

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

**Е.В. Ларионова, А.Н. Вторушина,  
М.Э. Гусельников, О.Б. Назаренко**

## **ПРАКТИКУМ ПО ЭКОЛОГИИ**

*Рекомендовано в качестве учебного пособия  
Редакционно-издательским советом  
Томского политехнического университета*

Издательство  
Томского политехнического университета  
2011

УДК 574, 504.03, 504.75, 502  
ББК 20.1  
Л25

**Ларионова Е.В.**

Л25      Практикум по экологии: учебное пособие / Е.В. Ларионова, А.Н. Вторушина, М.Э. Гусельников, О.Б. Назаренко; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 125 с.

В пособии представлены вопросы общей экологии, экологии человека, инженерной защиты окружающей среды, рационального природопользования, экономики природопользования. К каждой теме практического занятия приведены темы для обсуждения, практические задания и вопросы, примеры решения задач.

Предназначено для студентов вузов всех специальностей, изучающих дисциплину «Экология».

**УДК 574, 504.03, 504.75, 502  
ББК 20.1**

*Рецензенты*

Доктор биологических наук,  
профессор ТГУ  
*В.Н. Романенко*

Старший преподаватель ТГУ  
*О.Л. Конусова*

Доктор геолого-минералогических наук,  
профессор ТГАСУ  
*А.В. Мананков*

© ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2011  
© Ларионова Е.В., Вторушина А.Н.,  
Гусельников М.Э., Назаренко О.Б., 2011  
© Обложка. Издательство Томского  
политехнического университета, 2011

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ .....</b>	<b>4</b>
<b>1. ОБЩАЯ ЭКОЛОГИЯ .....</b>	<b>5</b>
1.1. ОРГАНИЗМ И СРЕДА.....	5
1.2. ПОПУЛЯЦИИ.....	17
1.3. ЭКОСИСТЕМЫ И БИОСФЕРА.....	3
<b>2. ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА .....</b>	<b>17</b>
2.1. ДЕМОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ .....	17
2.2. ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА .....	24
<b>3. ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ .....</b>	<b>33</b>
3.1. ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ .....	33
3.2. ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ .....	35
3.2.1. <i>Защита атмосферы</i> .....	37
3.2.2. <i>Защита гидросферы</i> .....	13
3.2.3. <i>Защита литосферы</i> .....	16
<b>4. ОСНОВЫ ЭКОНОМИКИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ.....</b>	<b>22</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>33</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>35</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемое учебное пособие «Практикум по экологии» построено в соответствии со структурой и требованиями учебной программы по дисциплине «Экология». Практические занятия начинаются с рассмотрения общеэкологических закономерностей (взаимоотношений отдельных организмов со средой обитания, структуры и функционирования популяции, экосистемы и биосферы). Далее обсуждаются вопросы демографии и здоровья населения, рационального природопользования, инженерной защиты окружающей среды, а также основы экономики природопользования.

Специфика получения образования в техническом вузе состоит в значительной доле практических расчетных занятий. Особенно это относится к необходимости расчета допустимой и фактической техногенной нагрузки на окружающую среду в районах с развитым промышленным производством, транспортной инфраструктурой и т. д. В связи с этим авторы постарались более подробно рассмотреть примеры и задания расчетов выбросов различных загрязняющих веществ в атмосферу, водоемы, а также загрязнение почв. Представили основы законодательной базы РФ в области природопользования и примеры расчетов платы за загрязнение окружающей среды.

В конце пособия приведены список рекомендуемой литературы и темы для самостоятельной работы.

В пособие включены вопросы и задания по всем основным темам курса с различным уровнем сложности, что позволит преподавателю построить образовательный процесс в преломлении для студентов разных специальностей, изучающих дисциплину «Экология».

Авторы с благодарностью примут любые замечания и предложения по дальнейшему развитию и совершенствованию пособия.

# 1. ОБЩАЯ ЭКОЛОГИЯ

## 1.1. Организм и среда

### *Основные термины и понятия*

*Экология* – наука о взаимоотношениях организмов друг с другом и окружающей их средой.

*Организм* (живое вещество) – белковое тело, осуществляющее обмен веществ с окружающей средой и способное к самовоспроизведению.

*Вид* – совокупность организмов, способных иметь совместное потомство.

*Экологическая ниша* – часть биосферы, включающая совокупность всех экологических факторов (необходимое пространство, способ питания, образ жизни, взаимоотношения с другими видами и т. д.) пригодных для существования конкретного вида организма.

*Среда* – вся совокупность тел и сил внешнего по отношению к живому организму.

*Среда обитания* – характерные для растений и животных естественные условия жизни.

*Окружающая среда человека* – часть среды, с элементами которой организм конкретно взаимодействует.

*Экологические факторы* – определенные условия и элементы среды, которые оказывают специфическое воздействие на живой организм.

*Абиотические факторы* – совокупность факторов неживой природы, влияющих на жизнь и распространение живых организмов.

*Биотические факторы* – совокупность влияний жизнедеятельности одних организмов на жизнедеятельность других, а также на неживую компоненту среды обитания.

*Антропогенные факторы* – факторы, порожденные деятельностью человека и воздействующие на окружающую природную среду: непосредственное воздействие человека на организмы или воздействие на организмы через изменение человеком их среды обитания (загрязнение окружающей среды, эрозия почв, уничтожение лесов, опустынивание, сокращение биологического разнообразия, изменение климата и др.).

*Лимитирующие факторы* – факторы, сдерживающие развитие организма из-за их недостатка или избытка.

*Адаптация* – процесс приспособления организма к определенным условиям окружающей среды.

*Эволюция* – процесс постепенного развития, направленного на приспособление к изменениям окружающей среды. Термин применим к биосфере и любым ее составляющим компонентам вплоть до организма.

### *Темы для обсуждения*

1. Экологический фактор. Классификация экологических факторов. Примеры.
2. Характеристика действия абиотических факторов: климатических, почвенных, водной среды.
3. Типы межвидовой конкуренции.
4. Закон минимума.
5. Закон толерантности. Практическое применение этого закона.
6. Лимитирующие факторы, пределы толерантности. Группы организмов в зависимости от величины пределов толерантности. Примеры.
7. Адаптация живых организмов. Примеры.
8. Экологическая ниша. Общая и специализированная. Ареал обитания, местообитание. Различия между понятиями «ареал обитания», «местообитание» и «экологическая ниша».

### **Организм**

Организмом называют тело, обладающее совокупностью следующих признаков:

1. Белковый состав, который характерен для биосферных организмов и отличает их от ряда конструкций искусственного происхождения, например от компьютерных вирусов, «питающихся» ячейками памяти компьютера и продуцирующими себе подобных.

2. Обмен веществ с окружающей средой, предполагающий как минимум получение материала для воспроизводства потомства. В реальности организмы поглощают вещество из окружающей их среды не только для построения своего тела и тел потомков, но и в качестве источника необходимой для их жизнедеятельности энергии. Переработка поглощенных организмами веществ реализуется путем химических реакций с образованием ненужных отходов, которые выделяются в окружающую среду. Обмен веществ – одно из главнейших свойств жизни, определяющее тесную вещественно-энергетическую связь организмов со средой.

3. Воспроизводство себе подобных, которое должно не только обеспечить бесконечность жизненных процессов организмов с конечным сроком жизни путем копирования родителей, но и реализовать механизмы приспособленности организмов к окружающей среде как результат эволюции. Приспособленность организмов к изменениям среды обеспе-

чивается действием двух факторов: мутацией (случайными изменениями) организмов и естественным отбором.

### **Экологические факторы**

Живое неотрывно от окружающей среды. Каждый организм непрерывно связан с различными компонентами среды (почва, воздух и т. д.) и испытывает их влияние. Среда разнообразна. Выделяют водное, наземное, почвенное окружение, а также тело другого организма, используемого паразитами. Окружающая среда складывается из множества динамичных во времени условий, которые рассматриваются в качестве экологических факторов.

По происхождению выделяют следующие экологические факторы:

- абиотические факторы;
- биотические факторы;
- антропогенные факторы.

Большинство факторов качественно и количественно изменяются во времени. Например, климатические факторы (температура воздуха, освещённость и др.) меняются в течение суток, сезона, по годам. Факторы, изменение которых во времени повторяется регулярно, называют периодическими. К ним относятся не только климатические, но и некоторые гидрографические (приливы и отливы, некоторые океанские течения). Факторы, возникающие неожиданно (извержение вулкана, нападение хищника и т.п.) называются непериодическими.

### **Закономерности действия экологических факторов на организм**

Влияние экологических факторов на живые организмы характеризуется некоторыми количественными и качественными закономерностями.

Действие на организм недостатка питательных веществ исследовал Ю. Либих. В 1840 году он сформулировал закон минимума, который говорит, что величина урожая определяется количеством в почве того из элементов питания, потребность растения в котором удовлетворена меньше всего.

Более фундаментальный экологический закон толерантности был сформулирован В. Шелфордом в 1913 году. Этот закон, также называемый законом лимитирующего фактора, гласит, что жизненные возможности организма определяются экологическими факторами, находящимися не только в минимуме, но и в максимуме, то есть определять жизнеспособность организма может как недостаток, так и избыток экологического фактора.

Графическая зависимость комфортности существования организма от величины экологического фактора называется экологической кривой. Типовой пример экологической кривой представлен на рис. 1.1. На данной кривой можно выделить три зоны изменения значений экологического фактора:

- 1 – зона оптимума – зона нормальной жизнедеятельности;
- 2 – зоны стресса (зона минимума и зона максимума) – области нарушения жизнедеятельности вследствие недостатка или избытка фактора;
- 3 – зона гибели.



Рис. 1.1. Схема действия экологического фактора на живые организмы

Максимально и минимально переносимые организмом значения фактора – это критические точки (пессимумы), за пределами которых существование уже невозможно, наступает смерть. Пределы выносливости между критическими точками называют экологической валентностью (толерантностью) живых существ по отношению к конкретному фактору среды.

Широкую экологическую валентность вида по отношению к абиотическим факторам среды обозначают добавлением к названию фактора приставки «эври», а узкую – приставкой «стено». Эвритермные виды – выносящие значительные колебания температуры, стенобатные – узкий диапазон давления, эвригалинные – разную степень засоления среды.

Организмы приспосабливаются к выживанию в условиях изменчивой окружающей среды. Механизмы этих приспособлений называют адаптациями. Существуют следующие типы адаптаций:

- поведенческая адаптация, заключающаяся в поведении организма, снижающем отрицательные действия экологических факторов, например, маскировка жертв или выслеживание добычи хищниками, активный поиск оптимальных условий;
- физиологическая адаптация, состоящая в изменении обмена веществ с целью приспособления к неблагоприятным экологиче-



- ским факторам. Примерами могут служить впадение организмов в анабиоз на неблагоприятный период года, биохимическое окисление жиров для пополнения дефицита влаги и т. д.;
- морфологическая адаптация, предполагающая строение тела организма, приспособленное к состоянию окружающей среды. Например, у растений в пустыне отсутствуют листья, а у водных организмов строение тела приспособлено к плаванию.

### *Задания*

1. Укажите и обоснуйте, в какой среде обитают самые быстро движущиеся, самые крупные и тяжелые животные, животные с развитой опорно-двигательной системой.

2. Может ли один экологический фактор полностью компенсировать действие другого экологического фактора? Поясните ответ. Приведите примеры.

3. Каким образом система лесопосадок в степных районах будет влиять на микроклимат этих территорий?

4. Приведите примеры лимитирующих факторов для развития какого-либо вида животного или растения (по предложению преподавателя). Ответ обоснуйте.

5. Объясните, почему животных южного полушария практически невозможно акклиматизировать в сходных климатических условиях северного полушария в первом поколении?

6. Определите форму биотических взаимоотношений для следующих ситуаций:

- отношения белки и лося;
- репейник на теле собаки;
- ели затемняют в лесу светолюбивые травянистые растения;
- под елью растут грибы маслята;
- ели в одном лесу борются за свет;
- отношения зайца и лисы;
- на ели поселился гриб-тутовик.

7. К какому типу экологических факторов (абиотические, биотические, антропогенные) относится:

- вырубка лесов;
- ветер;
- осушение болот;
- хищничество;
- промысел рыб;
- сооружение свалок;

- загрязнение почвы химическими отходами;
- размножение;
- температура воздуха;
- отношения доминирования в стаде;
- влажность почвы;
- строительство коммуникаций;
- химический состав воды;
- морские волны;
- отношения полов;
- атмосферное давление;
- паразитизм?

8. На рис. 1.2 представлена зависимость количества активных особей божьей коровки от температуры окружающей среды.

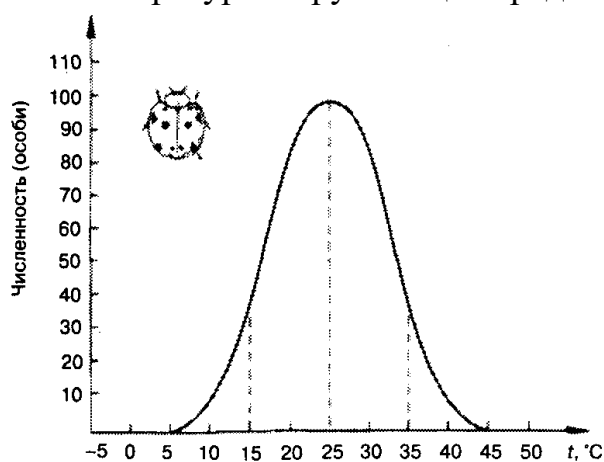


Рис. 1.2. Зависимость активных особей божьей коровки от температуры окружающей среды

Изучив рисунок, определите следующие параметры:

- температуру, оптимальную для этого насекомого;
- диапазон температур зоны оптимума;
- диапазон температур зоны угнетения;
- критические точки;
- пределы выносливости вида.

9. Определите все возможные отношения к освещенности у растений, у животных:

Растения	ночные
Животные	дневные
	светлюбивые
	сумеречные
	тенелюбивые

**10.** Установите соответствие между каждым видом животного и отношением к температурному фактору (температуре среды):

Голубь	холоднокровные
Акула	теплокровные
Собака	
Лягушка	
Кит	
Ящерица	

**11.** Приведите примеры:

- стенотермного организма;
- эвритермного организма;
- стеногалинного организма;
- эвригалинного организма.

**12.** Приведите примеры стенобионтов и эврибионтов. Какие организмы могут служить биоиндикаторами загрязнения окружающей среды?

**13.** Приведите примеры адаптации у растений и у животных. Приспособлением к каким факторам они являются?

**14.** В таблице даны типы адаптаций организмов к экологическим факторам, примеры и описание действия приспособления.

Формы приспособлений	Примеры	Описание приспособления	Преимущества данного приспособления
Форма тела	Дельфин	Торпедовидная форма тела	Движения легки, точны, скорость передвижения 40 км/ч
	Сокол-сапсан		
	Морской конёк		
Приспособительное поведение		Сезонная миграция	
		Имитация ранения	
		Запасание корма	
Покровительственная окраска (маскировка)	Камбала		
	Тундровая куропатка		
	Хамелеон		
Предупреждающая окраска	Пчела		
	Божья коровка		
	Кобра		

Окончание таблицы

Формы приспособлений	Примеры	Описание приспособления	Преимущества данного приспособления
Мимикрия (сходство, подражание более приспособленным организмам)	Яйца кукушки		
		Глухая крапива с листьями, копирующими жгучую крапиву	
		Муха-журчалка, имитирующая осу	

15. Приведите примеры адаптации у растений и у животных к нескольким экологическим факторам.

16. Опишите экологическую нишу человека.

*Материалы для углубленного изучения основ генетики и адаптации организмов к условиям окружающей среды*

Процесс развития биосферы, называемый эволюцией, является результатом множества микроэволюций – направленного изменения особей конкретной популяции. Эволюционные изменения популяций происходят под действием двух факторов: *мутации* организмов и *естественного отбора*.

Для уяснения понятия мутации кратко рассмотрим механизм передачи наследственных признаков при размножении особей. Основная информация о строении организма содержится в генах – специфических макромолекулах, присутствующих в каждой клетке организма. Отдельные участки генов одинаковы для каждого организма данного вида. Они определяют принадлежность организма к данному виду, не могут изменяться в ходе эволюции и называются *гомозиготными*. Остальные участки генов, определяющие индивидуальные свойства организма, изменяются при смене поколений и называются *гетерозиготными*, а соответствующее свойство организмов популяции изменяться при смене поколений называется *гетерозиготностью* или *гетерогенностью*.

Наличие гетерозиготных участков генов у организма не сказывается на его внешнем облике (фенотипе), но у потомства разнополых родителей с идентичным гетерозиготным участком гена этот участок может стать гомозиготным, т.е. сказаться на устройстве организма потомка и утратить способность к изменениям. Вместе с тем именно гетерогенность организмов преимущественно обуславливает возникновение в популяциях *мутации* – внезапного естественного или искусственно вы-

званного наследуемого изменения генетического материала, приводящего к изменению тех или иных признаков организма. Таким образом, мутация обеспечивает появление в популяции организмов с отклонениями от стандартного набора признаков, а влияние окружающей среды приводит к гибели особей с неудачными отклонениями, то есть существует естественный отбор генетического материала популяции (генофонда).

При длительной стабильности экологических факторов в популяции осуществляется стабилизирующий отбор, препятствующий ее изменчивости. При стабильных дрейфах значений факторов организмы приспособляются к ним либо изменением одного адаптивного признака (движущий отбор), либо изменением в нескольких направлениях (дизруптивный отбор, приводящий к образованию нескольких видов из одного). Анализ эволюционных процессов показывает, что чем больше гетерогенность популяции, тем шире ее экологические кривые и выше ее приспособительные возможности. Поэтому генетическое разнообразие особей популяции чрезвычайно важно для ее устойчивого существования.

Для анализа гетерогенности популяции вводят понятия эффективного размера популяции.  $N_e$  – численность идеальной популяции, в которой каждая особь дает равный вклад в общий генофонд нового поколения. В реальной популяции ее численность  $N$  всегда превышает  $N_e$  по следующим причинам:

1. Колебания числа потомков в семье

$$N_e = \frac{4 \cdot N}{2 + \sigma}, \quad (1.1)$$

где  $\sigma$  – дисперсия числа потомков. Например, при  $\sigma = 4$  число детей в семье меняется от 0 до 4, а  $N_e = N \cdot 2 / 3$ .

2. Колебания численности поколений

$$\frac{1}{N_e} = \left( \frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} + \dots + \frac{1}{N_m} \right) / m, \quad (1.2)$$

где  $N_m$  – численность  $m$ -го поколения.

Например, снижение в одном из десяти поколений численности популяции с 1000 до 50 особей приведет к снижению  $N_e$  с 1000 до 345.

3. Неравное число самцов  $N_1$  и самок  $N_2$

$$\frac{1}{N_e} = \frac{1}{4 \cdot N_1} + \frac{1}{4 \cdot N_2}. \quad (1.3)$$

Из (1.3) видно, что максимум  $N_e$  достигается при  $N_1 = N_2$ .

4. Инбридинг – близкородственное скрещивание, повышающее вероятность наличия идентичных гетерозиготных участков генов родителей и появления гомозиготных организмов не в результате естественного отбора. Это явление используется селекционерами для закрепления необходимых наследственных признаков при создании новых видов растений и животных. При отсутствии контроля экспериментатора инбридинг ведет к вырождению и гибели популяции, что подтверждается историей некоторых царствовавших династий.

Для количественной оценки данного явления введено понятие коэффициента инбридинга:

$$f = 1 - \left( 1 - \frac{1}{2N_e} \right)^m, \quad (1.4)$$

где  $m$  – число поколений.

Опыт животноводов показал, что плодовитость популяций падает при  $f > 0,5$ . Решая показательное уравнение (1.4) при заданном значении  $f$ , получим, что число поколений, приводящее популяцию к порогу вымирания, равно  $m = 1,5 \cdot N_e$ . Таким образом, снижение гетерогенности ведет к вымиранию популяции. Однако чрезмерный рост генетического разнообразия популяции приводит к утере популяцией способности генетического адаптирования к изменяющимся условиям окружающей среды. Для каждой популяции существуют некоторые оптимальные значения гетерозиготности, зависящие от ее численности, структуры, исходного генофонда, статических и динамических характеристик окружающей среды. Например, при длительной стабильности экологических факторов высокая гетерогенность популяции не требуется, а при изменении экологических факторов выживает наиболее гетерогенная популяция. Поэтому обитатели разных экологических систем обладают разной гетерогенностью. Например, у человека число гетерозиготных участков генов составляет около 20 %. Мутация является процессом, повышающим гетерогенность популяции.

Мутагены – физические и химические экологические факторы, воздействие которых на живые организмы приводит к возникновению мутаций с частотой, превышающей уровень спонтанных реакций. К физическим мутагенам относят ультрафиолетовое излучение, повышенную и пониженную температуры, ионизирующие излучения (гамма- и рентгеновские лучи, протоны, нейтроны и т. д.).

Химическими мутагенами являются аналоги нуклеиновых кислот, чужеродные ДНК и РНК, алкалоиды и другие вещества. Устойчивость организмов к воздействию мутагенов различна. Вирусы в 3–1000 раз более стойки к ним, чем растения, а растения – в 2–800 раз по сравне-

нию с теплокровными животными. В целом более высокоорганизованные особи менее стойки к воздействию мутагенов. Поэтому предельно допустимый уровень мутагенных биосферных воздействий нормируется на человека.

В данном задании предлагается исследовать влияние ряда экологических факторов на устойчивое развитие вида:

1. Подсчитать  $N_e$  для популяции, учитывая колебания числа потомков в семье. Вычислить число поколений, приводящее популяцию к порогу вымирания. Определить коэффициент инбридинга для четырех поколений и сделать вывод о жизнеспособности популяции.

2. Подсчитать  $N_e$  для популяции, учитывая колебания численности поколений. Вычислить число поколений, приводящее популяцию к порогу вымирания. Определить коэффициент инбридинга для четырех поколений и сделать вывод о жизнеспособности популяции.

3. Подсчитать  $N_e$  для популяции, учитывая неравное число самцов и самок. Вычислить число поколений, приводящее популяцию к порогу вымирания. Определить коэффициент инбридинга для четырех поколений и сделать вывод о жизнеспособности популяции.

Исходные данные для расчета приведены в таблице:

№ варианта	Реальный размер популяции	Дисперсия числа потомков	Колебания численности поколений				Отношение числа самцов к числу самок
			1	2	3	4	
Пр.	110	3	20	30	20	40	4
1	30	4	30	20	15	60	1,4
2	40	5	40	30	20	70	2
3	50	6	50	40	30	80	1,5
4	60	7	60	50	40	90	0,8
5	70	8	70	60	50	100	0,5
6	80	2	80	70	60	110	1,8
7	90	3	90	80	70	120	1,6
8	100	4	100	90	80	130	0,9
9	110	5	110	100	90	140	1,4
10	120	6	120	110	100	150	0,7
11	130	7	130	120	110	60	0,3
12	140	8	140	130	120	70	4,5
13	150	1	150	140	130	80	3
14	60	2	60	150	140	90	0,3
15	70	3	70	60	50	100	0,6
16	80	4	80	70	60	110	1,9
17	90	5	90	80	70	120	1,3
18	100	6	100	90	80	50	5
19	110	7	110	100	90	60	0,1
20	120	8	120	100	100	30	4

Данные из первой строки (Пр.) приведены для ниже рассмотренного примера решения задачи.

4. Сделать выводы и оформить отчет по практическому занятию.

### Пример

1. Эффективный размер популяции с учетом колебания числа потомков в семье в соответствии с выражением (1.1) равен

$$N_e = 4N / (2 + \sigma) = 4 \cdot 110 / (2 + 3) = 440 / 5 = 88.$$

Коэффициент инбридинга может быть вычислен по формуле (1.4):

$$f = 1 - \left(1 - \frac{1}{2N_e}\right)^m = 1 - \left(1 - \frac{1}{220}\right)^4 = 1 - 0,982 = 0,018.$$

Число поколений, приводящее популяцию к порогу вымирания, равно  $m = 1,5 \cdot N_e = 1,5 \cdot 88 = 132$ .

По данным расчетам можно сделать вывод о том, что колебания числа потомков в семье снижает эффективный размер популяции, а значит и ее устойчивость к изменениям окружающей среды на 20 %. Несмотря на это, в течение времени, необходимого для смены 132 поколений, у данной популяции отсутствует угроза вымирания.

2. Эффективный размер популяции с учетом колебания численности поколений согласно формуле (1.2) определяется как

$$\frac{1}{N_e} = \left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} + \dots + \frac{1}{N_m}\right) / m = \left(\frac{1}{20} + \frac{1}{30} + \frac{1}{20} + \frac{1}{40}\right) / 4 = 0,15833 / 4 = 0,0395833,$$

$$N_e = 1 / 0,0395833 = 25,26.$$

Коэффициент инбридинга определяется формулой (1.4):

$$f = 1 - \left(1 - \frac{1}{2N_e}\right)^m = 1 - \left(1 - \frac{1}{25,26}\right)^4 = 1 - 0,85 = 0,15.$$

Число поколений, приводящее популяцию к порогу вымирания, равно  $m = 1,5 \cdot N_e = 1,5 \cdot 25,26 = 37,9$ . Угроза вымирания популяции возможна после смены 38 поколений.

3. Эффективный размер популяции с учетом неравного числа самцов и самок находится по выражению (1.3):

$$\frac{1}{N_e} = \frac{1}{4 \cdot N_1} + \frac{1}{4 \cdot N_2},$$

где  $N_1$  – число самцов и  $N_2$  – число самок, которые связаны выражениями:  $N_1 / N_2 = 4$   $N_1 + N_2 = N_e = 110$ .



Решение данной системы уравнений дает  $N_2 = 22$  и  $N_1 = 88$ . Подставив эти данные в (1.3), получим:

$$\frac{1}{N_e} = \frac{1}{4N_1} + \frac{1}{4N_2} = \frac{1}{88} + \frac{1}{352} = 0,0142,$$

$$N_e = 1 / 0,0142 = 70,42.$$

Коэффициент инбридинга вычисляется по формуле (1.4):

$$f = 1 - \left(1 - \frac{1}{2N_e}\right)^m = 1 - \left(1 - \frac{1}{140,84}\right)^4 = 1 - 0,9719 = 0,01291.$$

Число поколений, приводящее популяцию к порогу вымирания, равно  $m = 1,5 \cdot N_e = 1,5 \cdot 70,42 = 105,63$ . Угроза вымирания популяции возможна после смены 106 поколений.

4. Из проведенных расчетов видно, что неодинаковое количество детей в семьях популяции и неравное число самцов и самок в популяции уменьшает ее эффективный размер, то есть снижает выживаемость популяции.

## 1.2. Популяции

### *Основные термины и понятия*

*Популяция* – совокупность организмов, обитающая более или менее изолированно в пространстве и во времени от других аналогичных совокупностей того же вида и осуществляющая обмен генетической информацией.

*Численность популяции* – общее количество организмов одного вида на данной территории или в данном объеме.

*Плотность популяции* – число организмов популяции, приходящихся на единицу занимаемого данной популяцией пространства.

*Рождаемость* – число организмов, родившихся в популяции за некоторый промежуток времени.

*Удельная рождаемость* – отношение рождаемости к численности популяции.

*Смертность* – число организмов, погибших в популяции за некоторый промежуток времени.

*Удельная смертность* – отношение смертности к численности популяции.

