:* изучение методов учета численности и биомассы наземных животных и птиц

*Задачи:*

- знакомство с методом учета численности и биомассы насекомых;
- знакомство с методами учета птиц в наземных и водных экосистемах;
- знакомство с методами учета животных в наземных экосистемах

*Вводные пояснения.* Учёт численности животных - это определение количества особей, населяющих какую-либо территорию (акваторию). Методики учёта животных разных групп различны: численность мелких планктонных и почвенных животных устанавливается во взятых специальными приборами определённых объёмах воды или грунта; численность летающих насекомых, рыб, мелких грызунов – по числу особей, пойманных на единицу орудий лова в определённое время; численность птиц, пресмыкающихся и млекопитающих – по числу встреченных особей, количеству гнёзд и нор на определённой площади; многих млекопитающих зимой – по числу пересеченных следов и т.п.

Количественный учет, или учет численности животных, служит одним из методических приемов изучения их популяционной экологии. На результатах количественного учета базируется изучение экосистем и популяций отдельных видов в биогеоценозе. Количественный учет позволяет охарактеризовать следующие моменты:

1) количественное соотношение видов животных, населяющих отдельные биотопы, уголья или всю изучаемую территорию в целом;

2) структуру зооценозов, выделив из них группы доминирующих, обычных и редких форм;

3) относительное обилие (численность) особей каждого вида в различных участках и биотопах изучаемой территории;

4) изменение численности животных во времени - сезонное или многолетнее;

5) число особей, обитающих на единице площади в момент учета.

Методы учета численности разделяются на две большие группы: относительные и абсолютные.

Относительные методы учета дают представление об относительном обилии (численности) зверей: больше или меньше их особей обитает в различных биотопах; в каком направлении меняется численность на данном участке по сезонам и годам. Данные такого учета лишь в некоторой степени отражают истинное состояние численности животных. Единицей учета служит число мелких млекопитающих относительно отлова.

Абсолютный учет дает возможность определить численность зверьков на единицу площади и, следовательно, ответить на все вопросы, поставленные перед учетными работами. Существующие способы абсолютного учета в большинстве громоздки и весьма трудоемки. Поэтому, несмотря на значительно большие объективность и точность абсолютного учета, для решения ряда задач удобнее пользоваться относительным учетом.

*Ход занятия.* Студенты делают доклады с презентацией по следующим темам:

1. Методы учета численности и биомассы наземных насекомых
2. Методики исследования птиц: визуально-оптические (дневные) и акустико-оптические (ночные) наблюдения;
3. Методики исследования птиц: отлов птиц и прижизненный анализ; коллектирование модельных видов;
4. Методики исследования птиц: автомобильные (лодочные) и пешие маршрутные учеты; подсчет птиц в местах концентрации; регистрация транзитнолетающих стай птиц.
5. Маршрутный учет по следам мигрирующих животных.
6. Визуальный стационарный учет мигрирующих копытных.
7. Картирование индивидуальных или групповых участков обитания.
8. Учет диких копытных животных с применением авиации

*Литература для подготовки к занятию.*

1. Савченко А.П. Опыт комплексного применения различных методов учета животных пермеантов на юге Средней Сибири/ А.П. Савченко // Вестник КрасГУ. Естественные науки. – 2005.- №5. – С.6-14.

2. Мина М.В., Клевезаль Г.А. Рост животных. М.: Наука, 1976.- 291 с.

3. Савченко А.П. Антропогенные потери ресурсов животных и их оценка /А.П. Савченко, Г.А. Соколов, М.Н. Смирнов, В.В. Лаптенко, А.В. Бриллиантов. – Красноярск: Краснояр.гос.ун-т, 1996. – 59 с.

4. Уиттекер, Р. Сообщества и экосистемы / Р. Уиттекер. – М.: Прогресс, 1980. – 326 с.

*Вопросы для самоконтроля.*

1. Что такое вторичная продукция экосистем?
2. Какие проблемы выделяют при расчете вторичной продукции наземных экосистем?
3. В чем заключается смысл метода «укоса» для насекомых?
4. В чем заключается смысл визуально-оптических и акустико-оптических наблюдений за птицами?
5. Какими методами можно учитывать мигрирующих животных?

## **Практическое занятие 8**

### **Типы экосистем**

#### **Продукция основных биомов Земли (2 часа)**

*Форма занятия:* семинар.

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

*Задачи:*

- изучить продуктивность основных биомов суши и океана;
- провести сравнительный анализ биомов Земли.

*Вводные пояснения.* 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 10-12% энергии фотосинтетически активной радиации (ФАР) – около половины от теоретически возможного. В целом же по земному шару усвоение растениями солнечной энергии не превышает 0,1%. Средний коэффициент использования энергии ФАР для всей территории России 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 пи-



тание людей, остальное – на корм домашним животным, используется в промышленности и теряется в отбросах. Всего человек потребляет 0,2% первичной продукции Земли.

Изучение потоков энергии имеет важное значение для расчетов общей биопродуктивности экосистем, включая оценку (прогноз) хозяйственно возможной продуктивности.

*Ход занятия.* I. На занятии студенты делают краткие доклады с презентацией по продуктивности основных типов экосистем по следующим темам:

1. Тундра: арктическая и альпийская;
2. Бореальные хвойные леса;
3. Листопадный лес умеренной зоны;
4. Степь умеренной зоны;
5. Тропические злаковники и саванна;
6. Чапарраль (районы с дождливой зимой и засушливым летом);
7. Пустыня: травянистая и кустарниковая;
8. Полувечнозеленый тропический лес (районы с выраженными влажным и сухим сезонами);
9. Вечнозеленый тропический дождевой лес
10. Лентические (стоячие воды): озера, пруды, водохранилища и др.;
11. Лотические (текучие воды): реки, ручьи, родники и др.;
12. Заболоченные угодья: болота, болотистые леса, марши (приморские луга).
13. Открытый океан (пелагическая экосистема), глубоководные рифтовые зоны
14. Воды континентального шельфа (прибрежные воды), районы апвеллинга (плодородные районы с продуктивным рыболовством), эстуарии (прибрежные бухты, проливы, устья рек, лиманы, соленые марши и др.);

II. Используя табл. 3 и 4, студенты решают задачи 1 и 2.

Задание 1. Используя данные таблицы 3, определите 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. Объясните причину различия показателей биомассы и продуктивности экосистем Мирового океана и континентов.

Таблица 3 - Чистая первичная продукция и растительная биомасса Земли (Уиттекер, 1980)

Тип экосистемы	Площадь, $10^6 \text{ км}^2$	ЧПП, $\text{г/м}^2 \cdot \text{год}$	Мировая ЧПП, $10^9 \text{ т/год}$	Биомасса, $\text{кг/м}^2$	Глобальная биомасса, $10^9 \text{ т}$
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	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	773	115	12,3	1837
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 рифы	0,6	2500	1,6	2	1,2
Речные дельты	1,4	1500	2,1	1	1,4
Мировой океан	361	152	55,0	0,01	3,9
Всего	510	333	170	3,6	1841

Задание 2. В табл. 4. приведены показатели, характеризующие продуктивность основных биомов Земли. Используя эти данные, а также привлекая данные из табл. 3, оцените:

1) эффективность формирования чистой первичной продукции ( $\text{г/м}^2$  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 (%).

#### *Литература для подготовки к занятию*

1. Фотосинтез и биопродуктивность: методы определения/ под ред. А.Т. Мокроносова. – М.: ВО Агропромиздат, 1989. – 460 с.

2. Шитиков, В.К. Количественная экология: методы системной идентификации // В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко.– Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.

3. Алимов, А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию / А.Ф. Алимов.– Л.: Гидрометеиздат, 1989.– 152 с.

4. Савченко А.П. Антропогенные потери ресурсов животных и их оценка /А.П. Савченко, Г.А. Соколов, М.Н. Смирнов, В.В. Лаптенко, А.В. Бриллиантов. – Красноярск: Краснояр.гос.ун-т, 1996. – 59 с.

5. Уиттекер, Р. Сообщества и экосистемы / Р. Уиттекер. – М.: Прогресс, 1980. – 326 с.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Назовите самые продуктивные биомы Земли?

2. Какие лимитирующие факторы определяют процесс продуктивности в разных экосистемах?

3. Почему искусственные экосистемы менее продуктивнее, чем некоторые естественные?

4. За счет чего объясняются высокие значения первичной продукции шельфовой зоны?

5. В чем состоит причина различий показателей биомассы и продуктивности экосистем Мирового океана и континентов?