*Структура популяции* – деление организмов популяции по признакам возраста, размера, пола, распределения в пространстве и т. д.

## Темы для обсуждения

1. Понятие «популяция».
2. Структура популяции. Основные характеристики популяции.
3. Эффект группы.
4. Кривые выживания.
5. Анализ экспоненциального закона роста численности популяции.
6. Анализ логистического закона роста численности популяции.
7. Факторы динамики численности популяции.

## Количественные характеристики популяций

Каждая популяция характеризуется количественными показателями, которые описывают ее статическое и динамическое состояния.

Статические показатели характеризуют состояние популяции в определенный момент времени. К ним относят:

- численность;
- плотность;
- показатели структуры.

Структура популяции строится на основе деления особей на группы по разным признакам:

- возрастная – структура популяции характеризует общее количество представленных в ней возрастных групп и соотношение их численности;
- половая – отражает количество и численность групп организмов разделенных по признаку пола;
- размерная – отражает соотношение количества особей разных размеров;
- пространственная – отражает распределение особей в пространстве.

## Возрастная структура популяции

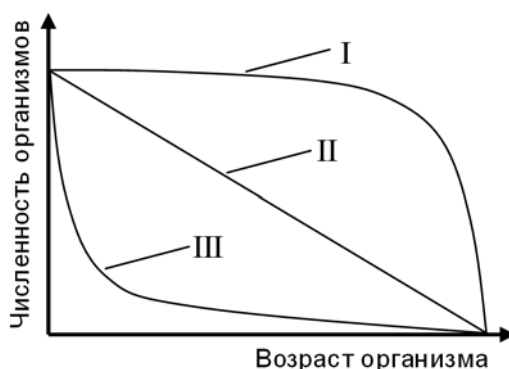
Возрастная структура популяции показывает соотношение количества организмов разного возраста.

Смертность и рождаемость особей изменяются с возрастом. Существуют виды, у которых смертность в раннем возрасте больше, чем у взрослых особей, и наоборот. Графическую зависимость числа выживших особей от их возраста называют кривыми выживания. Кривые выживания подразделяют на три основных типа (рис. 1.3):

1. Кривая I типа – выпуклая, характерна для видов, у которых на протяжении всей жизни смертность мала и большинство орга-

низмов доживает до биологического возрастного предела. Данная кривая выживания характерна для организмов с низкой рождаемостью и усиленной заботой о подрастающем поколении, таких как крупные млекопитающие и человек.

2. Кривая II типа – диагональная, характерна для видов, у которых смертность не зависит от возраста. Примером являются птицы и грызуны.
3. Кривая III типа – вогнутая, характерна для видов с высокой смертностью в начальный период жизни, которые мало заботятся о своем потомстве (устрица, рыбы, растения).



*Рис. 1.3. Кривые выживания*

При рассмотрении возрастной структуры популяции выделяют три экологические возрастные группы:

- предрепродуктивная (молодые особи);
- репродуктивная (взрослые особи);
- пострепродуктивная (старые особи).

Увеличение относительно характерных для популяции значений числа молодых особей характерно для быстрорастущих, развивающихся популяций. В деградирующих, сокращающихся популяциях преобладают старые особи, неспособные к интенсивному размножению.

### **Деление популяции по признаку пола**

Деление популяции по признаку пола связано с реализацией эволюционного развития организма. Согласно учению Ч. Дарвина, эволюция заключается в мутации (случайном изменении) организмов с последующим естественным отбором (выживанием наиболее приспособленных к окружающей среде). Результаты естественного отбора должны закрепляться в качестве видового признака. Это закрепление происходит на генетическом уровне у потомства родителей, имеющих идентичные мутационные изменения. Например, у двух блондинов, скорее все-

го, дети будут также блондинами. Если выживаемость блондинов будет выше, чем у брюнетов, то через достаточно большое количество поколений весь вид будет состоять исключительно из блондинов.

Деление популяции по признаку пола обеспечивает наиболее эффективный обмен генетической информацией, необходимый для закрепления на генетическом уровне результатов естественного отбора. В случае отсутствия внутри популяции обмена генетической информацией, например при размножении только почкованием, при действии мутации сохранение в течение смены многих поколений характерных для вида признаков невозможно. Например, при размножении картофеля только клубнями через определенное число поколений он полностью вырождается. Возможны следующие варианты структуры популяции по признаку пола:

1. Все организмы однополые. Обмен генетической информацией осуществляется, например, как у растений перекрестным опылением.

2. Организмы популяции разделены на два пола. Случай наиболее характерный для большинства животных и некоторых растений, таких как тополь и облепиха.

3. Популяция по признакам пола (участия в процессе размножения) делится более чем на два пола. Например, у пчел выделяют матку, трутней и рабочих пчел, а популяция трихомонады по признаку пола разделена на шесть групп.

### Динамика популяций

*Динамика популяции* – процессы изменения ее основных характеристик во времени. Динамические показатели характеризуют процессы, протекающие в популяции за некоторый промежуток времени. Это рождаемость, смертность, скорость роста популяции.

*Рождаемость* – число особей  $\Delta N_n$ , родившихся в популяции за некоторый промежуток времени ( $\Delta t$ ):

$$P = \Delta N_n / \Delta t . \quad (1.5)$$

*Смертность* – число особей  $\Delta N_m$ , погибших в популяции за некоторый промежуток времени  $\Delta t$ :

$$C = \Delta N_m / \Delta t . \quad (1.6)$$

Для сравнения рождаемости и смертности в разных популяциях используют удельные показатели.

*Удельная рождаемость* – отношение рождаемости к исходной численности популяции  $N$ :

$$b = P / N = \Delta N_n / N \Delta t . \quad (1.7)$$

*Удельная смертность* – отношение смертности к исходной численности популяции  $N$ :

$$d = C / N = \Delta N_m / N \Delta t . \quad (1.8)$$

*Скорость* изменения численности популяции:

$$v = \Delta N / \Delta t , \quad (1.9)$$

где  $\Delta N$  – изменение численности популяции за время  $\Delta t$ .

*Удельная скорость* изменения численности:

$$r = b - d . \quad (1.10)$$

Если  $b = d$ , то  $r = 0$ , и популяция находится в стационарном состоянии. Если  $b > d$ , то  $r > 0$ , численность популяции растет. Если  $b < d$ , то  $r < 0$  – численность популяции сокращается.

Таким образом, численность популяций определяется двумя противоположными процессами – рождаемостью и смертностью.

Очевидно, что в жизнеспособной популяции рождаемость должна превышать смертность. В этом случае при постоянной величине удельной скорости изменения численности рост числа организмов популяции  $N$  в зависимости от времени (количества поколений) математически будет представлять собой геометрическую прогрессию. Такой тип роста описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{dN}{dt} = (b - d)N = rN . \quad (1.11)$$

Уравнение (1.11) в интегральной форме имеет вид

$$N_t = N_0 e^{rt} , \quad (1.12)$$

где  $N_t$  – численность популяции в момент времени  $t$ ;  $N_0$  – численность популяции в начальный момент времени  $t_0$ ;  $e$  – основание натурального логарифма;  $r$  – показатель, характеризующий темп размножения особей в данной популяции (удельная скорость изменения численности).

Экспоненциальный рост численности популяции, называемый J-образной кривой, представлен на рис. 1.4. Он возможен лишь при отсутствии лимитирующих факторов. Такой рост в природе не происходит, либо происходит в течение очень непродолжительного времени (например, популяции одноклеточных организмов, водорослей, мелких ракообразных при благоприятных условиях размножаются по экспоненциальному закону). Это рост численности особей в неизменяющихся условиях.

Логарифмируя обе части уравнения (1.12), получим уравнение линейного вида

$$\ln N_t = \ln N_0 + rt . \quad (1.13)$$

Графический вид зависимости  $\ln N$  от  $t$  представлен на рис. 1.5. Используя экспериментальную зависимость  $\ln N$  от  $t$  можно определить  $\ln N_0$  как отрезок, отсекаемой прямой на оси  $X$ , а  $r$  как тангенс угла наклона прямой.

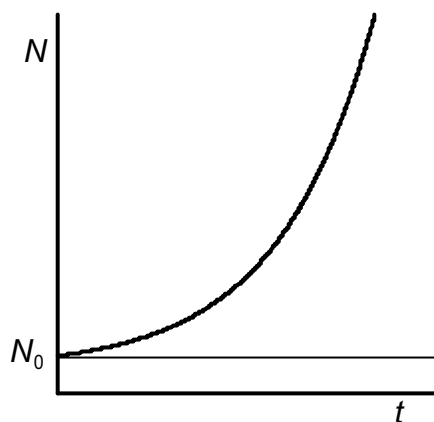


Рис. 1.4. J-образная кривая роста численности популяции

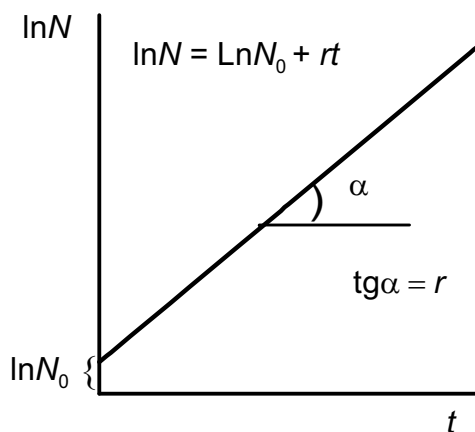


Рис. 1.5. Графический вид зависимости  $\ln N$  от  $t$  в случае экспоненциального роста

В реальных условиях удельная скорость роста популяции  $r$  зависит от плотности популяции. Увеличение плотности популяции снижает количество доступной организму пищи, что приводит к росту удельной смертности  $d$  и снижению удельной скорости изменения численности популяции  $r$ . Уменьшение  $r$  до нулевого значения останавливает рост численности популяции на некотором значении  $N = K$ , которое называют емкостью экологической ниши.

Таким образом, рост популяции не может быть бесконечным, а реальная кривая изменения численности популяции имеет вид буквы  $S$ , представленный на рис. 1.6. Такой тип роста описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{dN}{dt} = rN(K - N) / K. \quad (1.14)$$

где  $K$  – максимальное число особей, способных жить в рассматриваемой среде. В интегральной форме уравнение (1.14) имеет вид

$$N = \frac{K}{1 + e^{a-rt}}, \quad (1.15)$$

где  $a$  – константа интегрирования, определяющая положение кривой относительно начала координат,  $a = \ln((K - N_0)/N_0)$  при  $t = 0$ .

Тогда уравнение (1.15) можно записать в виде

$$N = \frac{K}{1 + e^{\ln((K-N_0)/N_0)-rt}}. \quad (1.16)$$

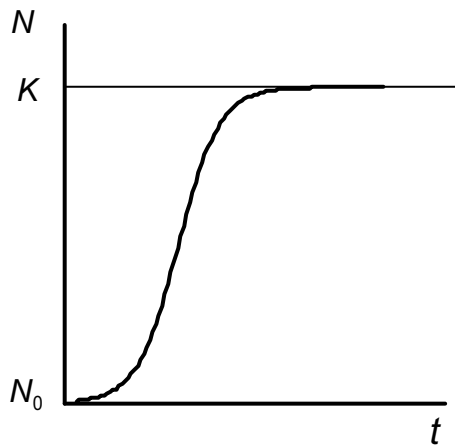


Рис.1.6. S-образная кривая роста численности популяции

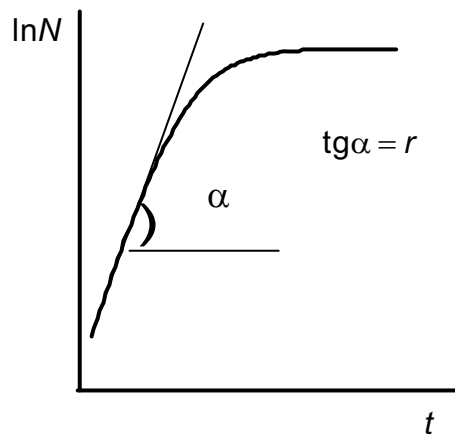


Рис. 1.7. Графический вид зависимости  $\ln N$  от  $t$  в случае логистического роста

Коэффициенты уравнения (1.15) можно легко определить, используя экспериментальную зависимость  $N$  от  $t$ . Коэффициент  $a$  можно вычислить, определив  $N_0$  и  $K$  из графика зависимости  $N$  от  $t$ . Поскольку J-образную кривую можно рассматривать как участок S-образной кривой,

то в некоторых случаях коэффициент  $r$  можно определить как тангенс угла наклона прямолинейного участка зависимости  $\ln N$  от  $t$  (рис. 1.7).

Константы  $K$  и  $r$  логистического уравнения дали название двум типам естественного отбора. Каждый организм испытывает на себе комбинацию  $r$  и  $K$ -отбора, но  $r$ -отбор преобладает на ранней стадии развития популяции, а  $K$ -отбор характерен для сформировавшихся систем.  $r$ -стратегия обеспечивает выживание за счет количественного роста, характерна для организмов с коротким жизненным циклом и высокой плодовитостью: микроорганизмов, мелких насекомых, однолетних трав.  $K$ -стратегия обеспечивает выживание за счет качественного совершенствования взаимоотношений между особями и особей с абиотической средой: крупные и долгоживущие виды, деревья, звери, человек.

### Колебания численности популяций

Численность популяций может изменяться в результате изменения внешних условий среды – из-за нехватки пищи, появления большого количества хищников и т. д. Периодические и непериодические колебания численности популяций под влиянием абиотических и биотических факторов среды называются популяционными волнами. Популяции обладают способностью к саморегуляции, и их плотность при более или менее значительных колебаниях остается в устойчивом состоянии между своими нижним и верхним пределами (динамическое равновесие).

В природе в основном встречаются три вида колебаний численности популяций: относительно стабильный, скачкообразный, циклический (рис. 1.8).

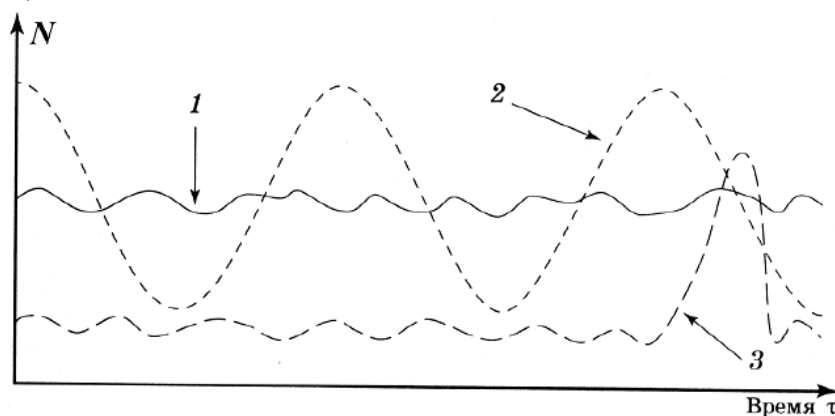


Рис. 1.8. Основные типы кривых изменения численности популяций

Кривая 1. Стабильные популяции. Такое постоянство встречается нередко в природе, например в тропических лесах, где климатические условия меняются крайне мало.



Кривая 2. Правильный циклический характер. Например, колебания связанные с сезонными изменениями климата: комары, цветы на полях; система «хищник – жертва»; циклические колебания численности леммингов (травоядный грызун в северной Америке и Скандинавии).

Кривая 3. Скачкообразный рост численности. Например, это характерно для енотов, имеющих относительно стабильную численность, но время от времени происходит всплеск численности. Такой всплеск связан с временным повышением емкости среды (улучшение климатических условий, питания, резкое уменьшение численности хищников).

### Изменение численности в системе «хищник – жертва»

Межвидовые взаимоотношения играют большую роль в динамике численности организмов. Хищники, уничтожая свои жертвы, влияют на их численность. Такое же действие оказывают и паразиты.

Математики А. Лотка (1880–1949 г.г.) и В. Вольтерра (1860–1940 г.г.) независимо друг от друга разработали математические модели взаимодействия животных в системе «паразит – хозяин» (Лотка) и в системе «хищник – жертва» (Вольтерра). Различия в этих системах состоят лишь в количественном соотношении: один хищник уничтожает много жертв, а паразитов может быть много на одном хозяине.

В системе «хищник – жертва» численности хищника соответствует определенная численность жертвы и по мере возрастания плотности популяции жертвы увеличивается и плотность популяции хищника. Повышение же численности хищника приводит к снижению численности жертвы, что опять снижает количество хищников. Так происходят периодические колебания численности популяций хищника и жертвы с небольшими отклонениями от какого-то оптимального уровня (рис. 1.9).



Рис. 1.9. Колебания численности в системе «хищник – жертва»

### Примеры

**Пример 1.** В одном из степных заповедников на площади 300 га насчитывалось 410 особей сурков-байбаков, распределенных по возра-

ту следующим образом: новорожденных – 128, годовалых – 59, двухлетних – 60, трехлетних и старше – 163. Спустя два года на участке было 588 особей, среди них новорожденных – 142, годовалых – 93, двухгодовалых – 88, остальные – старше.

Начертите исходную возрастную пирамиду популяции и пирамиду спустя два года. Изменилась ли возрастная структура популяции? Какова смертность молодых особей за этот период?

*Решение.* При построении возрастных пирамид по вертикали откладывается возраст (например, в масштабе 1 клетка = 1 год), а по горизонтали количество особей в данной возрастной группе (например, в масштабе 1 клетка – 20 тыс. особей).

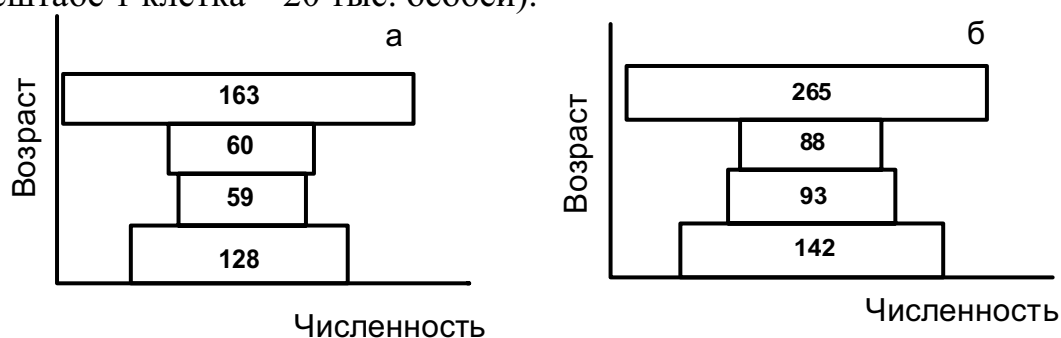


Рис. 1.10. Первоначальная возрастная пирамида (а) и возрастная пирамида спустя два года (б)

Как видно из рис.1.10, численность популяции увеличивается, причем численность растет равномерно во всех возрастных категориях.

Смертность молодых особей будет определяться из разности числа новорожденных особей в первоначальный период и двухгодовалых особей в рассматриваемый период времени:  $128 - 88 = 40$  особей. Таким образом, смертность молодых особей составляет 20 особей в год.

**Пример 2.** Имеются данные изменения численности растения во времени:

Годы	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Численность растения	10	12	15	19	23	27	30	33	35	37	39	40	41	42	42

Построить график зависимости численности популяции от времени, определить тип кривой роста. Найти уравнение, описывающее экспериментальную зависимость.

*Решение.* Построим график зависимости  $N$  от  $t$  (рис. 1.11). Как видно график имеет логистический характер. Для описания данной зависимости воспользуемся уравнением (1.16). Коэффициент  $K$  найдем из графика.  $K = 42$ . Коэффициент  $a$  найдем из выражения  $a = \ln((K - N_0)/N_0)$ .  $N_0 = 10$ .  $a = 1,2$ .

Далее, выбираем  $t_1 = 5$ . Ему соответствует  $N_1 = 27$ . Подставив данные значения в выражение (1.16), получим:

$$27 = \frac{42}{1 + \exp(1,2 - 5r)}.$$

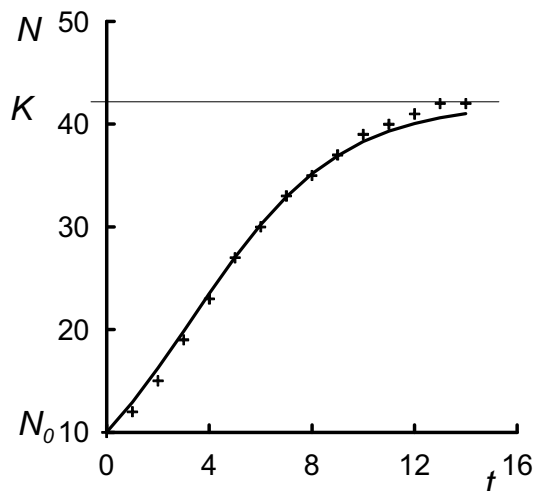


Рис. 1.11. Зависимость численности растения  $N$  от  $t$  и кривая, полученная по уравнению (1.16)

Выразим  $r$ :

$$42 = 27(1 + \exp(1,2 - 5r)), \quad \exp(1,2 - 5r) = \frac{42 - 27}{27},$$

$$r = -\frac{\ln \frac{42 - 27}{27} - 1,2}{5} = 0,36.$$

Таким образом, уравнение, описывающее экспериментальную зависимость численности растения от времени, имеет вид

$$N = \frac{42}{1 + e^{1,2 - 0,36t}}.$$

График, построенный по полученному уравнению, представлен на рис. 1.11.

### Задания

1. На рис. 1.12 показано процентное соотношение численности половозрелых самцов и самок различного возраста в популяции травяной лягушки.

Изучив рисунок, сравните скорость полового созревания самцов и самок. Объясните различия в соотношении полов половозрелых особей разных возрастов. В каком возрасте, преимущественно, особи травяной лягушки достигают половой зрелости?

2. Емкость среды ( $K$ ) для популяции обыкновенной белки составляет 5000 особей. Максимальная численность выводков обыкновенной белки – 7 детенышей (при  $N = K/2$ ), минимальная – 3 детеныша при  $3750 \leq N < 5000$ , 5 детенышей при  $2500 < N < 3750$  и  $N < 2500$ . Смертность популяции ( $d$ ) составляет:

$d = 5\%$  при  $N < 1250$ ,

$d = 25\%$  при  $1250 \leq N < 2500$ ,

$d = 50\%$  при  $2500 \leq N < 3750$ ,

$d = 75\%$  при  $3750 \leq N < 5000$ .

Определить абсолютный и удельный (на 1 особь) прирост популяции при ее численности ( $N$ ): а) 1000 особей; б) 2000 особей; в) 3000 особей; г) 4000 особей; д) 5000 особей. При достижении какой численности популяции прирост «перекрывается» смертностью?

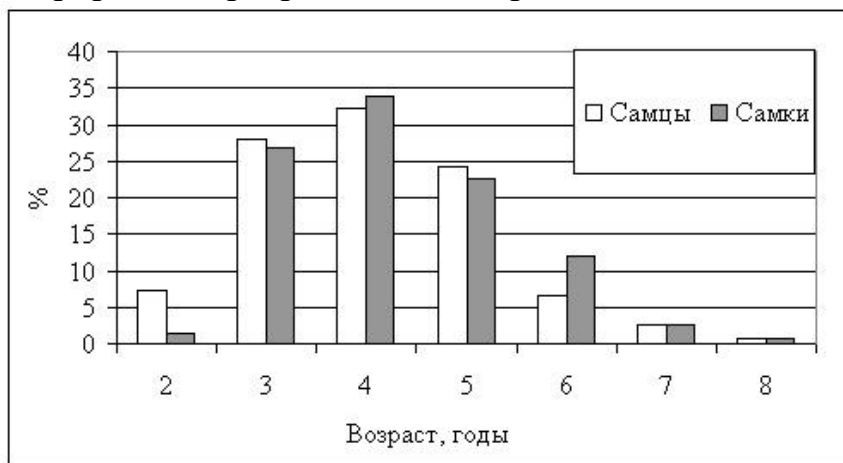


Рис. 1.12. Соотношение половозрелых самцов и самок разных возрастов в популяции травяной лягушки (по Северцову, 1999)

3. В охотничьем хозяйстве стадо лосей насчитывает 500 особей. Определите, как будет изменяться численность стада при ежегодном приросте 15%. Укажите, что произойдет с плотностью популяции, если территория хозяйства составляет 40000 га (плотность рассчитывается по количеству особей на 1000 га), а оптимальной является плотность 3–5 особей на 1000 га.

4. В начале сезона было помечено 2000 рыб. В ходе последующего лова в общем вылове из 10000 рыб обнаружилось 700 меченных. Какова была численность популяции перед началом промысла?

5. На рис. 1.13 приведены результаты эксперимента по изучению выживаемости личиночной стадии (головастиков) остромордой лягушки поодиночке и в группах с разным уровнем популяции до момента метаморфоза – превращения в молодых лягушат-сеголеток. Определите оптимальную плотность населения головастиков. С чем связана более

высокая выживаемость при метаморфозе головастиков с данной плотностью населения при их выращивании в группе? Почему выживаемость снижается при увеличении плотности популяции?

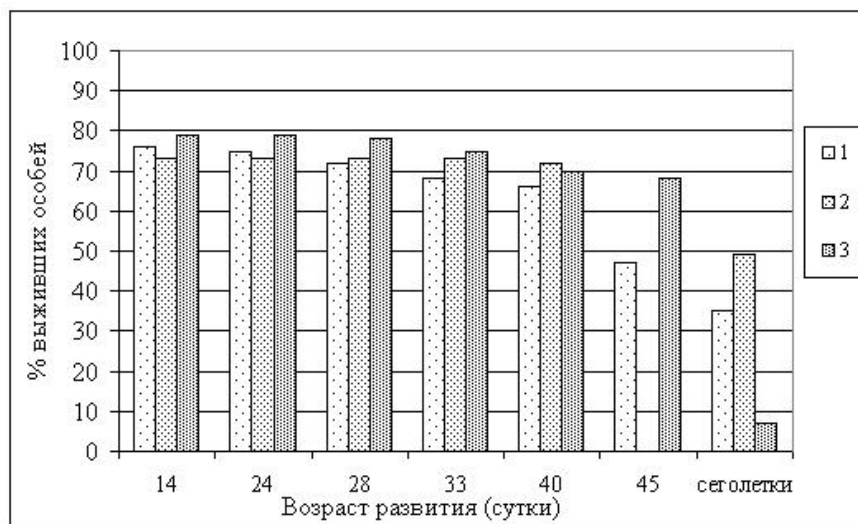


Рис. 1.13. Выживаемость головастиков остромордой лягушки при различных уровнях плотности населения (по Северцову, 1999): 1 – «одиночки» с плотностью 1 ос./0,6 л; 2 – группа с плотностью 3 ос./0,6 л; 3 – группа с плотностью 1 ос./1,3 л

6. В таблице приведены данные (по Грину, Стауту, Тейлору, 1990) о выживании усонного ракообразного *Balanus glandula*:

Возраст, годы	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число живых особей	142	62	34	20	16	11	7	2	2	0

На основании этих данных постройте кривую выживания этого вида. В каком возрасте выживаемость данного вида максимальна? Оцените среднюю продолжительность жизни особей.

7. В таблице приведены данные об изменении численности дрожжей (по Ю. Одуму, 1975):

Время, ч	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фактическая биомасса дрожжей	9,6	18,3	29,0	47,2	71,1	119,1	174,6	257,3	350,7	441,0

Постройте график зависимости численности популяции от времени, определить тип кривой роста. Найдите уравнение, описывающее экспериментальную зависимость.

8. В табл. 1.1 приведены данные об изменении численности популяций различных растений в течение некоторого промежутка времени.

Постройте график зависимости численности популяции от времени, определите тип кривой роста. Найдите уравнение, описывающее экспериментальную зависимость.

9. В таблице приведены данные о численности некоторых охотничьих животных на территории Белгородской области в 2002 г.:

Вид	Численность по годам, количество особей							
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Лось	387	346	301	308	322	322	263	266
Косуля	4474	4911	5055	5193	5334	5897	6164	6085
Олень	501	570	562	619	678	782	896	1089
Кабан	2574	2436	2351	2958	3626	3896	4236	4520
Заяц-русак	18361	17676	16261	19792	22631	20246	22636	20418
Лисица	3856	4344	4611	5754	5167	5277	5922	5547
Куница	2025	1820	1628	1910	2696	2770	2308	2298
Хорь	1120	634	461	747	1346	1340	1157	1766
Волк	36	34	41	65	76	74	74	74

Постройте следующие графики колебания численности охотничьих животных по годам:

- а) для каждого вида животных;
- б) для совокупности хищников и совокупности их потенциальных жертв.

Обоснуйте выбранную группировку видов по системам «совокупность хищников – совокупность их потенциальных жертв». Проведите частный и сопоставительный анализ кривых динамики численности отдельных видов и групп видов животных. Определите долю численности каждого вида рассмотренных охотничьих животных в их общей численности. Качественно оцените долю рассмотренных видов консументов первого порядка в рационе представленных хищных видов. Обоснуйте полученные наблюдения, сделайте выводы.

10. На момент организации заповедника на его территории площадью 190 га было отмечен 1 выводок обыкновенной лисицы. Через 6 лет ее численность увеличилась до 30–35 особей. Еще через 5 лет количество лисиц уменьшилось до 7–9 особей и стабилизировалось на этом уровне. Объясните, почему сначала численность лисиц резко возросла, а позже упала и стабилизировалась?

11. Определите площадь индивидуального участка волка, если известно, что между логовами должно быть не менее 7 км. Сколько волков может жить в лесах, площадь которых составляет 32 тыс. га?

### Изучение возрастной структуры популяций

Структура популяции проявляется в определенном количественном соотношении особей разного возраста, пола, генотипа. Внутри популяции можно выделить более мелкие подразделения: колонии, стада, стаи, парцеллы (близко расположенные группы растений одного вида), семьи. Понятие семьи предполагает разделение особей по половым признакам. Существующие в живой природе процессы, механизмы и структуры, связанные с полом, чрезвычайно разнообразны и сложны. Высокоорганизованные животные чаще делятся на два пола.

Важной характеристикой популяции является ее деление по возрастному признаку. Возрастная структура популяции зависит от продолжительности жизни составляющих ее особей. Рассмотрим возможные варианты. Примем, что в процессе рождения и смерти особей численность популяции остается неизменной. В простейшем случае у популяции отсутствуют лимитирующие факторы и гибель особей происходит только от старости при достижении ими биологического возрастного предела  $T$ . При этом доля смертей  $S$  особей популяции в зависимости от их возраста  $t$  описывается выражением:

$$S_1(t) = \frac{d}{dt} \left( \frac{t-T}{2T|t-T|} + \frac{1}{2T} \right). \quad (1.17)$$

Учитывая, что к возрасту  $T$  все особи должны умереть, доля смертей  $S$  подчиняется условию:

$$\int_0^T S(t) dt = 1. \quad (1.18)$$

Возрастная структура популяции, или доля особей, доживших до возраста  $t$ , определяется условием:

$$N(t) = 1 - \int_0^t S(\tau) d\tau. \quad (1.19)$$

Для нашего простейшего случая:

$$N_1(t) = 1 - \left( \frac{t-T}{2T|t-T|} + \frac{1}{2T} \right). \quad (1.20)$$

Функции  $S_1(t)$  и  $N_1(t)$  изображены графиками 1 на рис. 1.14, а и 1.14, б соответственно. В случае гибели организмов от случайных различных причин, когда смертность не зависит от возраста, графики смертей  $S$  и численности  $N$  особей популяции имеют вид прямых 2

(рис. 1.14, а и 1.14, б соответственно). В реальной жизни наиболее уязвимы для лимитирующих факторов молодые и старые организмы, что находит отражение в форме кривых 3 рис. 1.14, а и 1.14, б.

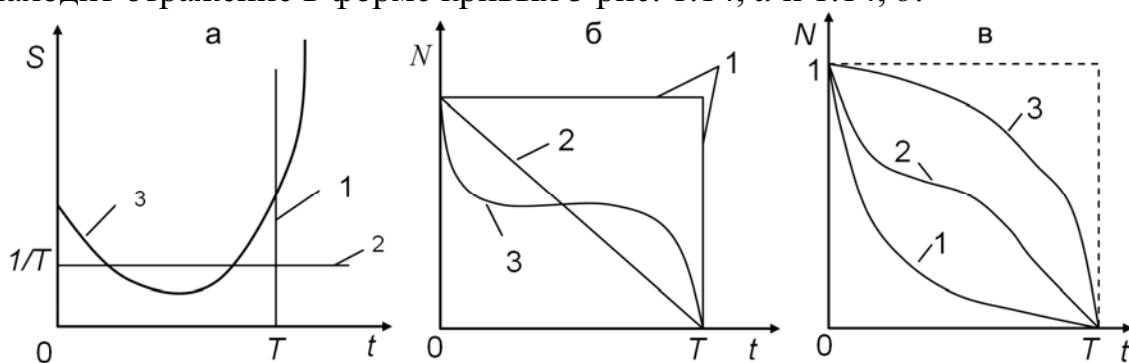


Рис. 1.14. Характеристики возрастной структуры популяций: а) зависимость доли смертей  $S$  особей популяции от их возраста  $t$ ; б) зависимость доли численности  $N$  особей популяции от их возраста  $t$ ; в) кривые выживания для: 1 – растений, рыб, насекомых; 2 – травоядных, мелких хищников; 3 – крупных млекопитающих и человека

Причем для особей, не заботящихся о своем потомстве (растений, рыб, насекомых и т. д.), характерна высокая плодовитость. При этом возрастная структура популяции представлена кривой 1 на рис. 1.14, в.

У более высокоорганизованных видов снижается смертность молодняка и особей зрелого возраста, уменьшается плодовитость, растет продолжительность жизни. Для таких видов, как это видно из кривой 2 рис. 1.14, в, возрастная структура популяции более равномерна, а кривая зависимости числа особей от их возраста имеет большие числовые значения. Для человека кривая 3 рис. 1.14, в выпуклая. Кривые 1, 2, 3 называются кривыми выживания вида. Кривые выживания индивидуальны для каждого вида растений или животных.

В данном задании предполагается исследование возрастной структуры популяций. По заданному значению доли смертей  $S$  особей популяции в зависимости от их возраста  $t$  необходимо найти биологический возрастной предел  $T$  для данной популяции, а затем вывести формулу, описывающую возрастную структуру популяции и построить ее график.

Порядок выполнения задания:

1. В таблице приведены выражения, описывающие зависимость возрастной структуры популяции  $N$  от времени  $t$ .

2. По выражению (1.18) найти биологический возрастной предел популяции.

3. В соответствии с выражением (1.19) вывести формулу, описывающую возрастную структуру популяции.



№ варианта	Формула, описывающая зависимость доли смертей $S$ особей популяции в зависимости от их возраста $t$	№ варианта	Формула, описывающая зависимость доли смертей $S$ особей популяции в зависимости от их возраста $t$
1	$S = \frac{t^2}{2} + \frac{t}{3} + \frac{1}{2}$	12	$S = \frac{t^2}{4} + \frac{t}{3} + \frac{1}{4}$
2	$S = \frac{t^2}{3} + \frac{t}{3} + \frac{1}{3}$	13	$S = \frac{t^2}{3} + \frac{t}{6} + \frac{1}{6}$
3	$S = \frac{t^2}{4} + \frac{t}{4} + \frac{1}{3}$	14	$S = \frac{t^2}{4} + \frac{t}{8} + \frac{1}{8}$
4	$S = \frac{t^2}{5} + \frac{t}{5} + \frac{1}{4}$	15	$S = \frac{t^2}{5} + \frac{t}{4} + \frac{1}{6}$
5	$S = \frac{t^2}{4} + \frac{t}{3} + \frac{1}{6}$	16	$S = \frac{t^2}{4} + \frac{t}{5} + \frac{1}{8}$
6	$S = \frac{t^2}{3} + \frac{t}{4} + \frac{1}{6}$	17	$S = \frac{t^2}{6} + \frac{t}{4} + \frac{1}{5}$
7	$S = \frac{t^2}{3} + \frac{t}{4} + \frac{1}{5}$	18	$S = \frac{t^2}{5} + \frac{t}{6} + \frac{1}{8}$
8	$S = \frac{t^2}{3} + \frac{t}{3} + \frac{1}{8}$	19	$S = \frac{t^2}{4} + \frac{t}{6} + \frac{1}{7}$
9	$S = \frac{t^2}{4} + \frac{t}{5} + \frac{1}{6}$	20	$S = \frac{t^2}{5} + \frac{t}{3} + \frac{1}{9}$
10	$S = \frac{t^2}{3} + \frac{t}{5} + \frac{1}{7}$	21	$S = \frac{t^2}{2} + \frac{t}{4} + \frac{1}{6}$
11	$S = \frac{t^2}{4} + \frac{t}{5} + \frac{1}{7}$	22	$S = \frac{t^2}{6} + \frac{t}{5} + \frac{1}{6}$

4. Построить график функции, описывающей возрастную структуру популяции.

### Изучение динамики численности популяций

Популяции организмов по-разному реагируют на такие изменения условий окружающей среды, как увеличение или уменьшение количества пищи, питательных веществ почвы, температура и влажность окружающей среды (воздуха), увеличение или уменьшение территории обитания. Изменения в размерах, структуре или распределении популяций в соответствии с изменением условий окружающей среды называются динамикой популяций.

Одним из условий устойчивого существования популяции является превышение числа рожденных за единицу времени организмов  $K$  над числом умерших организмов  $D$ . Если учитывать только данные факто-

ры, то зависимость численности популяции  $x$  от времени  $t$  описывается следующим уравнением:

$$\frac{dx}{dt} = (K - D)x, \quad (1.21)$$

где  $dx/dt$  – производная численности популяции  $x$  по времени  $t$  скорость изменения численности популяции  $x$  во времени  $t$ .

Называемое дифференциальным, уравнение (1.21) имеет решение:

$$x = x_0 e^{(K-D)t}, \quad (1.22)$$

где  $x_0$  – начальная численность популяции при  $t = 0$ ;  $e = 2,718$  – так называемое число « $e$ » (функция  $e^x = \exp(x)$  называется экспонентой).

Из решения видно, что при положительных значениях  $(K - D)$  численность популяции со временем будет неограниченно возрастать. В действительности такого не происходит, следовательно формула (1.22) описывает динамику численности популяции с недостаточной точностью.

Для построения более точной математической модели динамики численности популяции необходимо учесть следующие экологические факторы:

Факторы, влияющие на рождаемость.

1. Соотношение выжившего потомства к числу родителей в конце периода размножения. Например, калифорнийские кондоры откладывают только одно яйцо, что делает их более уязвимыми по сравнению с такими видами, как утки, высиживающие от 8 до 15 яиц;

2. Периодичность и продолжительность полного цикла размножения. Например, слон может рожать 1 детеныша в 2,5 года, а мышь луговая полевка – около десятка детенышей раз в 20–30 дней;

3. Плотность популяции. Когда число особей популяции на единицу площади падает ниже определенного уровня, рождаемость падает из-за трудностей, возникающих при поиске партнера. Аналогичная картина возникает, если плотность популяции становится слишком высокой, рождаемость также падает из-за трудностей в обеспечении пищей. Таким образом, плотность популяции поддерживается на одном и том же уровне.

Факторы, влияющие на смертность.

1. Возрастная структура популяции. При построении математической модели необходимо разделять число особей, доживших до репродуктивного возраста, и число особей, погибших ранее.

2. Межвидовая конкуренция из-за пищи или других ресурсов.

3. Внутривидовая конкуренция в случае скудных ресурсов.

4. Поедание особей хищниками, паразитами.

5. Гибель от болезней.

6. Смертность из-за ухудшения среды обитания вследствие природных катаклизмов и человеческой деятельности.

С учетом изложенных факторов для составления математической модели динамики численности популяции имеем:

- характерную для данного вида зависимость рождаемости от плотности популяции  $K(x/N)$ ;
- максимально возможную для данных пищевых и территориальных ресурсов численность популяции  $N(t)$ , которая зависит от изменяющихся во времени состояния среды обитания и численности конкурентов  $y(t)$  данной популяции на место в ее экологической нише;
- время достижения особью репродуктивного возраста  $\tau$ ;
- зависимость смертности от изменяющихся во времени состояния среды обитания, численности конкурентов по экологической нише  $y(t)$ , численности хищников  $z(t)$ , внутривидовой конкуренции за скудные ресурсы:  $D(z(t), y(t), x(t), t)$ .

Вводя данные зависимости в (1.21) и, переходя от дискретного процесса динамики численности к непрерывному, получим:

$$\frac{dx(t)}{dt} = K \left( \frac{x(t)}{N}, \frac{x(t-\tau)}{N} \right) \cdot (N(t) - x(t) - y(t)) \cdot x(t-\tau) - D(z(t), y(t), x(t), t) \cdot x(t-\tau). \quad (1.23)$$

Использование выражения (1.23) для анализа динамики численности популяции достаточно сложно и требует наличия большого количества экспериментального материала, позволяющего корректно построить данную математическую модель. Поэтому в данной работе при построении модели динамики численности популяции из перечисленных факторов учтем только 2в, т.е. примем условия окружающей среды неизменными, рождаемость независимой от плотности популяции, отсутствие межвидовой конкуренции и хищников. В этом случае динамика численности популяции будет описываться следующим дифференциальным уравнением первого порядка:

$$\frac{dx}{dt} = Kx(N - x) - Dx. \quad (1.24)$$

Данное уравнение решается непосредственным интегрированием и имеет общее решение вида:

$$x = \frac{N - D/K}{1 + C \exp(-tK(N - D/K))}, \quad (1.25)$$

где постоянная интегрирования  $C$  зависит от начальной численности популяции  $x_0$ .

$$C = \frac{N - D/K - x_0}{x_0}.$$

Окончательное решение уравнения (1.25) записывается в виде:

$$x(t) = \frac{N - D/K}{1 + \frac{N - D/K - x_0}{x_0} \exp(-tK(N - D/K))}, \quad (1.26)$$

называется логистической кривой и имеет вид, представленный на рис. 1.15.

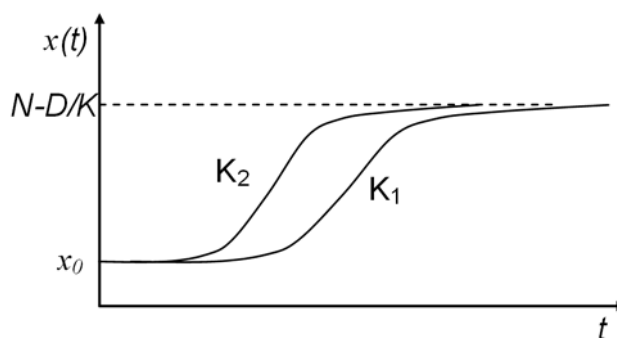


Рис. 1.15. Логистические кривые при различных значениях рождаемости ( $K_2 > K_1$ )

Введенные при получении логистической кривой ограничения наиболее типичны для экологической системы, содержащей одну популяцию самоопыляющихся растений при полном отсутствии животных. Проанализируем графики рис.1.15 применительно к популяции растений.

Очевидно, что рост численности растений ограничивается площадью пригодных для их обитания земель. Эти площади могут снижаться при засеве растениями-конкурентами других видов. При отсутствии конкурентов величина  $(N - D/K)$  характеризует количество площадей с условиями окружающей среды, пригодными для существования особей рассматриваемой популяции.

В данном задании предлагается исследовать динамику численности популяций растений. При этом необходимо выполнить следующие действия:

1. В табл. 1.1 приведены параметры роста численности популяций растений.

3. В соответствии с данными своего варианта построить график зависимости численности популяции  $x$  от времени  $t$ .

4. Значение численности популяции в начале эксперимента ( $t = 0$ ) принимается за начальное значение  $x_0$ .

5. Конечное значение численности популяции ( $t = 14$  лет) принимается за числовое значение параметра  $(N - D/K)$  из (1.26).

6. Из графика определить время  $t_1$ , через которое численность популяции достигает значения  $x_1 = (N - D/K - x_0)/2$ . Зная числовые значения  $x_0$ ,  $(N - D/K)$ ,  $x_1$ ,  $t_1$ , вычислить рождаемость  $K$  из (1.26).

7. Записать математические модели зависимости численности популяции от времени в виде решения (1.26) дифференциального уравнения (1.24).

### Пример

Данные для примера приведены в первой строке табл. 1.1. Построенный по ним график зависимости численности популяции от времени приведен на рис. 1.16.

Из графика и данных табл. 1.1 находим:  
 $x_0 = 10$ ;  $(N - D/K) = 42$ .

Выбираем  $t_1 = 5$ . Ему соответствует  $x_1 = 27$ . Подставив данные значения в выражение (1.26), получим:

$$27 = \frac{42}{1 + \frac{42 - 10}{10} \exp(-5 \cdot K \cdot 42)} = \frac{42}{1 + 3,2 \exp(-210K)}$$

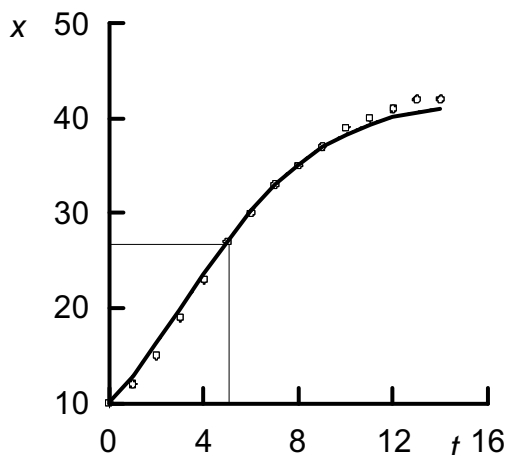


Рис. 1.16. Зависимость численности растения  $N$  от  $t$  и кривая, полученная по уравнению (1.26)

Преобразуем данное уравнение для нахождения коэффициента рождаемости  $K$ :

$$27(1 + 3,2 \exp(-210K)) = 42; \quad 27 + 86,4 \exp(-210K) = 42;$$

$$86,4 \exp(-210K) = 15; \quad \exp(-210K) = 0,1736;$$

Таблица 1.1

## Изменение численности популяций различных растений во времени

№ ва-рианта	Наименование растения	Годы														
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Пр.	Растение	10	12	15	19	23	27	30	33	35	37	39	40	41	42	42
1	Ель	4	6	8	17	26	38	47	49	50	51	51	52	52	51	52
2	Пихта	3	4	6	7	9	12	19	28	36	45	56	58	59	60	60
3	Осина	5	7	10	15	22	36	48	55	62	65	67	68	68	69	69
4	Сосна	4	5	7	10	15	18	21	24	26	28	29	29	30	31	30
5	Кедр	3	3	4	5	7	10	16	19	24	28	31	33	34	35	35
6	Ива	6	8	12	17	24	29	33	37	40	42	44	45	46	46	46
7	Тополь	5	6	8	11	16	22	27	31	34	37	39	41	42	43	43
8	Лиственница	3	3	4	6	8	10	12	14	16	18	21	22	23	24	24
9	Береза	4	5	7	10	14	19	24	29	34	38	42	45	47	48	48
10	Верба	5	6	8	10	13	18	23	28	32	36	39	42	44	45	46
11	Ромашка	30	36	46	60	75	90	106	121	135	148	160	170	175	178	180
12	Колокольчик	30	42	63	85	101	113	122	130	135	140	142	143	144	145	144
13	Роза	10	12	15	20	25	30	35	38	40	42	43	44	44	45	44
14	Тюльпан	20	25	35	55	70	93	111	126	138	149	154	157	158	159	158
15	Крокус	25	30	39	51	66	82	98	113	125	136	145	150	153	160	160
16	Георгин	20	23	28	36	46	55	63	71	78	84	89	92	94	95	96
17	Нарцисс	20	30	45	62	80	95	107	118	127	134	139	143	145	146	146
18	Лилия	30	32	36	47	62	77	86	94	100	104	107	109	111	112	112
19	Пион	5	6	8	14	24	36	47	57	63	67	70	72	73	72	73
20	Незабудка	40	55	76	101	131	154	172	180	184	186	187	188	188	187	188

$$-210K = \ln(0,1736) = -1,751; K = \frac{1,751}{210} = 0,00834.$$

Математическая модель зависимости численности растения от времени имеет вид:

$$x(t) = \frac{42}{1 + \frac{42-10}{10} \exp(-0,00834 \cdot 42 \cdot t)} = \frac{42}{1 + 3,2 \exp(-0,35t)}.$$

График, построенный по полученному уравнению, представлен на рис. 1.16.

### 1.3. Экосистемы и биосфера

#### *Основные термины и понятия*

*Экологическая система* – взаимосвязанная, единая функциональная совокупность живых организмов и среды их обитания. Составными частями экосистемы являются *биоценоз* (совокупность живых организмов) и *биотоп* (место их жизни, неживые компоненты). Для обозначения природных экосистем используется термин «*биогеоценоз*».

*Биомы* – наиболее крупные наземные экосистемы, соответствующие основным климатическим зонам Земли: пустынные, травянистые, лесные.

*Продуктивность экосистемы* – скорость, с которой продуценты усваивают лучистую энергию в процессе фотосинтеза и хемосинтеза, образуя органическое вещество, которое может быть использовано в качестве пищи другими организмами (биомасса, производимая на единице площади в единицу времени).

*Гомеостаз* – способность экосистем (организмов, популяций) противостоять изменениям и сохранять равновесие.

*Сукцессия* – последовательная смена биоценозов на одной и той же территории, ведущая к повышению устойчивости экосистемы.

*Первичная сукцессия* – процесс развития и смены биоценозов на незаселенных ранее участках.

*Вторичная сукцессия* происходит на месте сформировавшегося биоценоза после его нарушения по какой-либо причине (пожар, вырубка леса, засуха).

*Трофическая цепь* – цепь последовательной передачи вещества и эквивалентной ему энергии от одних организмов к другим.

*Биосфера* – своеобразная оболочка Земли, содержащая всю совокупность живых организмов и ту часть вещества планеты, которая находится в непрерывном обмене с этими организмами.

Классификация веществ по В.И. Вернадскому:

1. *Живое вещество* – совокупность живых организмов, населяющих планету Земля.

2. *Косное вещество* – неживое вещество, образованное процессами, в которых живое вещество участия не принимало.

3. *Биокосное вещество* – структура из живого и косного вещества, которая создается одновременно косными процессами и живыми организмами.

4. *Биогенное вещество* – вещество, которое возникло в результате разложения остатков живых организмов, но еще не полностью минерализовано.

### *Темы для обсуждения*

1. Понятие «экологическая система». Структура экосистемы.
2. Основные экосистемы Земли и их характеристика.
3. Пространственная структура экосистем.
4. Механизмы саморегуляции экосистем.
5. Понятие «сукцессия». Виды сукцессии.
6. Трофический уровень, трофические цепи и сети. Распределение энергии в трофических цепях. Правило перехода энергии по трофической цепи.
7. Продуктивность. Первичная и вторичная продуктивность.
8. Экологические пирамиды.
9. Большой и малый круговороты веществ.
10. Круговороты воды, углерода, азота, кислорода, фосфора. Влияние человека на круговороты веществ.
11. Понятие «биосфера». Структура и границы биосферы.
12. Категории веществ биосферы по Вернадскому В.И. Примеры.
13. Классификация живого вещества по типу питания и по экологическим функциям. Примеры различных групп организмов.
14. Функции живого вещества.
15. Действие I и II законов термодинамики для экосистем.
16. Основные законы, определяющие функционирование биосферы.
17. Понятие «ноосфера».
18. Основные теории происхождения жизни.

### **Структура экосистемы**

Термин «экосистема» предложен в 1935 г. английским экологом А. Тенсли. Экосистема – понятие очень широкое и применимо как к естественным, так и к искусственным комплексам.



На рис. 1.17 представлена блоковая модель экосистемы (по В.Н. Сукачеву). Любая экосистема состоит из двух блоков. Один из них представлен комплексом взаимосвязанных живых организмов – биоценозом, а второй – факторами среды – биотопом или экотопом.



Рис. 1.17. Схема биогеоценоза по В.Н. Сукачеву

### Трофическая структура биоценозов

Важнейший вид взаимоотношений между организмами это пищевые связи. По пищевым (трофическим) цепям происходит передача веществ и энергии от одного, называемого звеном организма, к другому. В природе трофические цепи связаны между собой общими звеньями и образуют трофические сети.

Простейшая цепь питания состоит из трех основных звеньев: продуценты, консументы, редуценты.

*Продуценты* (автотрофы) – организмы, которые питаются неорганическими веществами, создавая органическую материю. Это фотосинтезирующие зеленые растения, синезеленые водоросли, некоторые хемосинтезирующие бактерии.

*Консументы* (гетеротрофы) – организмы, питающиеся другими существами. Потребляют только готовые органические вещества. К ним относятся животные, человек, грибы и др.

Животные, питающиеся непосредственно продуцентами, называются *консументами первого порядка*, или первичными. Их самих употребляют в пищу *вторичные консументы*.

*Редуценты* (миксотрофы) – организмы, разлагающие органические вещества до минерального состояния. Продукты жизнедеятельности редуцентов являются пищей для продуцентов. Тем самым редуценты за-

вершают биохимический круговорот. Примерами этих организмов являются грибы, бактерии, мелкие беспозвоночные.

Продуценты, консументы и редуценты при передаче по трофическим цепям вещества и эквивалентной ему энергии образуют *трофические уровни*.

### Экологические пирамиды

Для наглядности представления взаимоотношений различных видов в биогеоценозе используют *экологические пирамиды*. Известно три основных типа экологических пирамид: пирамида численности, пирамида биомассы и пирамида энергии.

*Пирамида численности* (пирамида Элтона) представляет собой набор прямоугольников. В основании пирамиды находится прямоугольник с площадью пропорциональной количеству организмов-продуцентов. Над ним последовательно установлены прямоугольники отражающие численность организмов-продуцентов первого, второго и т. д. порядков. Завершает пирамиду прямоугольник с площадью пропорциональной численности редуцентов.

Обычно выполняется следующая закономерность: количество особей, составляющих последовательный ряд звеньев от продуцентов к консументам, уменьшается. Однако, в пирамидах численности живые организмы, имеющие различную массу, учитываются одинаково. Поэтому данное правило часто не выполняется. Например, одно дерево способно прокормить большое количество гусениц. Поэтому более удобно использовать пирамиды биомассы, которые рассчитываются не по количеству особей на каждом трофическом уровне, а по их суммарной массе, которая называется биомассой.

Пирамида биомассы характеризует массу живого вещества – указывает количество живого вещества на данном трофическом уровне ( $\text{г/м}^2$ ,  $\text{г/м}^3$ ).