Таблица 4 - Характеристика продуктивности биосферы по основным экосистемам земного шара (Уиттекер, 1980)

Тип экосистемы	Хлорофилл, 106 т	Листовая поверхность, 106 км <sup>2</sup>	Масса подстилки, 109 т	Потребление животными, 106 т/год	Продукция животных, 106 т/год	Биомасса животных, 106 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	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

## Практическое занятие 9

### Зачетное занятие. Контрольная работа (1 час)

*Цель:* проверить усвоенные студентами знания по курсу «Основы биологической продуктивности».

*Ход занятия.* Студенты пишут тест, составленный на основе лекционного, практического курсов и самостоятельной работы.

Примерный вариант теста:

1. Общебиологическое понятие, обозначающее новообразование биомассы растений, микроорганизмов и животных, входящих в состав экосистемы называется биологическая \_\_\_\_\_ .

2. Понятие, обозначающее количество органического вещества, синтезированного автотрофными организмами, за определенный промежуток времени, отнесенное к единице площади или объема водоема – это ... продукция.

3. Величины, выражающие первичную продукцию:

- а)  $\text{гO}_2/\text{м}^3 \cdot \text{сут}$
- б)  $\text{С}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$
- в)  $\text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{час}$
- г)  $\text{кг}/\text{га}$

4. Продукция, полученная как разность между валовой первичной продукцией и тратами на дыхание самих продуцентов – это ... продукция.

- а) эффективная
- б) чистая
- в) вторичная
- г) потенциальная

5. Продукция гетеротрофных организмов – это ... продукция.

- а) вторичная
- б) первичная
- в) потенциальная
- г) фактическая

6. Вторичная продукция, представляющая собой прирост массы (энергии) тела называется \_\_\_\_\_ .

7. Вторичная продукция, представляющая собой прирост массы (энергии) выметанных половых продуктов называется \_\_\_\_\_ .

8. Вторичная продукция, представляющая собой прирост массы отторгаемых продуктов (экзувии, слизь, метаболиты). называется \_\_\_\_\_ .

9. Последовательность звеньев трофической цепи в море от продуцентов к консументам:

- а) диатомовые водоросли
- б) тунцы
- в) веслоногие ракообразные
- г) сардины

10. Ученый, обосновавший “правило 10%”: эффективность использования энергии каждым трофическим уровнем – это...

- а) П. Бойсен-Йенсен
- б) Г. Винберг
- в) А. Линдемманн
- г) В. Ивлев

Для подготовки к контрольной работе студентам предлагаются контрольные вопросы.

*Контрольные вопросы*

1. Понятия и термины биологической продуктивности.
2. Фотосинтез. Общее уравнение фотосинтеза. Первичные реакции фотосинтеза. Световые и темновые реакции.
3. Особенности фотосинтеза у высших водных растений и фитопланктона. Пигменты водорослей.
4. Первичная продукция фитопланктона.
5. Валовая, эффективная и чистая первичная продукция.
6. Внеклеточная первичная продукция.
7. Первичная продукция макрофитов и микрофитоперифитона.
8. Факторы, лимитирующие образование первичной продукции в водных экосистемах.
9. Общие закономерности образования первичной продукции в водоемах.
10. Первичная продукция водоемов разного типа
11. Методы определения первичной продукции.
12. Хемосинтез. Бактериальный фотосинтез.
13. Дыхание фитопланктона.
14. Отличие продуктивности водных экосистем от наземных
15. Соотношение между первичной продукцией планктона и деструкцией органических веществ планктоном.
16. Участие водных организмов в процессах трансформации и деструкции органических веществ в водоемах.
17. Вторичная продукция.
18. Общие закономерности роста животных.
19. Теория функционирования водных экосистем.
20. Превращения вещества и энергии в водоемах.
21. Автохтонная и аллохтонная продукция водных экосистем