В наземной экосистеме суммарная масса растений превышает массу всех травоядных, а масса травоядных превышает биомассу хищников.

Недостатком пирамиды биомассы является то, что она не отражает энергетическую значимость организмов и не учитывает скорость создания биомассы, что приводит к аномалиям в виде «неправильных» пирамид в виде гриба на тонкой ножке. Например, для океана пирамида биомассы имеет перевернутый вид, что объясняется высокой скоростью создания и потребления органического вещества. Основной причиной данной аномалии являются фитопланктон и зоопланктон. Биомасса зоопланктона превышает биомассу потребляемого им фитопланктона. Од-

нако скорость размножения фитопланктона настолько велика, что в течение малого времени он восстанавливают свою биомассу.

От данных недостатков свободны пирамиды энергии. Пирамида энергии отражает количество энергии (на ед. площади или объема), прошедшее через каждый трофический уровень экосистемы за определенный промежуток времени (например, за год).

Пирамида энергии отражает динамику прохождения массы пищи через трофическую цепь, что принципиально отличает ее от предыдущих пирамид, отражающих статические параметры. На форму этой пирамиды не влияет изменение размеров и интенсивности метаболизма особей. Если учтены все потоки энергии, то пирамида энергий всегда будет иметь правильный вид. Этот вид пирамид наиболее информативен, но наиболее труден для построения. Вид пирамид представлен на рис. 1.18.

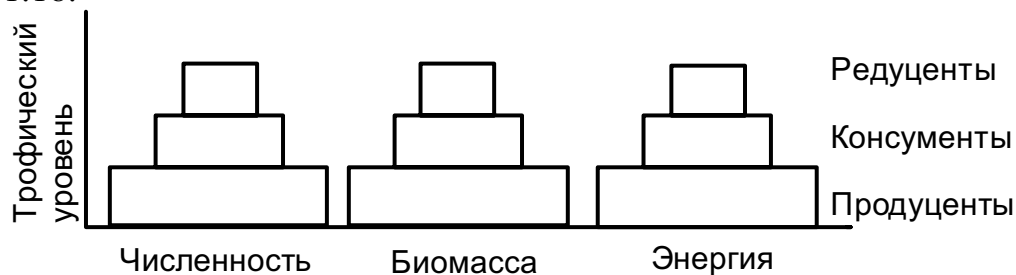


Рис. 1.18. Экологические пирамиды

На основании исследований пирамид энергий различных экосистем сформулирован закон (правило) десяти процентов, называемый также законом пирамиды энергий. Он гласит, что с одного трофического уровня экологической пирамиды на другой, более высокий ее уровень передается около 10 % энергии (1942 г., Р. Линдеман). Например, за счет 1 т съеденной растительной массы может образоваться 100 кг массы тела травоядного животного, а за счет последнего – 10 кг массы тела хищников.

### **Взаимоотношения организмов в экосистеме и устойчивость экологических систем**

Отношения организмов в экологической системе разделяют на внутривидовые и межвидовые. Внутривидовые взаимоотношения в основном ограничиваются процессами воспроизводства потомства и конкурентным отбором. Межвидовые взаимоотношения более разнообразны. К ним относят хищничество, связанное с поеданием одного организма другим, паразитизм, межвидовую конкуренцию в борьбе за природные ресурсы и многое другое.

Межвидовые взаимоотношения играют большую роль в динамике численности организмов. Хищники, уничтожая свои жертвы, влияют на их численность. Такое же действие оказывают и паразиты.

В системе «хищник – жертва» численности хищника соответствует определенная численность жертвы и по мере возрастания плотности популяции жертвы увеличивается и плотность популяции хищника. Повышение же численности хищника приводит к снижению численности жертвы, что опять снижает количество хищников. Так происходят периодические колебания численности популяций хищника и жертвы с небольшими отклонениями от какого-то оптимального уровня (рис. 1.9).

Несмотря на кажущийся вред, наносимый хищником жертве, с экологических позиций ни один вид организмов экосистемы не стремится и не может уничтожить другой вид. Более того, исчезновение так называемого естественного врага может привести к вымиранию того вида, которым он питается. Это объясняется тем, что основой бесконечного существования жизни является *круговорот веществ* – процесс движения вещества из минерального состояния при помощи продуцентов в органическую форму, а затем через цепь консументов и редуцентов вновь в минеральное состояние. Разрыв трофических цепей может привести к прекращению круговорота веществ, истощению элементов питания автотрофов и гибели всей экосистемы. Поэтому устойчивая к изменчивым факторам окружающей среды экосистема обладает большим видовым разнообразием населяющих ее организмов, то есть разветвленной трофической сетью. В такой экосистеме даже полная гибель организма определенного вида не приводит к полному уничтожению круговорота веществ. Например, гибель зайцев не приведет к вымиранию лисиц, так как они могут питаться мышами и белками.

Таким образом, способность экологической системы противостоять изменчивым условиям окружающей среды определяется как минимум двумя факторами: видовым разнообразием населения экосистемы и наличием круговорота веществ, который математически был описан Н. Винером. Этот американский математик доказал, что экосистемы, в которых происходит круговорот веществ, описываются уравнениями идентичными описанию систем автоматического регулирования, предназначенных для поддержания неизменной величины регулируемых параметров. Именно Винер внес в экологию такие присущие теории автоматического регулирования термины, как *помехи* (внешние дестабилизирующие экосистему воздействия) и *обратная связь* (замкнутость процесса передачи вещества и эквивалентных ему энергии и информации).

С понятием устойчивости экологической системы связаны ранее расшифрованные понятия *гомеостаза* и *сукцессии*.

### Пример

Даны следующие организмы: тля, дрозд, паук, розовый кустарник, божья коровка, сокол.

1. Составьте пищевую цепь.
2. Укажите количество трофических уровней.
3. Укажите консумента I уровня в этой цепи.
4. Зная правило перехода энергии с одного трофического уровня на другой и, предполагая, что животные каждого трофического уровня питаются только организмами предыдущего уровня, рассчитайте, сколько понадобится растительности, чтобы вырос один сокол весом 3 кг.

*Решение.*

1. Пищевая цепь: розовый кустарник – тля – божья коровка – паук – дрозд – сокол.
2. Количество трофических уровней: 6.
3. Консумент I уровня: тля.
4. В соответствии с правилом перехода энергии – с одного трофического уровня на последующий передается 10 % энергии. Следовательно, сокол весом 3 кг составляет 10 % от массы предыдущего трофического уровня, т. е. от общей массы дроздов. Тогда масса дроздов – 30 кг. Аналогичным образом последовательно находим массу всех трофических уровней в цепи. Масса растительности необходимой для того чтобы вырос один сокол весом 3 кг составляет 300000 кг или 300 т.

### Задания

1. Постройте возможные схемы пищевых цепей, включив в них следующие организмы: трава, кролик, почвенные грибы, ягодный кустарник, жук-навозник, растительноядное насекомое, паук, воробей, ястреб, волк, лисица, сова, уж обыкновенный, ястреб, травяная лягушка, заяц, полевка, тля, божья коровка, дуб, медуница, мухоловка, короед, дятел, муха-журчалка. Назовите организмы по типу питания.

2. Выберите, какая из предложенных последовательностей правильно показывает передачу энергии в пищевой цепи:

- а) лисица – землеройка – дождевой червь – лиственной опад – растения;
- б) лиственной опад – дождевой червь – растения – землеройка – лисица;
- в) растения – лиственной опад – дождевой червь – землеройка – лисица;
- г) растения – землеройка – дождевой червь – лиственной опад – лисица.

В выбранной последовательности укажите количество трофических уровней и назовите организмы по типу питания.

**3.** Постройте пирамиды биомассы озера в зимний и весенний период по данным таблицы (по Грину, Стауту, Тейлору, 1990):

Экологические группы организмов	Биомасса, г/м <sup>3</sup>	
	Зима	Весна
Продуценты	2	100
Первичные консументы	10	12
Вторичные консументы	3	6

Предложите возможные трофические цепи, подходящие для озера. Объясните, почему в течение года пирамида «переворачивается».

**4.** Зная правило перехода энергии с одного трофического уровня на другой, и предполагая, что животные каждого трофического уровня питаются только организмами предыдущего уровня, постройте пирамиду годовой биологической продуктивности следующей пищевой цепи: растения – кузнечики – лягушки – ужи – ястребы.

Постройте пирамиду чисел этой пищевой цепи, зная, что масса 1 побега травянистого растения – 5 г; 1 кузнечика – 1 г; 1 лягушки – 10 г; 1 ужа – около 100 г; 1 ястреба – 1,8 кг (по Жердеву, Успенскому, Дорогань, 2001). Определите количество особей на каждом трофическом уровне исходя из того что общая годовая продуктивность данной цепи составляет 40 тонн.

**5.** Ниже приведены данные о количестве ДДТ, заключенном в биомассе организмов, находящихся на разных трофических уровнях пищевой цепи (в единицах массы ДДТ на 1 млн. единиц биомассы): вода (0,02) – кладофора (0,04) – карась (10) – щука (50) – скопа (75).

В чем заключается эффект концентрации ядохимикатов в пищевых цепях? Рассчитайте кратность увеличения концентрации на последовательных уровнях данной пищевой цепи. На каком уровне ДДТ окажет наиболее сильное влияние? Объясните, почему гибель организмов (птиц, млекопитающих) от ДДТ наблюдается в период нехватки корма?

**6.** В таблице приведены первичная продукция и растительная биомасса некоторых экосистем Земли (по Уиттекеру, 1980):

Тип экосистемы	Площадь, 10 <sup>-6</sup> км <sup>2</sup>	Мировая ПП, 10 <sup>-9</sup> т/год	Глобальная биомасса, 10 <sup>-9</sup> т	ПП, г/(м <sup>2</sup> ·год)	Биомасса, кг/м <sup>2</sup>
Тропический дождевой лес	17	37,4	765		
Тропический сезонный лес	7,5	12	260		

Окончание таблицы

Тип экосистемы	Площадь, $10^{-6}$ км <sup>2</sup>	Мировая ПП, $10^{-9}$ т/год	Глобальная биомасса, $10^{-9}$ т	ПП, г/(м <sup>2</sup> ·год)	Биомасса, кг/м <sup>2</sup>
Вечнозеленый лес умеренной зоны	5	6,5	175		
Листопадный лес умеренной зоны	7	8,4	210		
Бореальный лес	12	9,6	240		
Редколесье и кустарники	8,5	6	50		
Саванна	15	13,5	60		
Злаковники умеренной зоны	9	5,4	14		
Тундра и альпийская растительность	8	1,1	5		
Пустынная и полупустынная растительность (полукустарники и кустарники)	18	1,6	13		
Экстремальные пустыни, скалы, пески и лед	24	0,07	0,5		
Возделываемые земли	14	9,1	14		
Болота	2	4	30		
Озера и реки	2	0,5	0,05		
<b>Все континенты</b>	149	115	1837		
Открытый океан	332	41,5	1		
Зоны подъема глубинных вод на поверхность	0,4	0,2	0,008		
Континентальный шельф	26,6	9,6	0,27		
Заросли водорослей и рифы	0,6	1,6	1,2		
Речные дельты	1,4	2,1	1,4		
<b>Мировой океан</b>	361	55	3,9		
<b>Всего</b>	510	170	1841		

Используя данные таблицы, определите участие (в %) различных типов экосистем Земли в формировании биомассы и первичной продукции (ПП) биосферы.

Сравните экосистемы по показателям биомассы и продуктивности. Объясните причину различия показателей биомассы и продуктивности экосистем Мирового океана и континентов.

7. В таблице приведены показатели, характеризующие продуктивность основных биомов Земли:

Тип экосистемы	Хлорофилл, $10^{-6}$ т	Листовая поверхность, $10^{-6}$ км <sup>2</sup>	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	260	26	50
Листопадный лес умеренной зоны	14	35	14	420	42	110
Бореальный лес	36	144	48	380	38	57
Редколесье и кустарники	13,6	34	5,1	300	30	40
Саванна	22,5	60	3	2000	300	220
Злаковники умеренной зоны	11,7	32	3,6	540	80	60
Тундра и альпийская растительность	4	16	8	33	3	3,5



Окончание таблицы

Тип экосистемы	Хлорофилл, $10^{-6}$ т	Листовая поверхность, $10^{-6}$ км <sup>2</sup>	Масса подстилки, $10^{-9}$ т	Потребление животными, $10^{-6}$ т/год	Продукция животных, $10^{-6}$ т/год	Биомасса животных, $10^{-6}$ т
Пустынная и полупустынная растительность (полукустарники и кустарники)	9	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	56	1,4	90	9	6
Болота	6	14	5	320	32	20
Озера и реки	0,5			100	10	10
<b>Все континенты</b>	226	644	111	7810	909	1005
Открытый океан	10			16600	2500	800
Зоны подъема глубинных вод на поверхность	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
<b>Мировой океан</b>	18			20230	3025	997
<b>Всего</b>	244			28040	3934	2002

Используя данные таблицы и задания б, оцените:

- а) эффективность формирования чистой первичной продукции ( $\text{г}/\text{м}^2$  листовой поверхности в год);
- б) эффективность продуктивности хлорофилла разных типов экосистем ( $\text{г}/\text{г}$  хлорофилла);
- в) скорость биологического круговорота в наземных экосистемах по отношению массы подстилки к массе чистой первичной продукции;
- г) степень использования чистой первичной продукции животными (%);
- д) степень перехода органического вещества растений в животное органическое вещество (%).

8. В таблице приведены продукция и биомасса молодого дубово-соснового леса и климаксного широколиственного леса:

Показатель	Дубово-сосновый лес		Климаксный широколиственный лес	
	Чистая продукция, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$	Биомасса, $\text{кг}/\text{м}^2$	Чистая продукция, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$	Биомасса, $\text{кг}/\text{м}^2$
Чистая продукция и биомасса для верхних ярусов	1060	9,7	1300	58,5
Чистая продукция и биомасса для растений нижних ярусов	134	0,46	90	0,135
Процентное участие разных фракций:				
древесина ствола	14	36,1	33,3	69,3
кора ствола	2,5	8,4	3,7	6,3
древесина и кора ветвей	23,3	16,9	13,1	10,3
листья	33,1	4,2	29,1	0,6
плоды и цветки	2,1	0,2	1,8	0,03
корни	25,1	34,2	19	13,5

Сравните чистую первичную продукцию и биомассу молодого дубово-соснового леса и климаксного широколиственного леса. Оцените вклад различных ярусов и фракций в формирование чистой первичной продукции и биомассы. Чем можно объяснить такие различия?

Определите коэффициент аккумуляции биомассы в этих сообществах (отношение биомассы к продукции).

Определите коэффициент обновляемости биомассы для разных ее фракций в данных сообществах (отношение продукции к биомассе).

Определите валовую первичную продукцию этих сообществ, если расходы на дыхание растений в дубово-сосновом лесу составляют  $1450 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ , а в климаксном широколиственном лесу –  $2110 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ .

Определите аккумуляцию биомассы в экосистемах, если на дыхание животных в дубово-сосновом лесу расходуется не менее  $80 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ , на дыхание сапробов –  $580 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ , а в широколиственном лесу – не менее 1070 и  $250 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ .

**9.** В таблице приведены данные эксперимента по определению влияния лесных биогеоценозов водосбора на вынос питательных веществ с речным стоком. Значения даны в  $\text{кг}/(\text{га} \cdot \text{год})$ .

Элемент	Облесенный водосбор		Водосбор с вырубленным лесом
	Принос с осадками	Вынос со стоком	Вынос со стоком (чистый)
Кальций	2,6	11,7	77,9
Натрий	1,5	6,8	15,4
Магний	0,7	2,8	15,6
Калий	1,1	1,7	30,4
Аммонийный азот	2,1	0,3	1,6
Нитратный азот	3,7	2,0	114,0
Сера	12,7	16,2	2,8
Кремний	следы	16,4	30,0
Алюминий	следы	1,8	20,7

Определите соотношение приноса и выноса элементов (чистый вынос) в ненарушенной лесной экосистеме.

Определите изменение чистого выноса элементов после вырубки леса.

К каким последствиям могут привести подобные изменения в структуре и функционировании лесной экосистемы?

**10.** Определите из представленного списка тип сукцессии:

- превращение заброшенных полей в дубравы;
- появление лишайников на остывшей вулканической лаве;
- постепенное обрастание голой скалы;
- появление на сыпучих песках сосняка;
- превращение гарей в еловые леса;
- постепенная смена вырубок сосняком;
- превращение деградированных пастбищ в дубравы.

**11.** Приведены различные вещества: битум, почва, базальт, микроорганизмы, нефть, гранит, природный газ, кора деревьев, песок, глина,

ил, природные воды, атмосфера. Определите к какому типу веществ по классификации В.И. Вернадского относятся представленные примеры.

**12.** Установите соответствие функций живого вещества: энергетическая, газовая функция, концентрационная, окислительно-восстановительная, средообразующая, рассеивающая, информационная:

- а) образование озонового экрана;
- б) выделение живыми организмами аммиака;
- в) аккумуляция железобактериями железа;
- г) образование органических веществ при автотрофном питании;
- д) способность хвощей накапливать кремний;
- е) процессы фотосинтеза;
- ж) процессы минерализации органических веществ;
- з) процессы дыхания;
- и) выделение кислорода сине-зелеными водорослями;
- к) разложение организмов после их гибели.

**13.** Общее содержание углекислого газа в атмосфере Земли составляет около 1100 млрд. т. Установлено, что за год растительность ассимилирует почти 1 млрд. т. углерода. Примерно столько же его выделяется в атмосферу. Определите, за сколько лет весь углерод атмосферы пройдет через организмы?

Перечень рекомендуемой литературы к главе I: [1], [3], [4], [6–8], [14], [17–28], [31–33], [36].

## 2. ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

### 2.1. Демографические проблемы

#### *Основные понятия и определения*

*Демография* – наука, изучающая население и закономерности его развития в общественно-исторической обусловленности.

*Демографический взрыв* – резкое увеличение скорости роста численности населения.

*Депопуляция* – уменьшение численности популяции, населения.

*Суммарный коэффициент рождаемости (СКР)* – среднее число детей, которое рождает каждая женщина в течение своей жизни.

*Общий коэффициент рождаемости (ОКР)* – среднее число рождений на 1000 человек в год.

*Общий коэффициент смертности (ОКС)* – среднее число смертей на 1000 человек в год.

*Средняя продолжительность жизни* – средний возраст особей определенной статистической выборки; частное от деления суммы возрастов погибших особей на их число.

*Ожидаемая продолжительность жизни* – среднее количество лет, которое прожил бы новорожденный младенец при условии, что в каждом возрасте условия для сохранения его жизни оставались такими, какими они были для соответствующей возрастной группы в год его рождения.

*Естественный прирост населения* – разница между числом родившихся и умерших людей за определенный период времени.

*Урбанизация* – 1) рост и развитие городов, увеличение городского населения в стране, регионе, мире; 2) приобретение сельской местностью внешних и социальных черт, характерных для города; 3) процесс повышения роли городов в развитии общества.

#### *Темы для обсуждения*

1. Демографический взрыв, его причины.
2. Теория Т. Мальтуса.
3. Основные демографические показатели. Статические характеристики (численность, плотность, пространственная структура, половой и возрастной состав). Динамические характеристики (рождаемость, смертность, миграционная активность, скорость роста, продолжительность жизни).

4. Особенности демографической ситуации в развитых странах.
5. Особенности демографической ситуации в развивающихся странах.
6. Особенности демографической ситуации в России.
7. Теория демографического перехода.
8. Методы регулирования численности населения.

### Пример

Предположим, что популяция людей начинает заселять необжитую область. В таблице представлен возрастной состав популяции.

Возрастные группы	Число людей разных возрастов, тыс. чел.
0–9 лет	5
10–19 лет	4
20–29 лет	3

СКР составляет 2, продолжительность жизни в популяции – 60 лет, соотношение полов – 1:1, репродуктивный возраст – от 20 до 29 лет, все женщины рожают одинаковое количество детей.

Построить исходную и последующие возрастные пирамиды (через 10 до 60 лет), затем кривую роста численности населения (учитывая рождение детей, увеличение возраста, смерть от старости), указать тип кривой роста.

*Решение.* Построим возрастные пирамиды. При построении возрастных пирамид по вертикали откладывается возраст (в масштабе 1 клетка = 10 годам), а по горизонтали количество людей в данной возрастной группе (в масштабе 1 клетка – 1 тыс. чел.). Основание пирамиды составляют организмы младших возрастов, а вершину – старшие особи. Таким образом, в рассматриваемых популяциях нижняя ступень пирамиды соответствует возрастной группе 0–9 лет. Через 10 лет все люди переходят в следующую возрастную группу. Поэтому, чтобы построить возрастную пирамиду для данного момента времени, прежнюю пирамиду поднимают на 1 клетку вверх, а снизу пристраивают новую ступень, соответствующую численности вновь родившихся детей. Число новорожденных ( $b$ ) в популяции за каждые 10 лет будет определяться по формуле:

$$b = \frac{N_{20-29}}{2} СКР, \quad (2.1)$$

где  $N_{20-29}$  – число людей, находившихся в течение предыдущего десятилетия в репродуктивном возрасте,  $1/2$  – доля женщин в популяции, СКР – суммарный коэффициент рождаемости. Смертность в популяциях на-

ступает только после 60 лет. Следовательно, возрастная группа 20–29 лет из исходной пирамиды попадает в разряд умерших через 40 лет. Через 50 лет умирает следующая возрастная группа и т. д.

Исходная и последующие возрастные пирамиды приведены на рис. 2.1 и 2.2.

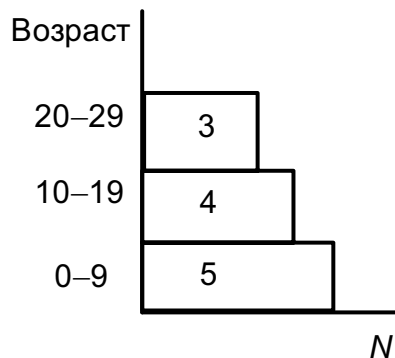


Рис. 2.1. Исходная возрастная пирамида

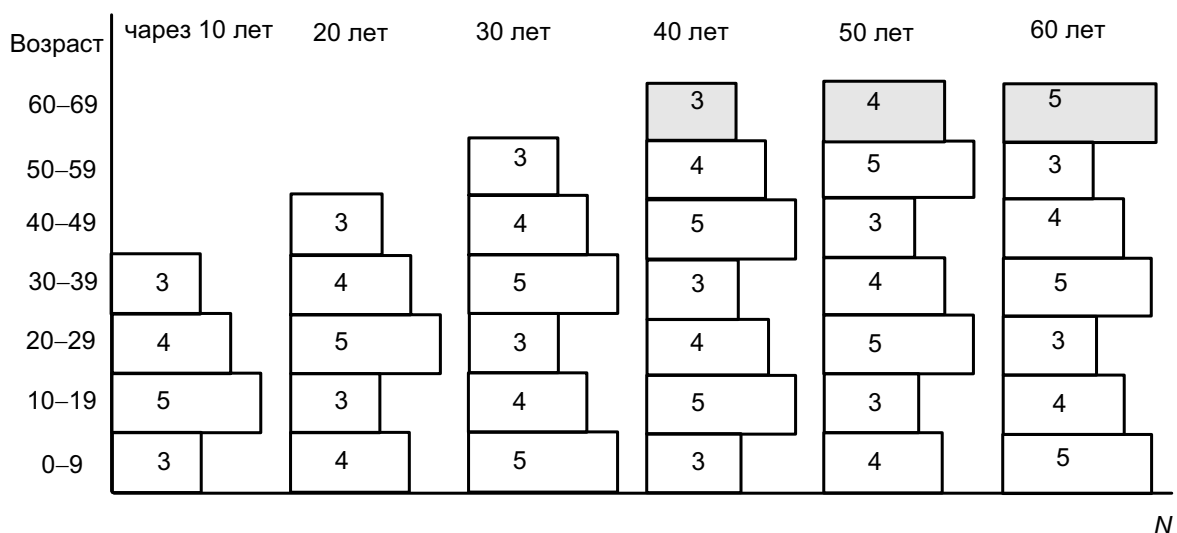


Рис. 2.2. Возрастные пирамиды (через 10 до 60 лет) развития популяции людей

Построим кривые роста численности популяции. Сначала составьте для обеих популяций таблицы динамики численности населения (табл. 2.1), пользуясь построенными возрастными пирамидами. Затем по данным первого и последнего столбцов постройте графики изменения численности во времени. При этом откладывайте по горизонтальной оси годы, а по вертикальной – численность людей (рис. 2.3).

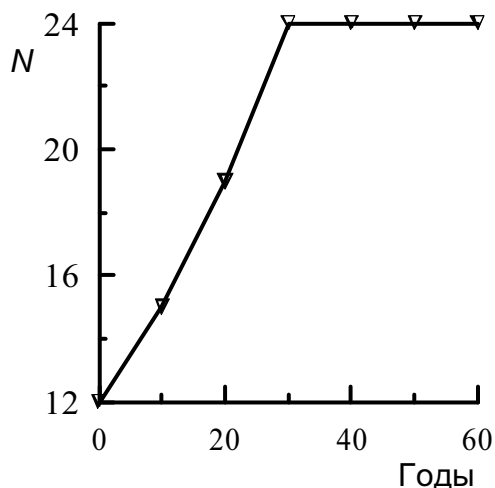


Рис. 2.3. Кривая роста

Таблица 2.1

Динамика численности населения

Годы, прошедшие от заселения	Рождаемость (b)	Смертность (d)	Прирост ( $r = b - d$ )	Численность (N)
0	0	0	0	$N_0 = 12$
10	3	0	3	$N_{10} = N_0 + r_{10} = 15$
20	4	0	4	$N_{20} = N_{10} + r_{20} = 19$
30	5	0	5	24
40	3	3	0	24
50	4	4	0	24
60	5	5	0	24

Задания

1. Используя данные табл. 2.2–2.5, сделайте выводы о (об):

- изменении демографической ситуации в РФ после распада СССР по настоящее время, назовите причины резкого изменения демографической ситуации в этот период;
- причинах смертности в РФ;
- миграционном приросте в РФ.

Какая демографическая политика проводится в РФ? Сравните демографическую ситуацию в РФ с ситуацией в странах ЕС, развивающихся странах Юго-Восточной Азии и странах Африки.

2. Обсудите среднюю продолжительность жизни (общую, для мужчин и женщин отдельно), младенческую смертность, возрастную структуру, параметры урбанизации в РФ. Сравните указанные параметры со странами ЕС, развивающимися странами Юго-Восточной Азии и странами Африки.



Таблица 2.2

*Изменение численности населения РФ в 1990–2009 гг.*

Годы	Численность населения на начало года, млн. чел.	Изменения за год, тыс. чел.		
		Общий прирост	в том числе	
			естественный	миграционный
1990	147,7	608,6	333,6	275,0
2001	146,3	-654,3	-932,8	278,5
2006	142,8	-561,2	-689,5	128,3
2008	142,0	-121,3	-363,5	242,2
2009	141,9	-12,1	-198,4	210,6

Таблица 2.3

*Причины смертности в РФ за период 2008–2009 гг.*

Причины смертности	Число умерших на 100 тыс. населения		
	2009	2008	2009 в % к 2008
Всего умерших	1416,9	1479,8	95,7
В том числе от:			
инфекционных заболеваний	23,3	24,0	97,1
новообразований	205,0	203,9	100,5
болезней системы кровообращения	796,6	841,9	94,6
болезней органов дыхания	53,0	56,1	94,5
болезней органов пищеварения	61,7	63,2	97,6
внешних причин смерти	150,5	166,0	90,7
транспортных травм	20,9	24,5	85,3
случайных отравлений алкоголем	11,5	13,7	83,9
самоубийств	27,2	27,8	97,8
убийств	15,0	16,6	90,4

Таблица 2.4

*Общие итоги миграции в РФ за период 2008–2009 гг.*

	Январь – Октябрь 2009 г., человек	Январь – Октябрь 2008 г., человек
<b>Миграция (всего)</b>		
Прибывшие	1637644	1854795
Выбывшие	1427198	1653386
Миграционный прирост	+210446	+201409
<b>Миграция в пределах России</b>		
Прибывшие	1399755	1619537
Выбывшие	1399755	1619537
<b>Международная миграция</b>		
Прибывшие	237889	235258
Выбывшие	27443	33849

## Окончание таблицы 2.4

	Январь – Октябрь 2009 г., человек	Январь – Октябрь 2008 г., человек
Миграционный прирост	+210446	+201409
С государствами-участниками СНГ		
Прибывшие	222417	217985
Выбывшие	17073	21951
Миграционный прирост	+205344	+196034
Миграция со странами дальнего зарубежья		
Прибывшие	15472	17273
Выбывшие	10370	11898
Миграционный прирост	+5102	+5375

Таблица 2.5

## Показатели международной миграции в РФ

	2009		2008	
	Число при- бывших	Число вы- бывших	Число при- бывших	Число вы- бывших
Международная миграция				
Всего	237889	27443	235258	33849
С государствами СНГ				
Всего	222417	17073	217985	21951
Беларусь	4614	2207	4951	3419
Казахстан	33379	6080	32865	6455
Республика Мол- дова	13848	521	12770	471
Украина	38611	4822	41233	7722
С государствами Закавказья				
Всего	49756	1785	49305	1901
Азербайджан	4614	2207	4951	3419
Армения	33379	6080	32865	6455
С государствами Средней Азии				
Всего	82209	1658	76861	1983
Киргизия	20090	571	19712	548
Таджикистан	23096	497	17245	545
Туркмения	2822	49	3353	72
Узбекистан	36201	541	36551	818
Со странами дальнего зарубежья				
Всего	15472	10370	17273	11898
Германия	2239	3502	2710	4143
Греция	202	69	244	81
Израиль	729	751	848	903
Канада	80	404	93	438
Китай	640	53	906	47
Латвия	536	153	595	188
Литва	368	146	374	205

	2009		2008	
	Число при- бывших	Число вы- бывших	Число при- бывших	Число вы- бывших
США	509	1206	457	1460
Финляндия	126	594	148	515
Эстония	477	204	390	257

3. Две обособленные популяции людей начинают заселять две недавно необжитые области. Каждая из популяций характеризуется одинаковым возрастным составом, возрастная структура популяций приведена в таблице:

Возрастные группы	Число людей разных возрастов (тыс. чел.)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0–9 лет	5	6	4	3	4	2	4	5	3	3	4	2
10–19 лет	4	5	3	4	5	3	5	6	4	5	6	4
20–29 лет	3	4	2	5	6	4	3	4	2	4	5	3

В одной популяции СКР составляет 4, а в другой 2. Продолжительность жизни людей в каждой популяции составляет 60 лет, соотношение полов 1:1, репродуктивный возраст – от 20 до 29 лет, все женщины в каждой популяции рожают одинаковое количество детей. Постройте исходную возрастную пирамиду для обеих популяций и возрастные пирамиды через каждые 10 лет на 60 лет вперед.

Постройте для каждой популяции исходную и последующие возрастные пирамиды, затем кривые роста численности населения (учитывая рождение детей, увеличение возраста, смерть от старости). Сравните рост численности двух популяций, сделайте прогноз на будущее для каждой популяции и ответьте на вопросы:

- При каких показателях рождаемости и смертности наблюдается демографический взрыв?
- Какой характер роста численности имеет популяция с СКР равным 4? Какова форма кривой роста? Как она называется? Прекратится ли рост этой популяции, пока ей будет хватать ресурсов?
- Каким типом роста характеризуется популяция с СКР равным 2? Прекращается ли рост этой популяции?
- Какая кривая отражает рост численности населения в мире? При каком значении СКР демографический взрыв прекратится?

4. В настоящее время в развитых странах наблюдается увеличение продолжительности жизни людей. Постройте новые таблицы изменения численности людей для обеих популяций (условия задания 1) учитывая, что продолжительность жизни всех людей увеличится до 90 лет. По-

стройте кривые роста численности популяций, проанализируйте каким образом продолжительность жизни влияет на рост численности населения и ответьте на вопросы:

- Изменится ли характер роста популяции при увеличении продолжительности пострепродуктивной жизни?
- За счет чего, главным образом, растет численность населения: за счет увеличения продолжительности жизни или увеличения СКР?

5. Постройте пирамиды численности и кривые роста на период до ста лет (условия задания 1) с учетом того, что в первые 30 лет СКР = 4, а затем в связи с перенаселением его снижают до 2. Постройте таблицу и кривую роста численности населения. Проанализируйте полученные результаты и ответьте на вопросы:

- Может ли население быстрорастущей популяции стабилизироваться сразу после введения ограничений рождаемости?
- Сколько лет прошло до стабилизации численности популяции в рассмотренном случае?

## 2.2. Здоровье человека

### *Основные понятия и определения*

*Экология человека* – наука, изучающая закономерности взаимодействия человека с окружающими природными ресурсами, социальными, производственными, бытовыми факторами, включая культуру, обычаи, религию и пр. Её предмет состоит в изучении приспособительных изменений, происходящих в человеческом организме в зависимости от природных и социальных условий жизни.

*Здоровье* – позитивное состояние, характеризующее личность в целом, т.е. состояние физического, духовного и социального благополучия.

*Здоровый образ жизни* – поведение, укрепляющее или поддерживающее здоровье с объективной и субъективной точки зрения.

*Пищевой рацион* – суточное количество пищи для одного человека. Набор продуктов и методы их кулинарной обработки должны удовлетворять потребности организма в необходимых пищевых веществах с учетом возраста, пола, трудовой деятельности, климатических условий и т. д.

*Физиологическая адаптация* – устойчивый уровень активности физиологических систем, органов и тканей, а также механизмов управления, которые обеспечивают возможность длительной активной жизнедеятельности организма человека в измененных условиях существования.

ния (общеприродных и социальных), а также способность к воспроизведению потомства.

*Ксенобиотики* – вещества, чуждые живым организмам и биосфере, чаще всего ядовитые: пестициды, фенолы, детергенты, пластмассы и др.

*Мутагены* – физические и химические факторы, вызывающие наследственные изменения, мутации.

*Стресс* – неспецифическая реакция человеческого организма, возникающая в ответ на повышенные требования среды.

*Онтогенез* – индивидуальное развитие особи, включая всю совокупность ее преобразований от зарождения до конца жизни.

### *Темы для обсуждения*

1. Понятие об экологии человека как науке. Предмет, задачи, объект исследования.
2. Отличие человека от животных.
3. Биологические потребности человека.
4. Определение здоровья человека по рекомендациям Всемирной организации здравоохранения (**ВОЗ**). Причины патологического состояния и болезней человека.
5. Адаптация к экстремальным условиям.

### *Задания*

1. Используя данные табл. 2.6–2.8, сделайте выводы о (об):
  - причинах смертности в РФ, сравнить со странами ЕС (табл. 2.6);
  - расходах на медицину и демографических показателях в России и США (табл. 2.7);
  - динамике младенческой смертности, продолжительности жизни и расходов на медицину в России и США (табл. 2.8); увязать эти выводы с экономикой (валовой национальный продукт) стран мира.
2. Графически отобразите динамику продолжительности жизни общей заболеваемости населения и заболеваемости туберкулезом, сифилисом, ВИЧ, развитием злокачественных образований. Сопоставьте эти данные с динамикой использования спиртных напитков, табака. Выскажите свои суждения о корреляционных связях между курением, употреблением спиртного и заболеваниями. Использовать данные табл. 2.9, 2.10.

Таблица 2.6

*Вероятная смертность (на 1000 родившихся) и средний возраст умерших (лет) в странах ЕС и России (анализ по причинам смерти) (по Н.И. Прищепу, 2007)*

Причина смерти	Мужчины				Женщины			
	вероятная смертность		средний возраст умерших		вероятная смертность		средний возраст умерших	
	Россия	Страны ЕС	Россия	Страны ЕС	Россия	Страны ЕС	Россия	Страны ЕС
Инфекционные и паразитарные болезни,	20	9	44,8	70,9	5	9	40,8	76,4
в том числе: туберкулез	17	1	48,5	72,2	3	1	49,6	76,5
Злокачественные новообразования желудка и кишечника	40	47	66,4	74,0	38	40	69,5	77,0
Злокачественные новообразования трахеи, бронхов и легких	48	71	64,6	71,0	9	20	68,6	71,8
Болезни системы кровообращения,	480	399	69,2	77,4	657	468	77,3	82,3
в том числе: ишемическая болезнь сердца,	249	175	68,4	75,8	279	156	77,4	81,6
сосудистые поражения мозга	163	94	72,0	79,1	286	134	77,6	82,4
Болезни органов дыхания	57	103	62,5	79,3	28	88	66,3	82,1
Болезни органов пищеварения	30	43	59,0	71,3	23	42	66,6	78,1
Врожденные аномалии и причины перинатальной смерти	14	5	1,7	8,9	11	4	2,1	11,1
Другие болезни	25	85	55,8	74,7	27	110	60,7	80,1
Несчастные случаи,	184	52	42,9	56,2	58	33	49,4	70,2
в том числе: автотранспортные несчастные случаи	14	12	39,9	44,2	6	4	46,7	49,3
Отравления	29	1	45,2	44,6	9	1	49,7	58,7
Самоубийства	37	14	44,5	54,4	8	5	54,3	57,3
Убийства	21	1	40,4	41,0	8	0	46,8	46,1
Повреждения с неопределенными намерениями	28	3	44,3	52,1	9	2	50,8	63,1
Другие симптомы и недостаточно обозначенные состояния	54	21	41,6	65,8	18	21	48,4	79,0

Таблица 2.7

*Сравнительные данные по продолжительности жизни и расходам на медицину в России и США (по Н.И. Прищепу, 2007)*

Показатель	Россия	США
Средняя продолжительность жизни (лет): мужчины/женщины	59/72	74/80
Показатель рождаемости на 1000 населения	9,7	14,1
Показатель смертности на 1000 населения	13,9	8,7
Показатель смертности от инсультов, инфарктов и др. на 100000 населения	895	351
Показатель смертности от онкологических заболеваний на 100000 населения	201	203
Заболеваемость туберкулезом на 100000 населения	92,1	5,8
Врачей на 100000 населения	420	279
Расходы на медицину в стране в % к ВВП	2,9	13

Таблица 2.8

*Младенческая смертность, средняя продолжительность жизни и ВВП (по Н.И. Прищепу, 2007)*

Регион	Смертность детей до 1 года на 1000 новорожденных, 2005 г.	Средний возраст, лет	Средняя продолжительность жизни, лет	Годовой прирост населения, %	ВВП на 1 жителя, долл. США
Россия	16	37,6	67,7	-0,29	8377
Япония	3,0	45,0	80,9	0,11	26755
Канада	5,4	37,8	79,9	0,94	27840
США	6,9	35,8	77,1	0,92	34142
Аргентина	16,2	29,0	75,5	1,05	12377

Таблица 2.9

*Заболеваемость по основным классам болезней на 1000 чел. в 1999–2004 гг. (зарегистрировано с диагнозом, установленным впервые в жизни) (по Н.И. Прищепу, 2007)*

Заболевание	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Все болезни	705,6	730,5	719,7	740,1	748,6	744,9
Из них:						
некоторые инфекционные и паразитарные болезни	44,7	44,3	43,8	41,2	37,7	38,6
новообразования	8,1	8,4	8,5	9,0	9,0	9,6

Окончание таблицы 2.9

Заболевание	1999	2000	2001	2002	2003	2004
болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	3,5	3,8	3,9	5,1	4,4	4,5
болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	8,0	8,5	8,9	10,7	9,6	9,9
болезни нервной системы	16,3	15,3	15,0	15,6	15,2	15,6
болезни глаза и его придаточного аппарата	30,2	31,9	32,4	33,5	32,9	34,1
болезни уха и сосцевидного отростка	20,8	21,9	22,3	22,9	22,5	23,9
болезни системы кровообращения	16,1	17,1	18,0	19,5	20,6	22,1
болезни органов дыхания	301,6	317,2	296,8	298,2	310,6	294,0
болезни органов пищеварения	33,8	32,3	33,4	35,7	35,3	35,6
болезни кожи и подкожной клетчатки	43,0	44,0	45,3	46,9	47,1	49,0
болезни костномышечной системы и соединительной ткани	29,2	30,6	31,6	35,1	33,6	34,2
болезни мочеполовой системы	36,2	37,6	38,8	40,8	42,1	45,7
осложнения беременности, родов и после родового периода	53,5	52,9	55,1	60,2	63,3	62,4
врожденные аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения	1,4	1,5	1,5	1,7	1,6	1,7
травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин	83,9	86,2	87,7	89,2	89,9	90,0



Таблица 2.10

Продажа алкогольных напитков, пива и табачных изделий в 1970–2004 гг.  
(по Н.И. Прищепу, 2007)

Наименование	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004
Алкогольные напитки и пиво											
В абсолютном алкоголе: всего, млн дкл	110,6	133,0	145,9	126,3	79,8	139,9	117,5	120,3	125,1	131,1	137,2
на душу насе- ления, л	8,48	9,91	10,52	8,81	5,38	9,45	8,07	8,31	8,70	9,07	9,54
В натураль- ном выражении, млн дкл:											
водка и лике- ро-водочные изделия вино- градные и плодовые ви- на	193,1	257,7	274,7	243,3	90,3	64,5	52,3	56,1	62,5	72,2	78,6
коньяки	4,1	2,7	5,2	4,9	8,5	5,7	4,1	4,5	5,2	5,9	6,4
шампанские и игристые вина	3,9	5,4	7,6	11,0	10,9	21,2	18,3	18,5	17,5	18,7	19,5
пиво	244,4	308,7	334,6	356,3	307,2	358,0	524,6	634,6	707,8	762,5	844,7
Табачные изделия											
всего, млрд шт.	208,0	228,2	248,5	249,3	245,8	207,0	355,4	362,5	388,1	390,1	371,5
на душу насе- ления, тыс. шт.	1,6	1,7	1,8	1,7	1,7	1,4	2,4	2,5	2,7	2,7	2,6

3. Проведите опыт по изучению суточного ритма частоты ваших сердечных сокращений. Ежедневно три раза в сутки в спокойном состоянии измеряйте свой пульс. Длительность одного измерения должна быть строго постоянна – 30 секунд. Измерения повторите в течение 4 дней. Полученные данные занесите в таблицу:

Время суток	Дни				Среднее за 4 дня
	первый	второй	третий	четвер- тый	
Утро (8 ч)					
Середина дня (15 ч)					
Вечер (21 ч)					

Сделайте вывод, проявляется ли суточный ритм в частоте ваших сердечных сокращений. С учетом полученных данных выскажите предложения по планированию своего рабочего дня, времени отдыха.

4. Используя содержание табл. 2.11, а также данные о ежедневном расходе продуктов питания, сделайте вывод о потреблении продуктов питания в России и других государствах.

5. Используя верное соотношение белков, жиров, углеводов (1 : 1 : 4), рассчитайте суточную потребность в них для вашего веса (на 1 кг веса в сутки должно использоваться не более 1 г белков). Рассчитайте фактическое потребление белков, жиров и углеводов в вашем рационе, используя таблицу содержания белков, углеводов (Приложение 2). Сравните полученные результаты. Сделайте вывод, что пища с данным соотношением белков, жиров, углеводов является для вас благоприятным или неблагоприятным фактором и как необходимо изменить рацион питания, чтобы сделать его полноценным.

Таблица 2.11

*Потребление продуктов питания на душу населения в год, кг  
(по Н.И. Прищепу, 2007)*

Страна	Год	Мясо и мясные продукты в пересчете на мясо	Молоко и молочные продукты	Животное масло	Яйца, шт.	Рыба и рыбопродукты	Сахар	Растительное масло	Картофель	Овощи и бахчевые	Фрукты и ягоды	Хлебные продукты
Россия	2002	46	229	3,7	245	11,1	36	10,6	122	91	40	122
Австрия	2000	87	366	4,9	242	8,0	40	18,2	59	90	145	73
Азербайджан	2001	17	152		71	3	12	2,6	57	148	63	160
Казахстан	2001	38	195		109	8,1	26	13,8	59	83	23	140
Киргизия	2001	41	209		48	0,6	11	2,6	121	141	33	127
США	2000	116	267	2,1	250	10,5	30	27,1	57	124	100	105
Япония	1997	44	92	0,8	307	57,6	18	15,0	102	123	6	110

6. Используя энергетическую ценность продуктов (Приложение 2), рассчитайте суточное потребление энергии и сделайте вывод о ее эффективном использовании с учетом вашей физической активности и возраста. Норма энергопотребления для человека, занимающегося умственным трудом, в возрасте 18–29 лет составляет 2400 ккал для мужчин и 2000 ккал для женщин.

7. Индекс массы тела (ИМТ) – индекс Кетле рассчитывается по формуле

$$ИМТ = \frac{\text{вес тела (кг)}}{\text{длина тела}^2 (\text{м})}$$

Оцените свой вес с учетом рекомендаций ВОЗ: желательный диапазон индекса 18,5–25 (22–24 для молодой женщины, собирающейся стать мамой); избыточная масса тела 25,1–30; ожирение > 30,1. У мужчин на каждый сантиметр роста должно приходиться 300–400 г массы тела, у женщин – 325–375 г.

В последние годы делаются попытки более конкретно прогнозировать степень риска для здоровья – индекс массы тела и ожирения, используя, в частности, и антропометрические индексы. Так, считается, что отложившийся в абдоминальной области жир представляет большую опасность для здоровья, и риск является особенно значительным в случае, когда отношения окружности талии к окружности бедер больше чем 0,85 (Королева А. А. и др., 2003). Проанализируйте с учетом представленной информации, насколько у вас идеальный вес и насколько увеличивается риск иметь дополнительные заболевания от избыточного веса. Сделайте выводы о корректировке своего питания и образа жизни с учетом полученных расчетов.

8. Для сопоставления стран по уровню социального развития ООН предложен индекс человеческого развития (ИЧР). Он вычисляется, как средневзвешенное частных индексов человеческого развития (долголетия, образования, благополучия). Индекс долголетия учитывает: ожидаемую продолжительность жизни; образования – грамотность и полноту охвата населения обучением; благополучия – ВВП на душу населения. ИЧР вычисляется по следующей методике:

$$\text{ИЧР} = \sum_{i=1}^4 a_i \frac{X_i - X_{i\min}}{X_{i\max} - X_{i\min}},$$

где  $X_{i\max}$  и  $X_{i\min}$  – максимальное и минимальное значения частных индексов человеческого развития (приведены в табл. 2.12);  $X_i$  – конкретные значения частного индекса (для страны, региона, континента);  $a_i$  – весовые коэффициенты показателей, подобранные так, чтобы частные индексы имели равный вес ( $a_1 = 1/3$ ;  $a_2 = 2/9$ ;  $a_3 = 1/9$ ;  $a_4 = 1/3$ ).

Таблица 2.12

*Фиксированные данные для расчета показателей*

Показатель	$X_{\min}$	$X_{\max}$	$a_i$
Ожидаемая продолжительность жизни, лет	25	85	0,33
Процент грамотных	0	100	0,22
Процент получающих образование	0	100	0,11
ВВП/чел., долл. (десятичный логарифм)	100 (2)	40 000 (3,67)	0,33

Используя данные табл. 2.13, определите ИЧР некоторых стран. Выделите страны с высоким, средним и низким уровнем социального развития. К каким мировым регионам они относятся? Используя показатели уровня благосостояния и качества жизни своего места жительства (село, поселок, город), рассчитайте ИЧР (табл. 2.14). Сделайте вывод об уровне жизни вашей местности.

Таблица 2.13

*Уровень благосостояния и качества жизни в отдельных странах мира в 2002 г. (по Н.И. Прищепу, 2007)*

Страна	Продолжительность жизни	Процент грамотных	Уровень образования	ВВП на душу населения, долл.	Логарифм ВВП на душу населения
Болгария	71	98,5	77,5	6740	3,87
Бразилия	68	87,3	95	7070	4,10
Исландия	79,65	100	91,5	28 850	3,60
Китай	70,75	92,5	63,5	3950	2,83
Россия	66,75	99,55	78,5	6880	4,24
США	76,85	100	93,5	34 280	3,77
Эфиопия	45,65	40,25	34	800	4,40
Япония	81,2	100	83	25 550	3,84

Таблица 2.14

*Данные для расчета показателей субъектов РФ (по Н.И. Прищепу, 2007)*

Субъект Российской Федерации	ВВП на душу населения, долл.	Ожидаемая продолжительность жизни, лет	Доля учащихся среди возрастов 6–23 года, %
Москва	17 279	67,8	106,8
Липецкая область	7 886	67,0	73,2
Вологодская область	8 460	65,9	71,9
Республика Коми	9 623	64,6	69,9
Томская область	6 835	65,0	84,5
Пермская область	7 566	63,7	72,5
Краснодарский край	5 834	66,8	69,8

Перечень рекомендуемой литературы к главе II: [2], [9], [16], [18], [20], [23], [27–28], [30–31], [37], [39].

### 3. ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

#### 3.1. Природные ресурсы и рациональное природопользование

##### *Основные термины и понятия*

*Природные ресурсы* – совокупность природных объектов и явлений, которые используются человеком для поддержания своего существования.

*Особо охраняемые природные территории* – участки суши или водной поверхности, которые в силу своего природоохранного и иного значения полностью или частично изъяты из хозяйственного пользования и для которых установлен режим особой охраны.

*Отходы производства* – остатки сырья, материалов, химических соединений, образовавшиеся при производстве или выполнении работ и утратившие целиком или частично исходные свойства.

##### *Темы для обсуждения*

1. Классификация природных ресурсов.
2. Динамика сокращения биологического разнообразия на планете.
3. Основные причины утраты биологического разнообразия.
4. Деградация почв, причины.
5. Основные виды антропогенного воздействия на почвы: эрозия, загрязнение, засоление и заболачивание, опустынивание, отчуждение земель для промышленного и коммунального строительства.
6. Основные мероприятия по защите почв от деградации.
7. Пути решения проблемы ресурсов полезных ископаемых.

##### **Оценка истощаемости природного ресурса**

Если известен уровень добычи природного ресурса в текущем году и потребление данного ресурса в последующие годы будет возрастать с заданной скоростью прироста ежегодного потребления, то возможно оценить срок истощения данного природного ресурса. Для расчета используется сумма членов ряда геометрической прогрессии:

$$Q = \frac{q \left( (1 + TP/100)^t - 1 \right)}{TP/100}, \quad (3.1)$$

где  $Q$  – запас ресурсов,  $q$  – годовая добыча ресурса,  $TP$  – прирост потребления ресурса,  $t$  – число лет.

Логарифмирование выражения для  $Q$  дает следующую формулу для расчета срока исчерпания ресурса:

$$t = \frac{\ln\left(\frac{QTP}{q100} + 1\right)}{\ln(1 + TP/100)}. \quad (3.2)$$

Таким образом, можно прогнозировать темпы исчерпания природных ресурсов.

### Задания

1. В таблице приведены исходные данные о запасах некоторых природных ресурсов:

№ варианта	Исходные данные			
	Ресурс	Запас ресурса $Q$ , млрд. т	Добыча ресурса $q$ , млрд. т/год	Прирост объема потребления ресурса $TP$ , % в год
1	Каменный уголь	6800	3,9	2
2	Природный газ	280	1,7	1,5
3	Нефть	250	3,5	2
4	Железо	1200	0,79	2,5
5	Фосфор	40	0,023	1,8
6	Медь	0,60	0,008	1,7
7	Цинк	0,24	0,006	1,3
8	Свинец	0,15	0,004	2,2
9	Алюминий	12	0,016	1,6
10	Уран	300	0,2	2

Рассчитайте время исчерпания приведенных в таблице ресурсов. Сделайте вывод о последовательности прекращения добычи ресурсов.

2. Начертите график темпа вымирания видов птиц на Земле. С 1700 по 1749 гг. исчезло 6 видов; с 1750 по 1799 гг. – 10 видов; с 1800 по 1849 гг. – 15 видов; с 1850 по 1899 гг. – 26 видов; с 1900 по 1949 гг. – 33 вида; с 1950 по 2000 гг. – 37 видов. Поясните тенденцию исчезновения видов птиц за последние 300 лет. Какие последствия для человека и природы имеет вымирание птиц. Назовите основные причины вымирания птиц.

## 3.2. Инженерная защита окружающей среды

### *Основные термины и понятия*

*Качество окружающей природной среды* – степень соответствия ее характеристик потребностям человека и технологическим требованиям.

*Предельно допустимая концентрация (ПДК)* – представляет собой количество загрязнителя в почве, воздушной или водной среде, которое при постоянном или временном воздействии на человека не влияет на его здоровье и не вызывает неблагоприятных последствий у его потомства.

*Предельно допустимый уровень (ПДУ)* – уровень физического радиационного воздействия, шума, вибрации, магнитных полей и др., который не представляет опасности для здоровья человека и его потомства.

*Предельно допустимый выброс (ПДВ) или сброс (ПДС)* – максимальное количество загрязняющих веществ, которое может быть выброшено данным конкретным предприятием в атмосферу (ПДВ) или сброшено в водоем (ПДС), не вызывая при этом превышения в них ПДК загрязняющих веществ и неблагоприятных экологических последствий.

*Предельно допустимая нагрузка на природную среду (ПДН)* – максимально возможные антропогенные воздействия на природные ресурсы или комплексы, не приводящие к нарушению устойчивости экологических систем.

*Экологическая емкость территории* – потенциальная способность природной среды перенести какую-либо антропогенную нагрузку без нарушения основных функций экосистем.

*Экологический мониторинг* – комплексная система наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния биосферы или отдельных ее элементов под влиянием антропогенных воздействий.

*Санитарно-защитная зона* – это полоса, отделяющая источники промышленного загрязнения от жилых или общественных зданий для защиты населения от влияния вредных факторов производства. Ширина санитарно-защитной зоны устанавливается в зависимости от класса производства, степени вредности и количества выделенных в атмосферу веществ (50–1000 м).

*Архитектурно-планировочные решения* – правильное взаимное размещение источников выбросов и населенных мест с учетом направления ветров, сооружение автомобильных дорог в обход населенных пунктов и др.

### Темы для обсуждения

1. Качество окружающей среды.
2. Основные экологические нормативы.
3. Мониторинг окружающей среды. Классификация мониторинга.
4. Цели и задачи экологического мониторинга.
5. Методы мониторинга.

### Экологические нормативы

Качество окружающей природной среды оценивается с помощью экологических нормативов (ПДК, ПДУ).

ПДК устанавливаются на основе комплексных исследований и постоянно контролируются органами Госкомсанэпиднадзора. В нашей стране действует более 1900 ПДК вредных веществ для водоемов, более 500 – для атмосферного воздуха и более 130 – для почв.