22. Основные способы расчета продукции популяций водных животных
23. Продуктивность наземных экосистем. Типы экосистем.
24. Методы изучения биогеоценозов.
25. Продуктивность основных биомов суши.
26. Первичная продукция наземных экосистем.
27. Проблемы, связанные с определением биопродуктивности в наземных экосистемах.
28. Методы учета фитомассы наземной древесной, кустарниковой и травянистой растительности.
29. Методы определения подземной биомассы.
30. Методы определения массы лесной подстилки, лишайников, почвенных водорослей.
31. Вторичная продукция наземных экосистем.
32. Группы организмов – вторичных продуцентов в наземных экосистемах
33. Методы учета насекомых в лесных и степных фитоценозах.
34. Общие подходы для оценки вторичной продукции в наземных экосистемах.
35. Вторичная продукция разных типов наземных экосистем.
36. Подходы в оценке продуктивности разных групп организмов- вторичных продуцентов.
37. Параболический, экспотенциальный, асимптотический рост животных.
38. Размножение и плодовитость. Скорость генеративного роста.
39. Траты на обмен у животных.
40. Методы учета птиц в наземных и водных экосистемах.
41. Методики исследования птиц: визуально-оптические (дневные) и акустико-оптические (ночные) наблюдения; отлов птиц и прижизненный анализ; коллектирование модельных видов; аэровизуальные, автомобильные (лодочные) и пешие маршрутные учеты; подсчет птиц в местах концентрации; регистрация транзитнолетающих стай птиц.
42. Методы учета животных в наземных экосистемах.
43. Маршрутный учет по следам мигрирующих животных. Визуальный стационарный учет мигрирующих копытных. Картирование индивидуальных или групповых участков обитания. Учет диких копытных животных с применением авиации.

## Библиографический список

### Основная:

1. Колмаков В.И. Гидробиология: избранные главы/ В.И. Колмаков. Красноярск: Краснояр гос.ун-т, 2006. – 90 с.
2. Современные аппаратура и методы исследования биологических систем / ред. Э.Дж. Сински, Т.Г. Волова. – Красноярск: СФУ-ИБФ, 2011. – 480 с.
3. Шитиков, В.К. Количественная экология: методы системной идентификации // В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко.– Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.

### Дополнительная

1. Алимов, А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию / А.Ф. Алимов.– Л.: Гидрометеиздат, 1989.– 152 с.
2. Алимов, А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем / А.Ф. Алимов. – Санкт-Петербург: Наука, 2001.– 147 с.
3. Гаевский Н.А. Флуоресцентные методы в анализе экологического стресса растений / Экологическая биофизика. Под ред. И.И. Гительзона, Н.С. Печуркина. Т. 1. Фотобиофизика экосистем. М.: Логос. – 2002.- С. 238-283.
4. Гиляров, А.М. Сто двадцать пять лет “Экологии” Эрнста Геккеля / А.М. Гиляров // Журн. общей биол., 1992.– Т.53.– № 1. С.5-17.
5. Гладышев М.И. Биоманипуляция как инструмент управления качеством воды в континентальных водоемах / М.И. Гладышев// Биология внутренних вод. – 2001. – «2. – С.3-15.
6. Гольд В.М. Теоретические основы и методы изучения флуоресценции хлорофилла / В.М. Гольд, Н.А. Гаевский, Ю.С. Григорьев, А.В. Гехман, В.А. Попельницкий. – Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та. 1984.- 84 с.
7. Гольд В.М. Определение фотосинтеза фитопланктона флуоресцентным методом/ В.М. Гольд, В.А. Попельницкий // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов. С.-Пб.: Гидрометеиздат, 1993. – С.25-30.
8. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Задачи и методы изучения использования кормовой базы рыбой.- Л., 1984в. - 19 с.
9. Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов / Под ред. И.Л. Пыриной.– Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1993. – 167 с.
10. Мина М.В., Клевезаль Г.А. Рост животных. М.: Наука, 1976.- 291 с.
11. Определение продукции популяций водных сообществ: Учебно-методическое пособие. /под ред Алимов А.Ф., Гольд З.Г. – Новосибирск: Наука, 2000.– 63 с.



12. Савченко А.П. Антропогенные потери ресурсов животных и их оценка /А.П. Савченко, Г.А. Соколов, М.Н. Смирнов, В.В. Лаптенко, А.В. Бриллиантов. – Красноярск: Краснояр.гос.ун-т, 1996. – 59 с. Савченко А.П. Опыт комплексного применения различных методов учета животных пермеантов на юге Средней Сибири/ А.П. Савченко // Вестник КрасГУ. Естественные науки. – 2005.- №5. – С.6-14.

13. Фотосинтез и биопродуктивность: методы определения/ под ред. А.Т. Мокроносова. – М.: ВО Агропромиздат, 1989. – 460 с.

14. Уиттекер, Р. Сообщества и экосистемы / Р. Уиттекер. – М.: Прогресс, 1980. – 326 с.