Для нормирования содержания вредных веществ в атмосферном воздухе установлены два дополнительных норматива – разовая и среднесуточная ПДК.

Максимально разовая ПДК ( $ПДК_{м.р.}$ ) – концентрация вредного вещества в воздухе, которая не должна вызывать при вдыхании его в течение 30 мин рефлекторных реакций в организме человека (ощущение запаха, изменение световой чувствительности глаз и др.).

Среднесуточная ПДК ( $ПДК_{с.с.}$ ) – концентрация вредного вещества в воздухе, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного воздействия при неопределенно долгом (годы) вдыхании.

Для вредных веществ безопасная концентрация в окружающей среде определяется следующим выражением:

$$C_i \leq ПДК - C_{\phi},$$

где  $C_i$  – фактическая концентрация вредного вещества;  $C_{\phi}$  – фоновая концентрация вредного вещества в воздухе, воде или почве.

При содержании в воздухе, воде или почве нескольких загрязняющих веществ, обладающих суммацией действия, например, в воздухе  $SO_2$  и  $NO_x$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$  и формальдегида, общее загрязнение окружающей среды не должно превышать единицы:

$$\sum_{i=1}^m \frac{C_i}{ПДК_i} \leq 1,$$

где  $C_i$  – фактическая концентрация вредных веществ в воздухе, воде или почве,  $m$  – количество загрязняющих веществ.



## Задания

1. Пользуясь данными табл. 3.1, рассчитайте размеры лесопарковой зоны г. Томска, учитывая, что численность городского населения составляет 520 тыс. человек. Сделайте вывод о том, насколько г. Томск отвечает требованиям ВОЗ по размерам лесопарковой зоны. ВОЗ считает, что на одного гражданина должно приходиться 50 м<sup>2</sup> городских зеленых насаждений и 300 м<sup>2</sup> пригородных.

Таблица 3.1

*Рекомендуемые размеры лесопарковой зеленой зоны в городах РФ*

Численность городского населения, тыс. человек	Размеры лесопарковой зоны, га/1000чел.
500-1000	25
250-500	20
100-250	15
До 100	10

2. ПДК диоксида азота в воздухе рабочей зоны 2 мг/м<sup>3</sup>. Концентрация диоксида азота, измеренная автоматическим газоанализатором, равна 0,005 % об. Превышает ли фактическая концентрация норму?

### 3.2.1. Защита атмосферы

#### Основные термины и понятия

*Атмосфера* – газовая оболочка Земли, состоящая из смеси различных газов, водяного пара и пыли.

*Загрязнение атмосферного воздуха* – любое изменение его состава и свойств, которое оказывает негативное воздействие на здоровье человека и животных, состояние растений и экосистем.

*Кислотный дождь* – осадки, имеющие рН = 3–5.

*Парниковые газы* – пары воды, СО<sub>2</sub>, СН<sub>4</sub>, хлорфторуглероды и др.

*Парниковый эффект* – увеличение содержания парниковых газов в атмосфере и как следствие нагрев нижних слоев атмосферы и поверхности Земли.

*Озоновая дыра* – пространство в озоновом слое атмосферы с заметно пониженным (до 50 %) содержанием озона.

*Циклон* – устройство для очистки выбросов в атмосферу от аэрозолей (пыли, золы), принцип действия которого основан на оседании частиц под действием силы тяжести.

*Скруббер* – устройство для очистки выбросов в атмосферу от аэрозолей (пыли, золы), принцип действия которого основан на оседании

частиц пыли на поверхности капель под действием сил инерции или броуновского движения.

*Фильтр* – устройство для очистки выбросов в атмосферу от аэрозолей (пыли, золы), принцип действия которого основан на осаждении частиц пыли на тонких фильтрующих перегородках.

*Электрофильтр* – устройство для очистки выбросов в атмосферу от аэрозолей (пыли, золы), принцип действия которого основан на ионизации и осаждении частиц в электрическом поле.

*Абсорбционный метод* – метод извлечения вредных компонентов из промышленных выбросов с помощью жидких поглотителей (абсорбентов).

*Адсорбционный метод* – метод извлечения вредных компонентов из промышленных выбросов с помощью адсорбентов – твердых тел с ультрамикроскопической структурой (активированный уголь, цеолиты,  $Al_2O_3$ ).

### *Темы для обсуждения*

1. Строение атмосферы.
2. Экологические функции атмосферы.
3. Источники загрязнения атмосферы.
4. Классификация выбросов в атмосферу по агрегатному состоянию.
5. Экологические последствия загрязнения атмосферы: кислотные дожди, парниковый эффект, озоновые дыры.
6. Средства защиты атмосферы.
7. Устройства для очистки технологических выбросов в атмосферу от аэрозолей: сухие пылеуловители, мокрые пылеуловители, фильтры, электрофильтры.
8. Способы очистки от газообразных примесей: каталитическое превращение, абсорбция, адсорбция.

### **Загрязнители атмосферного воздуха**

Основными загрязнителями атмосферного воздуха, образующимися как в процессе хозяйственной деятельности человека, так и в результате природных процессов, являются диоксид серы  $SO_2$ , диоксид углерода  $CO_2$ , оксиды азота  $NO_x$ , твердые частицы – аэрозоли. Их доля составляет 98 % в общем объеме выбросов вредных веществ. Помимо этих основных загрязнителей, в атмосфере наблюдается еще более 70 наименований вредных веществ: формальдегид, фенол, бензол, соединения свинца и других тяжелых металлов, аммиак, сероуглерод и др.

ПДК некоторых вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

*Предельно допустимые концентрации некоторых вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест*

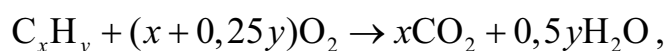
Наименование вещества	Класс опасности	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	
		максимально-разовая ПДК <sub>м.р</sub>	среднесуточная ПДК <sub>с.с</sub>
Азота диоксид NO <sub>2</sub>	2	0,085	0,04
Азота оксид NO	3	0,4	0,06
Аммиак	4	0,2	0,04
Ацетон	3	0,35	–
Бензин	4	5,0	1,5
Ртуть	1	–	0,0003
Сажа	3	0,15	0,05
Сероводород H <sub>2</sub> S	2	0,008	–
Серы диоксид SO <sub>2</sub>	3	0,5	0,05
Углерода диоксид CO	4	5,0	3,0
Фенол	2	0,01	0,003
Формальдегид	2	0,035	0,003

### Расчет выбросов от автомобильного транспорта

Большая часть загрязнения атмосферного воздуха приходится на долю автомобильного транспорта. В крупных городах она составляет более 70 % всех вредных выбросов в атмосферу.

Основная причина загрязнения воздуха разнообразными двигателями, использующими в качестве топлива продукты нефтепереработки, заключается в неполном и неравномерном сгорании топлива. Камера сгорания двигателя – своеобразный химический реактор, синтезирующий загрязняющие вещества, выделяющиеся с выхлопными газами в атмосферу.

Основная химическая реакция, протекающая в процессе сгорания топлива, может быть представлена следующим обобщенным уравнением:



где C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> – условное обозначение гаммы углеводородов, входящих в состав топлива. Однако эта реакция не проходит полностью.

Основными загрязняющими веществами, входящими в состав выхлопных газов практически всех двигателей, являются CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, NO<sub>x</sub>. При определенных условиях в выхлопных газах содержатся также SO<sub>2</sub>, сажа, бензапирен, соединения свинца (табл. 3.3).

Таблица 3.3

## Содержание вредных веществ в отработавших газах (ОГ)

Вредное вещество	Содержание в ОГ ДВС	
	Дизели	Бензиновые
Оксид углерода	0,005–0,5 об. %	0,25–10 об. %
Оксиды азота в пересчете на азот	0,004–0,5 об. %	0,01–0,8 об. %
Сернистый ангидрид	0,003–0,05 об. %	–
Углеводороды в пересчете на углерод	0,01–0,5 об. %	0,27–0,3 об. %
Бензапирен	До 10 мкг/м <sup>3</sup>	До 20 мкг/м <sup>3</sup>
Сажа	До 1,1 г/м <sup>3</sup>	До 0,4 г/м <sup>3</sup>
Соединение свинца	–	Выбрасывается до 85 % соединений свинца (от количества введенного в бензин с ТЭС)

На основании большого количества натуральных измерений выбросов разработана «Методика по расчету валовых выбросов вредных веществ в атмосферу для предприятий нефтепереработки и нефтехимии» (РД-17-89) от 1990 г. В одном из разделов этой методики представлен расчет выбросов вредных веществ от автомобилей с различными типами двигателей внутреннего сгорания (ДВС) (бензиновыми, дизельными, газовыми и др.).

Выброс  $i$ -го вредного вещества  $P_i$ , т определяется по формуле:

$$P_i = q_i l k_1 k_2,$$

где  $q_i$ , т/км – удельный выброс  $i$ -го вредного вещества автомобилем в зависимости от типа ДВС с учетом картерных выбросов и испарений топлива, определяется по табл. 3.5;  $l$ , км – пробег автомобилей с данным типом двигателя за расчетный период;  $k_1$  – коэффициент, учитывающий техническое состояние автомобиля;  $k_2$  – коэффициент, учитывающий возраст автомобиля. Значения  $k_1$ ,  $k_2$  определяются по табл.3.4.

Общий выброс от автомобиля складывается из выбросов вредных веществ всех групп:  $P = \sum_{i=1}^n P_i$ .

## Пример

Рассчитать выбросы оксида углерода, углеводородов и оксидов азота от автобуса с дизельным двигателем 2000 г. выпуска и пробегом 80000 км.

*Решение.* Используя данные табл. 3.4 и 3.5, получим следующие выражения для расчета выбросов:

$$P_{CO} = q_{CO} l k_1 k_2 = 15 \cdot 80000 \cdot 1,8 \cdot 1,27 = 2743200 \text{ г} = 2,743 \text{ т},$$

$$P_{C_xH_y} = q_{C_xH_y} l k_1 k_2 = 6,43 \cdot 80000 \cdot 2,0 \cdot 1,17 = 1198080 \text{ г} = 1,198 \text{ т},$$

$$P_{NO_x} = q_{NO_x} l k_1 k_2 = 8,5 \cdot 80000 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 680000 \text{ г} = 0,680 \text{ т}.$$

Тогда суммарный выброс перечисленных загрязняющих веществ от данного транспортного средства составит:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i = 2,743 + 1,198 + 0,680 = 4,621 \text{ т}.$$

Таблица 3.4

*Коэффициент влияния среднего возраста автомобилей и уровня их технического состояния на выбросы вредных веществ для различных групп заводского автомобильного транспорта*

Группы автомобилей	$k_1$			$k_2$		
	оксид углерода	углеводороды	оксиды азота	оксид углерода	углеводороды	оксиды азота
Грузовые и специальные грузовые с бензиновыми ДВС	1,69	1,86	0,8	1,33	1,2	1,0
Грузовые и специальные грузовые дизельные	1,8	2,0	1,0	1,33	1,2	1,0
Автобусы с бензиновыми ДВС	1,69	1,86	0,8	1,32	1,2	1,0
Автобусы дизельные	1,8	2,0	1,0	1,27	1,1	1,0
Легковые служебные и специальные	1,63	1,83	0,85	1,28	1,17	1,0
Легковые индивидуального пользования	1,62	1,78	0,9	1,28	1,17	1,0

Таблица 3.5

Значения удельных выбросов вредных веществ автомобильным транспортом  $q_i$ , г/км

Группы автомобилей	Год выпуска														
	1996			1997			1998			1999			2000		
	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	NO <sub>x</sub>
Грузовые, специальные грузовые с бензиновыми ДВС и работающие на сжиженном нефтяном газе (пропан-бутан)	61,9	13,3	8	60,3	13	7,7	58,7	12,7	7,4	57,1	12,3	7,1	55,5	12	6,8
Грузовые, специальные грузовые ди-зельные	15	6,4	8,5	15	6,4	8,5	15	6,4	8,5	15	6,4	8,5	15	6,4	8,6
Грузовые, специальные грузовые работающие на сжатом природном газе	30	10	8	30	10	8	30	10	8	25	8	7,5	25	8	7,5
Автобусы с бензиновым ДВС	57,5	10,7	8	56	10,5	7,5	54,5	10,2	7,2	53	9,9	6,8	51,5	9,6	6,4
Автобусы дизельные	15	6,4	8,5	15	6,4	8,5	15	6,4	8,5	15	6,4	8,5	15	6,4	8,5
Легковые служебные и стандартные	18,7	2,25	2,7	18,2	2,09	2,58	17,7	1,93	2,47	17,1	1,76	2,36	16,5	1,6	2
Легковые индивидуального пользования	17,9	2,1	2,6	17,45	2	2,5	17	1,9	2,4	16,55	1,75	2,3	16,1	1,6	2,19

## Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при неконтролируемом горении нефти и нефтепродуктов

Неконтролируемые горения имеют место при пожарах в открытом пространстве, возникающих в результате аварий на нефтебазах, нефтехимических производствах, трубопроводах, на железнодорожном и автомобильном транспорте.

Под удельными выбросами в настоящей методике приняты выбросы, отнесенные к единице массы сгоревших нефти и/или нефтепродуктов. Численные значения удельных выбросов принимаются в кг/кг или т/т приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

*Удельные выбросы загрязняющих веществ к единице массы сгоревших нефтепродуктов*

Наименование нефтепродукта	Удельный выброс загрязняющего вещества к единице массы сгоревших нефтепродуктов, кг/кг или т/т							
	Оксид углерода, CO	Диоксид углерода, CO <sub>2</sub>	Сероводород H <sub>2</sub> S, серы (в пересчете на SO <sub>2</sub> )	Оксид серы SO <sub>2</sub>	Оксиды азота (в пересчете на NO <sub>2</sub> )	Сажа	Углеводороды	Бензапирен
Бензин	0,85	1,35	0,001	0,0012	1,51·10 <sup>-2</sup>	20·10 <sup>-3</sup>	60·10 <sup>-3</sup>	6,1·10 <sup>-8</sup>
Керосин	0,87	1,41	0,001		2,61·10 <sup>-2</sup>	24·10 <sup>-3</sup>	50·10 <sup>-3</sup>	6,9·10 <sup>-8</sup>
Нефть	0,87	1,48	0,001	0,0278	6,9·10 <sup>-3</sup>	28·10 <sup>-3</sup>	30·10 <sup>-3</sup>	7,6·10 <sup>-8</sup>
Дизельное топливо	0,87	1,41	0,001	0,0047	2,61·10 <sup>-2</sup>	24·10 <sup>-3</sup>	50·10 <sup>-3</sup>	6,9·10 <sup>-8</sup>
Мазут	0,9	1,49	0,001	0,0345	6,9·10 <sup>-3</sup>	30·10 <sup>-3</sup>	20·10 <sup>-3</sup>	7,6·10 <sup>-8</sup>

Масса выброса ( $M_i$ ) каждого загрязняющего вещества при неконтролируемом горении определяется по формуле:

$$M_i = q_i M_c, \quad (3.3)$$

где  $i$  – загрязняющее вещество (CO и др.);  $q_i$  – удельный выброс, кг/кг или т/т,  $M_c$  – масса сгоревшего нефти и/или нефтепродукта, в кг или т.

В простейшем случае масса сгоревших нефти и нефтепродуктов ( $M_c$ ) определяется как их потеря ( $M_n$ ) в резервуарах или на участке разрыва продуктопровода. При этом должно быть четко установлено, что не произошло поглощения части разлившихся нефти и нефтепродуктов почвой и грунтом.

В случае, если имело место поглощение нефти и/или нефтепродуктов почвой (и грунтом) необходимо измерить площадь разлива в метрах

квадратных. После этого взять керны почвы и грунта на глубину проникновения в них нефти и/или нефтепродуктов и определить среднее содержание нефти и/или нефтепродуктов в граммах на килограмм.

Суммарное количество поглощенных, но не сгоревших нефти и/или нефтепродуктов в тоннах подсчитывается по формуле:

$$M_{\text{погл}} = Fhc\rho_{\text{г}}, \quad (3.4)$$

где  $F$  – площадь почвы и грунта, пропитанного нефтепродуктами,  $\text{м}^2$ ;  $h$  – глубина, на которую почва и грунт пропитаны нефтью и/или нефтепродуктами, м;  $c$  – средняя концентрация нефти или нефтепродуктов в почве и грунте, г/кг;  $\rho_{\text{г}}$  – плотность грунта,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Сгоревшая масса определяется как разность потерянных и поглощенных почвой нефти и/или нефтепродуктов:

$$M_{\text{с}} = M_{\text{п}} - M_{\text{погл}}. \quad (3.5)$$

При горении на водной поверхности и известном количестве потерянных в результате разлива нефти и тяжелых нефтепродуктов,  $M_{\text{с}}$  определяется как разность потерянных  $M_{\text{п}}$  и несгоревших  $M_{\text{н}}$  нефти и/или нефтепродуктов в тоннах:

$$M_{\text{с}} = M_{\text{п}} - M_{\text{погл}}. \quad (3.6)$$

Масса несгоревшей нефти определяется с учетом площади разлива, толщины несгоревшего слоя и плотности:

$$M_{\text{н}} = Fh_1\rho_{\text{н}}, \quad (3.7)$$

где  $F$  – площадь, занимаемая разлитым нефтью и/или нефтепродуктом,  $\text{м}^2$ ;  $h_1$  – толщина слоя несгоревшей нефти и/или нефтепродуктов, мм;  $\rho_{\text{н}}$  – плотность нефти и/или нефтепродуктов,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

При горении на водной подстилающей поверхности по окончании горения нефти и/или тяжелых нефтепродуктов остается слой толщиной 2 мм.

В случае, когда потери нефти и/или нефтепродуктов неизвестны, сгоревшая масса в тоннах определяется по скорости выгорания слоя нефти и/или нефтепродуктов и площади пожара, с поправкой на скорость ветра:

$$M_{\text{с}} = 0,06UF\rho_{\text{н}}tW/3, \quad (3.8)$$

где  $\rho_{\text{н}}$  – плотность нефти и/или нефтепродуктов,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $U$  – нормальная скорость горения, м/с;  $F$  – площадь пожара,  $\text{м}^2$ ;  $t$  – продолжительность пожара, мин.;  $W$  – скорость ветра, м/с; 3 – средняя скорость ветра, м/с;

Значение скорости выгорания ( $U$ ) и плотности ( $\rho_{\text{н}}$ ) зависят от вида нефти и/или нефтепродукта и представлены в табл. 3.7.



Таблица 3.7

## Скорость выгорания и плотность нефтепродуктов

Нефтепродукты	Скорость выгорания, $10^5$ м/с	Плотность топлива, кг/м <sup>3</sup>
Бензин	6,5	560–800 (680)
Керосин	6,1	650–920 (780)
Мазут	3,7	890–1000 (950)
Нефть	2,7	730–1040 (880)
Дизельное топливо	6,1	650–920 (780)

## Пример

Загорелся бак с бензином. Сгорело 55 т бензина. Определить массу выброшенного в атмосферу:

- оксида углерода (CO);
- диоксида азота (NO<sub>2</sub>);
- углеводородов.

*Решение.* Используя формулу (3.3) и данные табл. 3.3, получим следующие выражения для расчета выбросов:

$$M_{\text{CO}} = q_{\text{CO}} M_c = 0,855 \cdot 55 = 44,75 \text{ т},$$

$$M_{\text{C}_x\text{H}_y} = q_{\text{C}_x\text{H}_y} M_c = 60 \cdot 10^{-3} \cdot 55 = 3,30 \text{ т},$$

$$M_{\text{NO}_2} = q_{\text{NO}_2} M_c = 1,51 \cdot 10^{-2} \cdot 55 = 0,83 \text{ т}.$$

**Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельной**

Предельно допустимый выброс ПДВ (г/с) нагретого вредного вещества из трубы в атмосферу, при котором содержание его в приземном слое не превышает предельно допустимой концентрации, определяется по формуле:

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК}_{\text{м.р}} - C_{\text{ф}}) H^2 \sqrt[3]{Q \Delta T}}{A F m n \eta}, \quad (3.9)$$

где  $\text{ПДК}_{\text{м.р}}$  – максимально-разовая предельно допустимая концентрация вредного вещества в приземном атмосферном воздухе населенных пунктов, мг/м<sup>3</sup>;  $C_{\text{ф}}$  – фоновая концентрация вредного вещества в приземном слое атмосферы, мг/м<sup>3</sup>;  $F$  – коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;  $A$  – коэффициент распределения температуры воздуха, зависящий от метеорологических условий местности и определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе;  $Q$  – объем газовой смеси, выбрасываемой из трубы, м<sup>3</sup>/с;  $\eta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние

рельефа местности;  $m$  и  $n$  – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;  $\Delta T$  – разность температур уходящих газов и наружного воздуха, °С.

Необходимые для расчета ПДВ по уравнению (3.9) численные значения параметров отходящих газов котельных приведены в табл. 3.8 и 3.9.

Таблица 3.8

*Значения коэффициента  $A$*

Наименование района	$A, c^{2/3} \cdot \text{мг} \cdot \text{град}^{1/3} \cdot \text{г}^{-1}$
Центр Европейской территории России: Московская, Тульская, Рязанская, Владимирская, Калужская, Ивановская области	140
Север и Северо-Запад Европейской территории России, Среднее Поволжье, Урал (территория севернее 52° с.ш.)	160
Европейская территория России и Урала от 50 до 52° с.ш.: Саратовская, Воронежская, Курская, Белгородская, Оренбургская области	180
Европейская территория России: районы южнее 50° с.ш. (Ростовская область, Краснодарский и Ставропольские края, Калмыкия), Нижнее Поволжье, Кавказ, Азиатская территория России; Дальний Восток, Сибирь	200
Районы Средней Азии южнее 40° с.ш., республика Бурятия и Читинская область	250

Таблица 3.9

*ПДК, класс опасности, коэффициенты  $F$ ,  $m$ ,  $n$ , для некоторых загрязняющих веществ*

Вредные примеси в воздухе	Химич. формула	Коэффициенты			Разовая доза ПДК, мг/м <sup>3</sup>		Класс опасности
		$F$	$m$	$n$	Максим.	Ср./сут.	
Пыль, зола	–	3	1	1	0,5	0,15	3
Оксид углерода	CO	1	1	1	5	0,5	3
Оксид азота	NO	1	1	1	0,6	0,06	3
Сернистый ангидрид	SO <sub>2</sub>	1	1	1	0,5	0,05	3
Диоксид азота	NO <sub>2</sub>	1	1	1	0,085	0,009	3

На практике концентрацию загрязняющих веществ в выбросах котельных измеряют приборами и сравнивают с расчетной максимальной допустимой концентрацией в выбросах около устья трубы, г/м<sup>3</sup>:

$$C_m = \frac{\text{ПДВ}}{Q}. \quad (3.10)$$

### Пример

Определить норматив допустимых выбросов в атмосферу при сжигании углеводородного топлива в котельной за год для сажи. Котельная работает без аварий в течение отопительного сезона. Высота трубы 19,4 м. объем газовой смеси, выбрасываемой из трубы 6,66 м<sup>3</sup>/с. Фоновая концентрация 0,185 мг/м<sup>3</sup>.  $\Delta T = 333$  °С. Фактическая масса сажи, выбрасываемой в атмосферу 2,5 г/с. Сравните ПДВ с заданным выбросом сажи  $M$  и сделайте вывод о возможности работы котельной.

*Решение.* Воспользуемся уравнением (3.7) и данными табл. 3.9 для расчета ПДВ сажи:

$$\text{ПДВ}_{\text{сажа}} = \frac{(0,5 - 0,185)19,4^2 \sqrt[3]{6,66 \cdot 333}}{200 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1} = 2,58 \text{ г/с.}$$

Фактическая масса сажи, выбрасываемой в атмосферу, не превышает ПДВ.

### Задания

1. В помещении длиной  $A$ , шириной  $B$  и высотой  $H$  разбился медицинский ртутный термометр. Вся ртуть испарилась. Вес испарившейся ртути  $M$ . ПДК<sub>Hg</sub> = 0,0003 мг/м<sup>3</sup>. Можно ли находиться в помещении с образовавшимися парами ртути? Какой объем должно иметь помещение, чтобы в нем можно было находиться при таком общем количестве ртути в воздухе? Данные для расчета приведены в таблице:

№ варианта	$A$ , м	$B$ , м	$H$ , м	$M$ , г
1	6	3	3,0	0,5
2	8	6	3,0	1,0
3	6	4	3,2	1,5
4	10	8	3,2	2,0
5	12	8	3,2	2,5
6	9	5	3,2	0,5
7	7	6	3,5	1,0
8	11	7	3,5	1,5
9	12	7	3,8	2,0
10	7	5	3,8	2,5

2. В помещении длиной  $A$ , шириной  $B$  и высотой  $H$  разбили люминесцентную лампу. В воздух попали пары ртутьсодержащего соединения с массой по металлической ртути  $M$ . ПДК<sub>Hg</sub> = 0,0003 мг/м<sup>3</sup>. Можно ли находиться в данном помещении? Какой объем должно иметь помещение, чтобы в нем можно было находиться при таком общем количестве ртути в воздухе? Данные для расчета приведены в таблице:

№ варианта	A, м	B, м	H, м	M, г
1	6	3	3,0	1,0
2	8	6	3,0	2,0
3	6	4	3,2	3,0
4	10	8	3,2	4,0
5	12	8	3,2	5,0
6	9	5	3,2	6,0
7	7	6	3,5	7,0
8	11	7	3,5	8,0
9	12	7	3,8	9,0
10	7	5	3,8	10,0

3. Рассчитайте величину выбросов оксида углерода, углеводородов и оксидов азота двух единиц автотранспорта А и В. Определите суммарный выброс каждой из единиц автотранспорта. Сравните выбросы отдельных загрязняющих веществ и суммарные выбросы для двух единиц автотранспорта А и В. Данные для расчета приведены в таблице:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
тип авто А	авто-бус	л/а инд.	л/а инд.	груз.	л/а инд.	груз.	груз.	груз.
тип двигателя А	дизель	бен-зин	бен-зин	дизель	бен-зин	дизель	бен-зин	дизель
Пробег А, тыс. км	80	180	50	250	190	320	260	320
год выпуска А	2000	1997	1996	1998	1999	1998	2000	1998
тип авто Б	авто-бус	л/а служ.	л/а служ.	груз.	груз.	авто-бус	авто-бус	груз.
тип двигателя Б	бен-зин	бен-зин	бен-зин	бен-зин	бен-зин	дизель	бен-зин	дизель
пробег Б	80	180	50	250	190	320	260	320
год выпуска Б	2000	1997	1996	1998	1999	1998	2000	2000
№ варианта	9	10	11	12	13	14	15	16
тип авто А	груз.	л/а инд.	груз.	груз.	л/а инд.	л/а инд.	груз.	л/а инд.
тип двигателя А	бен-зин	бен-зин	дизель	бен-зин	бен-зин	бен-зин	дизель	бен-зин
пробег А, тыс. км	200	220	420	360	240	150	350	390
год выпуска А	2000	1998	2000	1997	1998	1999	1999	1998
тип авто Б	груз.	груз.	авто-бус	авто-бус	л/а служ.	л/а служ.	груз.	груз.

Окончание таблицы

тип двигателя Б	дизель	бензи н	дизель	бензи н	бензи н	бензи н	бензи н	бензи н
пробег Б	200	220	420	360	240	150	350	390
год выпуска Б	2000	2000	2000	1997	1998	1999	1999	1998

Примечание: л/а инд. – легковой автомобиль индивидуального пользования;  
л/а служ. – легковой автомобиль служебного пользования;  
дизель – дизельный двигатель; бензин – бензиновый двигатель;  
груз. – грузовой автомобиль

4. Определите, какую массу углеводородов  $C_xH_y$ , угарного газа CO и оксидов азота  $NO_x$  выбросят за год в атмосферу на участке 100 м ежедневно проезжающие по улице 500 автомобилей, которые удовлетворяют требованиям экологического стандарта Евро-3, регулирующего содержание вредных веществ в выхлопных газах транспортных средств с дизельными и бензиновыми двигателями. В России все произведенные или ввезенные транспортные средства должны удовлетворять требованиям стандарта Евро-3 начиная с января 2011 г. Евро-3 предусматривает выбросы  $C_xH_y$  до 0,2 г/км, CO до 2,3 г/км,  $NO_x$  до 0,15 г/км.

Определите, насколько будут снижены выбросы при переходе на требования стандарта Евро-4, согласно которым выбросы не должны превышать следующих значений:  $C_xH_y$  – 0,1 г/км, CO – 1,0 г/км,  $NO_x$  – 0,08 г/км.

5. Выберите несколько различных участков автотрассы длиной около 100 м. Определите число единиц автотранспорта проходящих по выбранному участку в течение 60 мин. При этом учитывайте, сколько автомобилей определенного типа (легковые, грузовые, автобусы, дизельные грузовые автомобили) проехало по выбранному участку.

Рассчитайте среднее число учтенных автомобилей для каждого типа автотранспорта в зависимости от количества выбранных участков трассы, после чего заполните табл. 3.10. Средний расход топлива приведен в табл. 3.11.

Таблица 3.10

Учет автотранспорта на выбранном участке

Тип автотранспорта	Число учтенных автомобилей	
	Всего за 30 мин	Всего за 1 час
Легковые автомобили		
Грузовые автомобили		
Автобусы		
Дизельные грузовые автомобили		

Определите среднесуточную концентрацию вредных веществ ( $C_{с.с.}$ ,  $\text{мг/м}^3$ ) в атмосферном воздухе района, с учетом того, что объем используемого воздуха вблизи участка дороги длиной 100 метров составляет примерно  $20000 \text{ м}^3$ . Следует так же учитывать большую интенсивность движения автотранспорта в дневное время.

Таблица 3.11

*Средний расход топлива*

Средние нормы расхода топлива Тип автотранспорта	Средние нормы расхода топлива (л на 100 км)	Удельный расход топлива, л на 1 км
Легковые автомобили	11–13	0,11–0,13
Грузовые автомобили	29–33	0,29–0,33
Автобусы	41–44	0,41–0,44
Дизельные грузовые автомобили	31–34	0,31–0,34

Сопоставьте полученные результаты с ПДК<sub>с.с.</sub> для каждого из вредных веществ и сделайте вывод о степени антропогенного загрязнения атмосферы исследованного района.

6. Загорелся бак с бензином ёмкостью  $5000 \text{ м}^3$ . Пожар был потушен. Определите массу выброшенного в атмосферу:

- а) диоксида серы ( $\text{SO}_2$ );
- б) сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ );
- в) диоксида азота ( $\text{NO}_2$ );
- г) бензапирена;
- д) сажи;
- е) оксида (CO) и диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ );
- ж) углеводородов.

Данные для расчета приведены в таблице:

№ варианта	1	2	3	4	5
$M_c, \text{ т}$	30	45	50	40	35

7. В результате образования свища на продуктопроводе по данным учета владельца было утеряно  $M_n$  бензина. Определите массу поглощенного почвой бензина и массу сгоревшего бензина. Рассчитайте массу выбросов в атмосферу:

- а) диоксида серы ( $\text{SO}_2$ );
- б) сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ );
- в) диоксида азота ( $\text{NO}_2$ );
- г) бензапирена;
- д) сажи;
- е) оксида (CO) и диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ );

ж) углеводородов.

Данные для расчета приведены в таблице:

№ варианта	1	2	3	4	5
$M_{п}, \text{т}$	650	700	770	610	450
$F, \text{м}^2$	500	550	600	480	340
$H, \text{м}$	0,3	0,4	0,45	0,25	0,25
$C, \text{г/кг}$	42	40	43	41	42

8. Загорелся мазут. Определите массу сгоревшего мазута. Определите массу выброшенного в атмосферу:

- а) диоксида серы ( $\text{SO}_2$ );
- г) сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ );
- д) диоксида азота ( $\text{NO}_2$ );
- е) бензапирена;
- ж) сажи;
- з) оксида (CO) и диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ );
- и) углеводородов.

Площадь пожара, плотность мазута, продолжительность пожара, скорость ветра во время пожара приведены в таблице:

№ варианта	1	2	3	4	5
$S, \text{м}^2$	75	90	100	80	95
$\rho, \text{кг/м}^3$	890	920	1000	900	950
$t, \text{мин}$	13	17	20	15	25
$W, \text{м/с}$	3	4	4	3	4

9. Определите нормативы допустимых выбросов в атмосферу при сжигании углеводородного топлива в котельной за год для пяти загрязняющих веществ:  $\text{SO}_2$ , CO, NO,  $\text{NO}_2$  и золы. Котельная работает без аварий в течение отопительного сезона. Рассчитайте максимально допустимую концентрацию загрязняющих веществ около устья трубы  $C_m$ . Сравните максимально допустимую концентрацию загрязняющих веществ с фактической концентрацией и сделайте вывод о возможности работы котельной. Исходные данные для расчета приведены в таблице:

№ варианта	Высота трубы $H, \text{м}$	Объем газовоздушной смеси, $Q, \text{м}^3/\text{с}$	$\Delta T, \text{°C}$	Фоновая концентрация загрязнителей $C_f, \text{мг/м}^3$				
				Пыль, зола	Оксид углерода	Оксид азота	Диоксид серы	Диоксид азота
1	30	90	300	0,2	0,5	0,5	0,1	0,06
2	25	100	480	0,3	0,55	0,45	0,11	0,058
3	46	60	450	0,1	0,6	0,4	0,12	0,056
4	57	75	360	0,15	0,65	0,35	0,13	0,054
5	15	2,0	256	0,2	0,7	0,3	0,14	0,052

Окончание таблицы

№ варианта	Высота трубы H, м	Объем газовоздушной смеси, Q, м <sup>3</sup> /с	ΔT, °C	Фоновая концентрация загрязнителей С <sub>ф</sub> , мг/м <sup>3</sup>				
				Пыль, зола	Оксид углерода	Оксид азота	Диоксид серы	Диоксид азота
6	35	120	400	0,25	0,75	0,25	0,15	0,050
7	20	80	600	0,3	0,8	0,2	0,16	0,046
8	16	3	243	0,1	0,85	0,15	0,17	0,042
9	18	4	250	0,15	0,9	0,1	0,18	0,038
10	32	100	270	0,2	0,95	0,05	0,19	0,034
11	12	2,5	291,6	0,25	1,00	0,5	0,20	0,03
12	21	14	196	0,3	1,05	0,45	0,21	0,028
13	14	3	333	0,1	1,1	0,4	0,22	0,026
14	22	9,3	294	0,15	1,15	0,35	0,23	0,024
15	16	5,5	242	0,2	1,2	0,3	0,24	0,022
16	23	6	288	0,25	1,25	0,25	0,25	0,02
17	19	7	392	0,1	1,3	0,2	0,26	0,018
18	14	4	432	0,15	1,35	0,15	0,27	0,016
19	16	4,8	360	0,2	1,4	0,1	0,28	0,014
20	46	67,5	400	0,25	1,5	0,05	0,29	0,012

Фактические концентрации загрязняющих веществ С<sub>ф</sub> приведены в таблице:

№ варианта	Фактические выбросы загрязняющих веществ М, г/с				
	Пыль, зола	Оксид углерода	Оксид азота	Диоксид серы	Диоксид азота
1	2,5	5,5	2	1,8	1,7
2	1,8	4,8	1,3	1,1	1
3	1,2	4,2	0,7	0,5	0,4
4	2,6	5,6	2,1	1,9	1,8
5	1,4	4,4	0,9	0,7	0,6
6	0,9	3,9	0,4	0,2	0,1
7	1,3	4,3	0,8	0,6	0,5
8	2,7	5,7	2,2	2	1,9
9	1,1	4,1	0,6	0,4	0,3
10	1,5	4,5	1	0,8	0,7
11	2,4	5,4	1,9	1,7	1,6
12	1,7	4,7	1,2	1	0,9
13	1,6	4,6	1,1	0,9	0,8
14	2,8	5,8	2,3	2,1	2
15	2,9	5,9	2,4	2,2	2,1
16	3,0	6	2,5	2,3	2,2
17	3,1	6,1	2,6	2,4	2,3
18	3,2	6,2	2,7	2,5	2,4
19	3,3	6,3	2,8	2,6	2,5
20	3,4	6,4	2,9	2,7	2,6



### 3.2.2. Защита гидросферы

#### Основные термины и понятия

*Гидросфера* – водная оболочка Земли; совокупность океанов, морей, озер, прудов, рек, болот, подземных вод и т. д.

*Загрязнение вод* – изменение физических и органолептических свойств, увеличение содержания сульфатов, хлоридов, нитратов, токсичных тяжелых металлов, сокращение растворенного в воде кислорода, появление радиоактивных элементов, болезнетворных бактерий и других загрязнителей.

*Флотация* – физико-химический метод очистки воды, заключающийся в обволакивании частиц примесей (маслопродуктов, мелкодисперсных взвесей) мелкими пузырьками воздуха, подаваемого в сточную воду, и поднятии их на поверхность, где образуется слой пены. В случае электрофлотации пузырьки газа образуются в результате электролиза воды при пропускании электрического тока (водород, кислород).

*Коагуляция* – физико-химический процесс укрупнения мельчайших коллоидных и дисперсных частиц под действием сил молекулярного притяжения.

*Реагентный метод* – метод обработки сточных вод химическими веществами – реагентами, которые, вступая в химическую реакцию с растворенными токсичными примесями, образуют нетоксичные соединения или нерастворимые осадки.

*Нейтрализация* – разновидность реагентного метода, предназначена для снижения концентрации свободных  $H^+$  или  $OH^-$ -ионов до установленных значений, соответствующих  $pH = 6,5-8,5$ .

*Экстракция* – физико-химический метод очистки воды, основанный на перераспределении примесей сточных вод в смеси двух взаимонерастворимых жидкостей (сточной воды и органической жидкости).

*Ионообменный метод* очистки заключается в пропускании сточной воды через ионообменные смолы, которые содержат подвижные и способные к обмену ионы – катионы (чаще  $H^+$ ) или анионы (чаще  $OH^-$ ). При прохождении сточной воды через смолы подвижные ионы смолы заменяются на ионы токсичных примесей соответствующего знака.

*Биологическая очистка* сточных вод основана на способности микроорганизмов использовать растворенные и коллоидные органические и некоторые неорганические соединения ( $H_2S$ ,  $NH_3$ , нитриты и др.) в качестве источника питания в процессах своей жизнедеятельности. При этом органические соединения окисляются до воды и углекислого газа.

### Темы для обсуждения

1. Водные ресурсы, роль воды на Земле.
2. Показатели качества воды.
3. Основные источники загрязнения воды.
4. Основные загрязнители воды.
5. Экозащитные мероприятия.
6. Способы очистки сточных вод.

### Расчет необходимой степени очистки сточных вод

При сбросе сточных вод в водные объекты необходимо, чтобы вода водного объекта удовлетворяла санитарным требованиям в соответствии с неравенством:

$$\sum_{i=1}^m \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \leq 1, \quad (3.11)$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го вещества в водоеме;  $\text{ПДК}_i$  – предельно допустимая концентрация  $i$ -го вещества.

Температура воды водного объекта не должна повышаться более величины, оговоренной «Правилами охраны поверхностных вод» в зависимости от вида водопользования. Температура сточных вод  $T_{\text{ст}}$ , разрешенных к сбросу, должна удовлетворять условию:

$$T_{\text{ст}} \leq nT_{\text{доп}} + T_{\text{в}}, \quad (3.12)$$

где  $T_{\text{доп}}$  – допустимое повышение температуры;  $T_{\text{в}}$  – температура водного объекта до сброса сточных вод.

Для достижения условия (3.11) необходимо рассчитать предельные концентрации загрязняющих веществ в сточных водах после очистки, с которыми эта вода может быть сброшена в водный объект.

Концентрацию взвешенных веществ в очищенной сточной воде  $C_{\text{оч.взв}}$ , разрешенной к сбросу в водный объект, определяют из выражения:

$$C_{\text{оч.взв}} = K_{\text{разр}} \left( \frac{\gamma Q}{q} + 1 \right) + C_{\text{ф.взв}}, \quad (3.13)$$

где  $C_{\text{ф.взв}}$  – фоновая концентрация взвешенных веществ в воде водного объекта до сброса сточных вод, мг/л;  $K_{\text{разр}}$  – разрешенное санитарными нормами увеличение содержания взвешенных веществ в воде водного объекта;  $\gamma$  – коэффициент смешения, показывающий, какая часть воды водотока участвует в разбавлении;  $q$  – максимальный расход сточных вод;  $Q$  – расчетный минимальный расход водотока в контрольном створе, м<sup>3</sup>/с.

Рассчитав необходимую концентрацию взвешенных веществ в очищенной сточной воде ( $C_{\text{оч.ВЗВ}}$ ) и зная концентрацию взвешенных веществ в сточной воде, поступающей на очистку ( $C_{\text{ис.ВЗВ}}$ ), определяют необходимую эффективность очистки сточных вод по взвешенным веществам по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{взв}} = \frac{C_{\text{ис.ВЗВ}} - C_{\text{оч.ВЗВ}}}{C_{\text{ис.ВЗВ}}} 100\%. \quad (3.14)$$

Концентрация растворенного  $i$ -го загрязнителя в очищенных сточных водах должна удовлетворять условию:

$$C_{\text{оч.}i} \leq n(C_i - C_{\text{ф.}i}) - C_{\text{ф.}i}, \quad (3.15)$$

где  $C_{\text{оч.}i}$  – концентрации  $i$ -го загрязнителя в очищенных сточных водах;  $C_{\text{ф.}i}$  – фоновая концентрация  $i$ -го загрязнителя в водоеме до сброса;  $n$  – кратность разбавления сточных вод;  $C_{\text{ис.}i}$  – исходная концентрация  $i$ -го загрязнителя в сточных водах до очистки.

Степень очистки сточных вод определяется по уравнению:

$$\mathcal{E}_i = \frac{C_{\text{ис.}i} - C_{\text{оч.}i}}{C_{\text{ис.}i}} 100\%. \quad (3.16)$$

Выразим концентрацию  $i$ -го вещества в очищенной воде из уравнения (3.16):

$$C_{\text{оч.}i} = C_{\text{ис.}i} \left( 1 - \frac{\mathcal{E}_i}{100} \right). \quad (3.17)$$

Приравнявая правые части уравнений (3.15) и (3.17) и выразив концентрацию  $C_i$ , получим соотношение для определения максимально допустимой концентрации в водоеме с учетом степени разбавления и эффективности очистки:

$$C_i = \frac{1}{n} \left( 1 - \frac{\mathcal{E}_i}{100} \right) C_{\text{ис.}i} + \frac{n-1}{n} C_{\text{ф.}i}. \quad (3.18)$$

Подставив (3.18) в (3.11) и выразив эффективность  $\mathcal{E}_i$  получим уравнение для расчета необходимой степени очистки сточных вод:

$$\mathcal{E}_i = \left[ 1 - \frac{1 - \frac{n-1}{n} \sum_{i=1}^m \frac{C_{\text{ф.}i}}{\text{ПДК}_i}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^m \frac{C_{\text{ис.}i}}{\text{ПДК}_i}} \right] 100. \quad (3.19)$$

## Задания

1. Определите необходимую степень очистки производственных сточных вод от вредных веществ, если в сточных водах содержатся следующие загрязнители:

$$C_{ис.Ni} = 1,15 \text{ мг/л}, C_{ис.Mo} = 1,1 \text{ мг/л}, C_{ис.As} = 0,6 \text{ мг/л}.$$

Кратность разбавления сточных вод  $n = 65$ .

Вода до места сброса характеризуется следующими показателями:

$$C_{ф.Ni} = 0,003 \text{ мг/л}, C_{ф.Mo} = 0,15 \text{ мг/л}, C_{ф.As} = 0,002 \text{ мг/л}.$$

ПДК указанных веществ:

$$ПДК_{Ni} = 1,1 \text{ мг/л}, ПДК_{Mo} = 0,5 \text{ мг/л}, ПДК_{As} = 0,06 \text{ мг/л}.$$

2. На заводе сточные воды, содержащие  $C_{ис.Ni} = 1,35 \text{ мг/л}$ ,  $C_{ис.Mo} = 1,1 \text{ мг/л}$ ,  $C_{ис.As} = 0,7 \text{ мг/л}$  пропускают через очистные сооружения, достигается 60 % степень очистки. После очистки сточные воды сбрасывают в водоем. Кратность разбавления  $n = 65$ . Фоновые концентрации в воде этих веществ  $C_{ф.Ni} = 0,001 \text{ мг/л}$ ,  $C_{ф.Mo} = 0,2 \text{ мг/л}$ ,  $C_{ф.As} = 0,002 \text{ мг/л}$ . Предельно допустимые концентрации  $ПДК_{Ni} = 0,1 \text{ мг/л}$ ,  $ПДК_{Mo} = 0,5 \text{ мг/л}$ ,  $ПДК_{As} = 0,05 \text{ мг/л}$ . Определить соответствует ли санитарным нормам вода в водоеме после сброса очищенных сточных вод.

### 3.2.3. Защита литосферы

#### Основные термины и понятия

*Литосфера* – верхняя твердая оболочка Земли в пределах 50–200 м.

*Эрозия почвы* – разрушение и снос верхних наиболее плодородных горизонтов и подстилающих пород ветром (дефляция) или потоками воды.

*Пестициды* – химические средства борьбы с вредоносными или нежелательными микроорганизмами, растениями и животными.

*Гербициды* – ядохимикаты, используемые для борьбы с сорняками.

*Инсектициды* – ядохимикаты, используемые против насекомых.

*Фунгициды* – ядохимикаты, используемые против грибковых заболеваний.

*Зооциды* – ядохимикаты, используемые против грызунов.

*Засоление* – повышение содержания в почве легкорастворимых солей, обусловленное привнесом их грунтовыми и поверхностными водами (засоление первичное) или вызванное нерациональным орошением (засоление вторичное).

*Заболачивание* – почвообразовательный процесс, приводящий к избыточному увлажнению почвы. Начинается с изменения водно-воздушного режима, накопления влаги и возникновения анаэробных условий в почве.

*Опустынивание* – процесс необратимого изменения почвы и растительности и снижения биологической продуктивности, который в экстремальных случаях может привести к полному разрушению биосферного потенциала и превращению территории в пустыню.

*Рекультивация* – комплекс работ, проводимых с целью восстановления нарушенных территорий (при открытой разработке месторождений полезных ископаемых, в процессе строительства и др.) и приведения земельных участков в безопасное состояние.

*Опасные отходы* – отходы, содержащие в своем составе вещества, обладающие хотя бы одним из опасных свойств (токсичность, инфекционность, взрывоопасность, пожароопасность, высокая реакционная способность) и присутствующие в таком количестве и в таком виде, что представляют непосредственную опасность (как самостоятельно, так и при вступлении в контакт с другими веществами) для здоровья людей или сохранения окружающей среды.

Утилизация представляет собой переработку отходов, имеющую целью использование полезных свойств отходов или их компонентов.

$LD_{50}$  – средняя смертельная доза компонента в миллиграммах действующего вещества на 1 кг живого веса, вызывающая гибель 50 % подопытных животных при однократном пероральном введении в унифицированных условиях, мг/кг.

$LD_{50}^{кожн}$  – средняя смертельная доза компонента в миллиграммах действующего вещества на 1 кг живого веса, вызывающая гибель 50 % подопытных животных при однократном нанесении на кожу в унифицированных условиях, мг/кг.

### *Темы для обсуждения*

1. Причины нарушения верхних слоев земной коры.
2. Основные методы защиты литосферы.
3. Рекультивация.
4. Классификация твердых отходов.
5. Переработка и утилизация твердых отходов.
6. Вторичное использование материалов.

## Определение класса опасности отходов

Класс опасности отходов определяется инструментальным и расчетным методами. Метод инструментального измерения заключается в определении показателей экотоксичности отхода и водномиграционного показателя. Если в составе отхода присутствуют органические или биогенные вещества, проводят тест на устойчивость к биodeградации для определения возможности отнесения отхода к классу меньшей опасности. В табл. 3.12 приведены критерии отнесения опасных отходов к классам опасности.

Таблица 3.12

*Критерии отнесения опасных отходов к классам опасности для окружающей среды*

Состояние окружающей среды при воздействии на нее отходов	Уровень потери экологического качества окружающей среды	Класс опасности отходов для окружающей среды
1. Биопродуктивность природной среды нулевая.	Чрезвычайно высокий	I Класс, высоко опасные
2. Природные сферы необратимо нарушены, восстановление природной среды практически невозможно – «абиотическая пустыня»		
1. Невозможно существование естественных биоценозов; искусственные биоценозы могут существовать только при постоянном их поддержании. 2. Природные сферы сильно нарушены; самовосстановление природной среды невозможно.	Высокий	II Класс, опасные
1. Природные биоценозы сильно угнетены. 2. Природная среда не способна к самовосстановлению при данных деградиционных нагрузках.	Средний	III Класс, умеренно опасные
1. Заметное угнетение биоценозов. 2. Наличие обратимых нарушений природных сфер.	Низкий	IV Класс, мало опасные
1. Отсутствие угнетения естественных и антропогенных биоценозов. 2. Отсутствие нарушений природной среды.	Условно нулевой	V Класс, практически не опасные

Отнесение отхода к классу опасности расчетным методом по показателю экологической опасности отхода осуществляется в соответствии с табл. 3.13.

Таблица 3.13

*Определение класса опасности отхода*

Класс опасности отхода	Показатель экологической опасности отхода
I	$10^4 < K \leq 10^6$
II	$10^3 < K \leq 10^4$
III	$10^2 < K \leq 10^3$
IV	$10 < K \leq 10^2$
V	$K < 10$

Показатель опасности компонента отхода  $K_i$  – рассчитывается по формуле:

$$K_i = C_i / W_i, \quad (3.20)$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го компонента в отходе, мг/кг отхода;  $W_i$  – коэффициент экологической опасности  $i$ -го компонента отхода.

Показатель экологической опасности отхода  $K$  определяется как сумма показателей опасности отдельных компонентов:

$$K = \sum_{i=1}^n K_i, \quad (3.21)$$

где  $n$  – количество отдельных компонентов в отходах.

Коэффициент  $W_i$  рассчитывается по одной из следующих формул:

$$\lg W_i = 4 - 4/Z_i, \text{ при } 1 < Z_i < 2; \quad (3.22)$$

$$\lg W_i = Z_i, \text{ при } 2 < Z_i < 4; \quad (3.23)$$

$$\lg W_i = 2 + 4/(6 - Z_i), \text{ при } 4 < Z_i < 5; \quad (3.24)$$

где

$$Z_i = 4X_i/3 - 1/3. \quad (3.25)$$

Относительный параметр экологической опасности компонента отхода ( $X_i$ ) рассчитывают по установленным уровням технологической опасности компонентов делением суммы баллов по всем параметрам на количество этих параметров.

$$X_i = \frac{\text{сумма баллов}}{\text{число параметров опасности}}. \quad (3.26)$$

*Пример*

Фермерское хозяйство дает 1 кг отходов, состоящих из смеси следующего состава: 200 г гербицида – препарат «Аспитокс» (действующее вещество – 4,6-динитро фтор-бутилфенол) и 400 г инсектофунгицида ДНЦ (действующее вещество – 4,6-динитро-о-крезол), остальные

компоненты представляют собой природные органические соединения ( $X = 4$ ,  $W = 10^6$ ). Определите класс опасности отхода.

*Решение.* По справочнику находим показатели опасности препаратов:

Препарат	LD <sub>50</sub> , мг/кг	LD <sub>50</sub> <sup>кожн</sup> , мг/кг	ПДК <sub>р.з.</sub> , мг/м <sup>3</sup>
Аспитокс	60	10	0.05
Класс опасности	II	I	II
ДНЦ	47	500	0.05
Класс опасности	II	II	II

Рассчитываем относительный параметр экологической опасности компонента отхода ( $X$ ) по уравнению (3.26):

Для препарата «Аспитокс»  $X_1 = 5 : 3 = 1,67$ .

Для препарата ДНЦ  $X_2 = 6 : 3 = 2$ .

По уравнению (3.25) определяем показатель  $Z$  для препарата «Аспитокс»

$$Z_1 = (4 \cdot 1,67 : 3) - 1 : 3 = 1,894$$

и для препарата ДНЦ

$$Z_2 = (4 \cdot 2 : 3) - 1 : 3 = 2,334.$$

Рассчитываем коэффициент  $W_i$ .

Для препарата «Аспитокс» ( $Z_1 < 2$ ) по уравнению (3.22)

$$\lg W_1 = 4 - 4 : 1,984 = 1,984.$$

Для препарата ДНЦ ( $2 < Z_2 < 4$ ) по уравнению (3.23)

$$\lg W_2 = 2,334.$$

$$\text{Отсюда } W_1 = 96,38, W_2 = 215,77.$$

Концентрация рассчитываем как отношение массы компонента отхода к общей массе отхода. Для «Аспитокс»

$$C_1 = 200000/1 = 200000 \text{ мг/кг.}$$

Для ДНЦ

$$C_2 = 400000/1 = 400000 \text{ мг/кг.}$$

Определяем показатель экологической опасности отхода ( $K$ ) по уравнениям (3.20) и (3.21):

$$K = (200000 : 96,38) + (400000 : 215,77) = 3928,95.$$

По табл. 3.13 определяем, что отход относится ко II классу опасности.

### Задания

1. Отход производства красителей состоит из смеси порошков п-бензохинона и  $\alpha$ -нафтохинона в соотношении 1:3. Общая масса отхода 12 кг, из них 4 кг представляют собой практически неопасные вещества ( $X_i = 4$ ,  $W_i = 10^6$ ). Из справочных данных известны показатели опасности ингредиентов:



Отход	LD <sub>50</sub> , мг/кг	ПДК <sub>р.3</sub> , мг/м <sup>3</sup>
n-бензохинон	250	0.05
Класс опасности	III	II
α-нафтохинон	190	0.05
Класс опасности	III	II

Определите класс опасности отхода.

2. Отход сельскохозяйственного предприятия состоит из смеси гранул гербицидов диквата и параквата дихлорида в соотношении 1:4. Общая масса отхода 20 кг. Из справочных данных известны показатели опасности диквата:

Отход	LD <sub>50</sub> , мг/кг	LC <sub>50</sub> , мг/кг	ПДК <sub>р.3</sub> , мг/м <sup>3</sup>
Дикват	79,8	38	0.2
Класс опасности	II	I	II

и параквата:

Отход	LD <sub>50</sub> мг/кг	LC <sub>50</sub> мг/кг	LD <sub>50</sub> <sup>кожн</sup> , мг/кг	ПДК <sub>р.3</sub> мг/м <sup>3</sup>
Паракват дихлорид	30	4	4,5	0.05
Класс опасности	II	I	I	II

3. Отход производства, состоящий на 93 % из глинозема (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и кремнезема (SiO<sub>2</sub>), содержит 500 мг/кг меди и 300 мг/кг марганца. Определите класс опасности отхода, используя данные таблицы:

Наименование компонента	X <sub>i</sub>	Z <sub>i</sub>	lgW <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>
Кадмий	1,42	1,56		
Марганец	2,30	2,37		
Медь	2,17	2,56		
Свинец	1,46	1,61		

Перечень рекомендуемой литературы к главе III: [1], [5], [10–14], [18], [20–21], [23–24], [28–29], [31], [34], [35–36], [38].

## 4. ОСНОВЫ ЭКОНОМИКИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

### *Основные понятия и определения*

*Загрязнение окружающей среды* – любое внесение в ту или иную экологическую систему или возникновение в ней несвойственных ей живых и неживых компонентов, прерывающих или нарушающих процессы круговорота и обмена веществ, потоки энергии, информации, с непременными последствиями в форме снижения продуктивности или разрушения данной экосистемы.

*Эколого-экономический ущерб* – денежная оценка негативных изменений в окружающей среде и потерь в качестве и количестве природных ресурсов, а также последствий таких загрязнений.

*Кадастры природных ресурсов* – свод экономических, экологических, организационных и технических показателей, характеризующих количество и качество природных ресурсов, состав и категории природопользователей. Кадастры представлены по видам природных ресурсов (водный, земельный, лесной и др.)

### *Темы для обсуждения*

1. Понятие, структура (элементы), цели и задачи экономического механизма природопользования и охраны окружающей среды.
2. Планирование природопользования и охраны окружающей среды.
3. Плата за загрязнение окружающей среды, использование природных ресурсов, размещение отходов.
4. Меры экономического стимулирования охраны окружающей среды.

Плата за загрязнение окружающей природной среды и другие виды вредного воздействия на нее рассматривается в праве окружающей среды России и зарубежных государств как один из основных экономических стимулов к тому, чтобы предприятия-природопользователи, деятельность которых связана с такими воздействиями на природу, сами принимали меры по уменьшению загрязнения окружающей среды в соответствии с требованиями законодательства.

Существует два вида платежей:

- за использование природных ресурсов;
- за загрязнение окружающей природной среды и за другие виды воздействия.

Плата за использование природных ресурсов (земля, недра, вода, лес и иная растительность, животный мир, рекреационные и другие природные ресурсы) взимается:

- за право пользования природными ресурсами в пределах установленных лимитов;
- за сверхлимитное и нерациональное использование природных ресурсов;
- на воспроизводство и охрану природных ресурсов.

В ч. 2 Налогового кодекса РФ в разделе «Федеральные налоги» установлены сборы за пользование объектами животного мира и за пользование объектами водных ресурсов, водный налог и налог на добычу полезных ископаемых. В разделе «Местные налоги» установлен земельный налог.

Действующая законодательная база РФ обеспечивает взимание платы за загрязнение окружающей среды на основании следующих нормативных актов:

- Федеральный закон 10.01.02 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды»;
- Постановление Правительства РФ от 28.08.1992 № 632 (ред. от 14.06.2001, с изм. от 14.05.2009) «Об утверждении Порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия»;
- Постановление Правительства РФ от 12.06.2003 № 344 (ред. от 01.07.2005, с изм. от 08.01.2009) «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления».

### **Плата за загрязнение**

На практике плата за загрязнение окружающей среды исчисляется в соответствии с «Инструктивно-методическими указаниями по взиманию платы за загрязнение окружающей среды». Этими указаниями установлен перечень видов воздействий, за которые с предприятий взимается плата, а именно за:

- выброс в атмосферный воздух загрязняющих веществ (**ЗВ**) от стационарных и передвижных источников;
- сброс ЗВ в поверхностные и подземные водные объекты, на рельеф местности, а также любое их подземное размещение;

– размещение отходов производства и потребления.

Масса выбросов (сбросов) загрязняющих веществ подразделяется на следующие категории:

- предельно допустимые выбросы, сбросы (ПДВ и ПДС);
- временно согласованные выбросы, сбросы (ВСВ и ВСС) или лимиты, устанавливаемые на период достижения ПДВ и ПДС;
- превышение нормативных (при отсутствии утвержденных ВСВ, ВСС или лимитов) или временно согласованных (лимитных) выбросов (сбросов) считается сверхлимитными выбросами (сбросами).

Итоговый размер платы предприятия в конкретном году:

$$P_{\text{итог}}^{\text{пр}} = P^{\text{пр}} K_{\text{инд}} K_{\text{особ.тер}}, \quad (4.1)$$

где  $K_{\text{инд}}$  – коэффициент индексации платы в конкретном году,  $K_{\text{особ.тер}} = 2$  дополнительный коэффициент для особо охраняемых природных территорий, для остальных территорий = 1.

Плата предприятия за выбросы, сбросы ЗВ, размещение отходов и другие виды воздействия  $P^{\text{пр}}$ :

$$P^{\text{пр}} = P^{\text{доп}} + P^{\text{лим}} + P^{\text{сверхлим}}, \quad (4.2)$$

где  $P^{\text{доп}}$  – плата за загрязнение в границах предельно допустимых нормативов;  $P^{\text{лим}}$  – плата за загрязнение, превышающее границы предельно допустимых нормативов, но в пределах установленных лимитов;  $P^{\text{сверхлим}}$  – плата за сверхлимитное загрязнение окружающей среды.

## Плата за выбросы и сбросы загрязняющих веществ

### Стационарные источники

Плата предприятий за выбросы (сбросы) ЗВ от стационарных источников определяется как:

$$P_{\text{ст}}^{\text{пр}} = P_{\text{ст}}^{\text{доп}} + P_{\text{ст}}^{\text{лим}} + P_{\text{ст}}^{\text{сверхлим}}. \quad (4.3)$$

Слагаемые рассчитываются:

$$P_{\text{ст}}^{\text{доп}} = C_{\text{диф},i}^{\text{доп}} \sum_i^n M_i^{\text{доп}}, \quad (4.4)$$

где  $i = 1, 2 \dots n$  – загрязняющее вещество, выбрасываемое в пределах допустимого норматива;  $M_i^{\text{доп}}$  – масса  $i$ -го ЗВ, выбрасываемого в пределах допустимого норматива, т;  $C_{\text{диф},i}^{\text{доп}}$  – дифференцированная ставка платы за выброс 1 тонны  $i$ -го ЗВ в пределах допустимого норматива, руб./т;

$$P_{\text{ст}}^{\text{лим}} = C_{\text{диф},j}^{\text{лим}} \sum_j^m M_j^{\text{лим}}, \quad (4.5)$$

где  $j = 1, 2 \dots m$  – загрязняющее вещество с выбросом, превышающим норматив, но в пределах установленного лимита;  $M_j^{\text{лим}}$  – масса  $j$ -го ЗВ, превышающего норматив, но в пределах установленного лимита, т;  $C_{\text{диф},j}^{\text{лим}}$  – дифференцированная ставка платы за выброс 1 тонны  $j$ -го ЗВ сверх норматива, но в пределах установленного лимита, руб./т;

$$P_{\text{ст}}^{\text{сверхлим}} = K_{\text{штраф}} C_{\text{диф},l}^{\text{лим}} \sum_l^k M_l^{\text{сверхлим}} = 5 C_{\text{диф},l}^{\text{лим}} \sum_l^k M_l^{\text{сверхлим}}, \quad (4.6)$$

где  $l = 1, 2 \dots k$  – загрязняющее вещество с выбросом сверх установленного лимита;  $M_l^{\text{сверхлим}}$  – масса  $l$ -го сверхлимитного ЗВ, т;  $K_{\text{штраф}} = 5$  – коэффициент штрафных санкций.

Дифференцированная ставка платы за выброс (сброс) ЗВ определяется:

$$C_{\text{диф}} = C_{\text{баз}} K_{\text{экол.снт}} K_{\text{гор}}, \quad (4.7)$$

где  $C_{\text{баз}}$  – базовый норматив платы за загрязнение в границах предельно допустимых нормативов;  $K_{\text{экол.снт}}$  – коэффициент экологической ситуации, учитывающий общую экологическую ситуацию и экологическую значимость атмосферы (или состояние водного бассейна) на территории экономического района РФ;  $K_{\text{гор}} = 1,2$  – дополнительный коэффициент, вводимый при расчетах платы за выброс ЗВ в атмосферный воздух городов.

В общем случае масса фактически выбрасываемого ЗВ является суммой:

$$M^{\text{факт}} = M^{\text{доп}} + M^{\text{лим}} + M^{\text{сверхлим}}. \quad (4.8)$$

### Передвижные источники

Плата предприятия за выбросы ЗВ от передвижных источников (например, транспортных средств) в пределах установленных лимитов определяется по количеству израсходованного топлива разного вида.

Расчет проводится по формуле:

$$P_{\text{передв}}^{\text{пр}} = K_{\text{экол.снт}} K_{\text{гор}} \sum_j^l (Q_j C_j), \quad (4.9)$$

где  $j$  – вид использованного топлива;  $Q_j$  – количество топлива  $j$ -го вида, использованного предприятием за отчетный период, т;  $C_j$  – удельная плата за допустимые выбросы ЗВ, образующиеся при сжигании 1 тонны этого вида топлива (табл. 4.1), руб./т.

Таблица 4.1

Ставки платы за выбросы при сжигании передвижными источниками 1 тонны топлива

Топливо	Единицы измерения	Норматив платы, руб./т или руб./м <sup>3</sup>
Бензин неэтилированный	т	1,3
Дизельное топливо	т	2,5
Керосин	т	2,5
Сжатый природный газ	тыс. м <sup>3</sup>	0,7
Сжиженный природный газ	т	0,9

Если государственные органы, уполномоченные в этой сфере, устанавливают при инструментальной проверке превышение технических нормативов выбросов ЗВ у транспортных средств, то плата за превышение допустимых выбросов от передвижных источников взимается с предприятия как за сверхлимитный выброс, т.е. умножается на коэффициент штрафных санкций  $K_{\text{штраф}} = 5^2$ . Если используются нейтрализующие выбросы устройства – применяют понижающие коэффициенты:

0,05 – для автотранспорта на газовом топливе или неэтилированном бензине;

0,1 – для другого транспорта.

### Плата за размещение отходов

Особенностью взимания платы при размещении отходов является то, что за отходы производства и потребления всех классов опасности для окружающей среды, временно (не более 1 года) накапливаемые с целью их дальнейшего использования в собственном производстве или для передачи на иные предприятия для повторного использования, а также передачи на специализированные предприятия по утилизации, демеркуризации, сжиганию отходов и т. п., плата за загрязнение окружающей среды не начисляется. Обязательным условием при этом является временное размещение и хранение отходов в условиях, соответствующих установленным требованиям.

Плата за размещение отходов определяется аналогично плате за выбросы от стационарных источников:

$$P_{\text{отх}}^{\text{пр}} = P_{\text{отх}}^{\text{лим}} + P_{\text{отх}}^{\text{сверхлим}}. \quad (4.10)$$

Дифференцированная ставка платы за размещение 1 тонны отхода  $i$ -го вида в пределах установленного лимита определяется:

$$C_{\text{диф}}^{\text{отх}} = C_{\text{баз}}^{\text{отх}} K_{\text{экол.сиг}} K_{\text{разм}}, \quad (4.11)$$

$C_{\text{баз}}^{\text{отх}}$  – базовый норматив платы за загрязнение вследствие размещения 1 тонны отходов определенного вида (класса опасности) в пределах уста-

новленного годового лимита, руб./т. (табл. 4.2);  $K_{\text{экол.снт}}$  – коэффициент экологической ситуации, учитывающий общую экологическую ситуацию и экологическую значимость почв в конкретном регионе;  $K_{\text{разм}}$  – коэффициент размещения (табл. 4.3).

Таблица 4.2

*Базовый норматив платы за размещение отходов*

Вид отхода (по классам опасности для окружающей среды)	Норматив платы за размещение 1 т. отходов в пределах годового лимита, руб./т
I класс опасности (чрезвычайно опасные)	1739,2
II класс опасности (высоко опасные)	745,4
III класс опасности (умеренно опасные)	497
IV класс опасности (мало опасные)	248,4
V класс опасности (практически не опасные): в добывающей промышленности в перерабатывающей промышленности прочие	0,4 15 (руб./м <sup>3</sup> ) 8

Таблица 4.3

*Коэффициенты размещения отходов*

Характеристика условий размещения отходов и их особенности	$K_{\text{разм}}$
На специальных полигонах и промышленных площадках, оборудованных в соответствии с установленными требованиями и расположенных в пределах промышленной зоны источников негативного воздействия	0,3
Отходы, подлежащие временному накоплению и фактически использованные (утилизированные) в течение 1 года с момента размещения в собственном производстве в соответствии с технологическим регламентом или переданные для использования в течение отчетного периода либо 1 года с момента образования отходов при условии их размещения в соответствии с установленными требованиями	0
На территории, не предназначенной для размещения отходов (несанкционированная свалка). Нарушение правил захоронения.	$5K_{\text{места}}$ , $K_{\text{места}} = 5$ при размещении отходов в границах городов, населенных пунктов, водоохраных территорий, $K_{\text{места}} = 3$ при размещении отходов на расстоянии менее 3 км от границ вышеперечисленных объектов

## Примеры

**Пример 1.** Рассчитать для московской фабрики сумму платы за загрязнение атмосферного воздуха оксидами азота, выброшенными стационарным источником в количестве 300 кг. Установленная величина ПДВ – 0,2 т, а величина временно согласованного сверхнормативного выброса – 0,105 т. Норматив платы за выброс  $\text{NO}_x$  в пределах допустимого норматива составляет 35 руб./т., а сверх норматива, но в пределах установленного лимита – 175 руб./т.  $K_{\text{экол.сит}} = 1,9$ ;  $K_{\text{гор}} = 1,2$ ;  $K_{\text{инд}} = 1$ ;  $K_{\text{особ.тер}} = 1$ .

*Решение.* Фактические выбросы не превысили величину установленного лимита ( $\text{ВСВ} = 0,2 + 0,105 = 0,305$  т), поэтому расчет платы таков:

Плату за массу ЗВ в пределах установленного норматива ПДВ ( $M^{\text{доп}} = 0,2$  т) определяем по формулам (4.4) и (4.7):

$$P_{\text{ст}}^{\text{доп}} = C_{\text{баз}}^{\text{доп}} K_{\text{экол.сит}} K_{\text{гор}} M_{\text{NO}_x}^{\text{доп}} = 35 \cdot 1,9 \cdot 1,2 \cdot 0,2 = 15,96 \text{ руб.}$$

Плата за массу выброса  $\text{NO}_x$  сверх ПДВ, но в пределах лимита (ВСВ) ( $M^{\text{лим}} = 0,3 - 0,2 = 0,1$  т) определяется по формулам (4.5) и (4.7):

$$P_{\text{ст}}^{\text{лим}} = C_{\text{баз}}^{\text{доп}} K_{\text{экол.сит}} K_{\text{гор}} M_{\text{NO}_x}^{\text{доп}} = 175 \cdot 1,9 \cdot 1,2 \cdot 0,1 = 39,9 \text{ руб.}$$

Общий размер платы фабрики за выброс  $\text{NO}_x$  определяется по формулам (4.1) и (4.3)

$$P_{\text{ст}}^{\text{пр}} = K_{\text{инд}} K_{\text{особ.тер}} (P_{\text{ст}}^{\text{доп}} + P_{\text{ст}}^{\text{лим}}) = 1 \cdot 1 \cdot (15,96 + 39,9) = 55,86 \text{ руб.}$$

**Пример 2.** Для служебных поездок в пределах города сотрудников дирекции московского представительства фирмы «АВСД» в 2004 г. Израсходовано 25550 л неэтилированного бензина марки АИ-95. Плотность бензина 0,755 кг/л. Какова величина платы за загрязнение атмосферы?  $K_{\text{экол.сит}} = 1,9$ ;  $K_{\text{гор}} = 1,2$ ;  $K_{\text{инд}} = 1$ ;  $K_{\text{особ.тер}} = 1$ .

*Решение.* Расчет платы проводится по формулам (4.1) и (4.9) и данных табл. 4.1, а также с учетом плотности бензина.

Масса израсходованного бензина равна:

$$Q_{\text{бенз}} = 25550 \cdot 0,755 = 19290,25 \text{ кг/год} = 19,29 \text{ т/год.}$$

Итоговая плата предприятия за загрязнение атмосферного воздуха передвижными источниками определяется по уравнению:

$$P_{\text{итог}}^{\text{пр}} = K_{\text{инд}} K_{\text{особ.тер}} K_{\text{экол.сит}} K_{\text{гор}} Q_{\text{бенз}} C_{\text{бенз}} = 1 \cdot 1 \cdot 1,9 \cdot 1,2 \cdot 19,29 \cdot 1,3 = 62,89 \text{ руб.}$$

**Пример 3.** Рассчитать величину платы за размещение на своей территории в 2003 г. обрезков бумаги (отходы 5 –го класса опасности), образовавшихся до 2002 г. в подмосковной типографии № 2, в количестве 18,5 м<sup>3</sup> при установленном лимите размещения отходов этого класса



22 м<sup>3</sup>/год. Коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние почвы в центральном экономическом районе России, равняется 1,6).  $K_{\text{разм}} = 1$ ,  $K_{\text{инд}} = 1$ ,  $K_{\text{особ.тер}} = 1$ .

*Решение.* Установленный лимит размещения отходов производства не был превышен, предприятие также не утилизировало отходы и не передало их специализированным предприятиям в течение года. Расчет платы за размещение отходов выполняется с использованием формул (4.1), (4.10), (4.4) и (4.11) и табл. 4.2:

$$P_{\text{итог}}^{\text{пр}} = P_{\text{отх}}^{\text{лим}} K_{\text{инд}} K_{\text{особ.тер}} = C_{\text{баз}}^{\text{отх}} M^{\text{доп}} K_{\text{экол.сит}} K_{\text{разм}} K_{\text{инд}} K_{\text{особ.тер}} =$$

$$= 18,5 \cdot 15 \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 1 = 444,0 \text{ руб.}$$

### Задания

Предприятие Томской обл. ЗАО «Аграрная группа» в процессе своей хозяйственной деятельности в 2010 г. выбросило в атмосферу от стационарных источников и сбросило в р. Томь загрязняющие вещества. На предприятии имеются отходы, не использованные в собственном производстве и не утилизированные в течение года. На балансе предприятия имеются передвижные источники загрязнения окружающей среды. В таблицах 4.4–4.6 приведены количества загрязняющих веществ, сведения о размещенных отходах, установленные нормативы и другие данные, необходимые для расчетов. В таблице 4.7 приведены сведения о передвижных источниках загрязнения атмосферы, состоящих на балансе предприятия, об их годовом расходе топлива.

$K_{\text{экол.сит}} = 1,2$  (для атмосферного воздуха и почвы);  $K_{\text{экол.сит}} = 1,03$  (для бассейна р. Оби);  $K_{\text{инд}} = 1$ ;  $K_{\text{особ.тер}} = 1$ .

Таблица 4.4

*Характеристика выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников предприятия*

№	Загрязняющее вещество	Фактический выброс ЗВ, т/год	Установленная для предприятия величина, т/год		Норматив платы, руб./т в пределах	
			ПДВ	ВСВ	ПДВ	ВСВ
1.	Альдегид пропионовый	4,362	3	1,0	205	1025
2.	NO <sub>2</sub>	48,199	47	5,0	52	260
3.	СО	88,902	90	12,0	0,6	3
4.	Сероводород	11,464	10	1,1	257	1285
5.	Аммиак	73,659	75	10,0	52	260

Таблица 4.5

*Характеристика сбросов загрязняющих веществ предприятием в р. Томь*

№	Загрязняющее вещество	Фактический выброс ЗВ, т/год	Установленная для предприятия величина, т/год		Норматив платы, руб./т	
			ПДС	ВСС	в пределах	
					ПДС	ВСС
1.	Нефть и нефтепродукты	3,00	1,0	0,5	5510	27550
2.	Фенол	0,01	0,02	–	275480	1377405
3.	Взвешенные вещества	20,00	25,00	30	366	1830

Таблица 4.6

*Характеристика отходов предприятия, не использованных в собственном производстве и не переданных на утилизацию в течение года*

№	Наименование отхода	Класс опасности	Установленный лимит, т		Норматив платы, руб./т (руб./м <sup>3</sup> )	Фактическое количество отходов, руб./т (руб./м <sup>3</sup> )
			величина	ед.изм		
1.	Опилки древесные	5	32	м <sup>3</sup>	15	34
2.	Металлолом	4	500	м <sup>3</sup>	15	500
3.	Твердые бытовые отходы	4	10	т	248,4	23,8
4.	Опилки древесные промасленные	3	0,1	т	497	0,1
5.	Кислота аккумуляторная	2	0,5	т	745,4	0,5
6.	Лампа люминесцентная	1	0,5	т	1739,2	0,45

Таблица 4.7

*Перечень передвижных источников на балансе предприятия и их годовой расход топлива*

Вид источника	Количество источников, шт.	Топливо		Устройство нейтрализации ЗВ
		Вид	Общее количество, т/год	
Легковые автомобили	15	Бензин неэтилированный (АИ-93)	90	есть
	8	Дизельное топливо	80	нет

Окончание таблицы 4.7

Вид источника	Количество источников, шт.	Топливо		Устройство нейтрализации ЗВ
		Вид	Общее количество, т/год	
Грузовые автомобили	40	Бензин неэтилированный (А-76)	190	нет
Автомобили на газовом топливе	15	Сжиженный газ	35	нет
Строительно-дорожные машины	5	Дизельное топливо	18	нет

1. Рассчитайте плату предприятия в целом и по основным видам платежей: за выбросы стационарных и передвижных источников, за сбросы, за размещение отходов.

2. Во сколько раз изменятся платежи предприятия за выбросы в 2011г., если будет использована новая технология, которая позволит снизить выбросы СО на 40 %.

3. Расчеты показали, что новое оборудование может уменьшить выбросы оксида азота в 4 раза, однако выбросы взвешенных веществ увеличатся на 15 кг. На какую сумму изменятся платежи предприятия?

4. На какую сумму изменятся платежи предприятия в 2011 г. при переводе всего автотранспорта на сжиженный газ, условно считая расход топлива неизменным?

5. Будет ли эффективно строительство очистных сооружений для очистки сточных вод от нефтепродуктов на 80 % перед их сбросом в реку, если затраты на строительство и эксплуатацию сооружений оцениваются в 100 тыс. рублей?

6. Какое природоохранное мероприятие даст больший экономический эффект: строительство нефтеловушки, описанной в вопросе 5 или использование отстойника взвешенных веществ с эффективностью улавливания 90 %, если затраты на строительство и эксплуатацию последнего оцениваются в 20 тыс. рублей?

7. Снижение в 2 раза выброса какого загрязняющего вещества позволяет максимально снизить платежи предприятия за загрязнение?

8. На сколько и во сколько раз изменятся платежи предприятия за размещение отходов, если они оборудуют в соответствии с установленными требованиями на своей территории специальную промышленную площадку для металлолома?

9. Как и на сколько изменятся платежи предприятия за размещение отходов, если половина образующегося металлолома и все древесные

опилки, указанные в табл. 4.6, будут в течение года полностью использоваться (утилизироваться)?

**10.** На сколько изменятся платежи, если отходы в течение последующих двух лет будут размещаться на несанкционированной свалке?

Перечень рекомендуемой литературы к главе IV: [1], [14–15], [20], [22], [27], [31], [34], [38].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Акимова Т.А. Экология. Природа – Человек – Техника. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Экономика, 2007. – 511 с.
2. Алексеев С.В. и др. Экология человека: Учебник. – Изд-во «Икар», 2002. – 770 с.
3. Баландин Р.К. Вернадский: жизнь, мысль, бессмертие. – М.: Знание, 1988. – 205 с.
4. Басов В.М. Задачи по экологии и методика их решения: учебное пособие. – 3-е изд. – М.: Едиториал УРСС, 2009. – 160 с.
5. Белозерский Г.Н. Радиационная экология: учебник. – М.: Академия, 2008. – 384 с.
6. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. – М.: Наука, 1989. – 250 с.
7. Войткевич Г.В., Вронский В.А. Основы учения о биосфере. – М.: Просвещение, 1989. – 160 с.
8. Галюжин С.Д. и др. Общая и прикладная экология: Учеб. пос. для студентов ВУЗа. – Мн: Дизайн ПРО, 2003. – 192 с.
9. Гора Е.П. Экология человека: учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2007. – 540 с.
10. Гриценко А.И. Экология. Нефть и газ. – М.: Наука, 1997. – 598 с.
11. Дмитриев А.Н., Шитов А.В. Техногенное воздействие на природные процессы Земли. Проблемы глобальной экологии: Новос.: Изд. дом «Малускрипт», 2003. – 140 с.
12. Заиканов Г. Е. и др. Кислотные дожди и окружающая среда / Под ред. Г. Е. Заиканова. – М.: Химия, 1991. – 236 с.
13. Ижко Ю.А., Колесник Ю.А. Современное состояние биосферы и экологическая политика. – СПб.: Питер, 2007. – 192 с.
14. Коробкин В.И. Экология: учебник. – 13-е изд. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. – 608 с.
15. Макара С.В. Основы экономики природопользования: учебное пособие. – М.: ИМПЭ, 1998. – 192 с.
16. Мамин Р.Г. Безопасность природопользования и экология здоровья: Учеб. пос. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 238 с.
17. Мотузко Ф.Я. Основы экологии. – М.: Недра, 1994. – 126 с.
18. Назаренко О.Б. Экология: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 100 с.
19. Небел Б. Наука об окружающей среде: Как устроен мир, т. 1. – М.: Мир, 1993. – 424 с.

20. Николайкин Н.И. Николайкина Н. Е., Мелехова О. П. Экология: учебник для вузов. – 6-е изд. испр. – М.: Дрофа, 2008. – 623 с.
21. Одум Ю. Основы экологии. – М.: Мир, 1975. – 740 с.
22. Основы экономики природопользования: учебное пособие для вузов / под ред. В. Н. Холиной. – СПб.: Питер, 2005. – 672 с.
23. Панин В.Ф., Сечин А.И., Федосова В.Д. Экология для инженера. Учебное пособие. – М.: Изд. Дом «Ноосфера», 2000. – 284 с.
24. Петунин О.В. Сборник заданий и упражнений по общей экологии: учебное пособие. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. – 189 с.
25. Петров К.М. Общая экология: взаимодействие общества и природы: Учебное пособие для вузов. СПб: Химия, 1997. – 352 с.
26. Пресман А.С. Организация биосферы и ее космические связи. – М.: Гео-СИНТЕГ, 1997.–240 с.
27. Прищеп Н.И. Экология: практикум: учебное пособие. – М.: Аспект-Пресс, 2007. – 272 с.
28. Протасов В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России: Учебное и справочное пособие. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 672 с.
29. Пугач Л.И. Энергетика и экология: Учебник для высш. учеб. зав. – Новос.: Изд-во НГТХ, 2003. – 504 с.
30. Ревич Б.А. Загрязнение окружающей среды и здоровье населения. – М.: Изд-во МНЭПУ, 2001. – 264 с.
31. Резчиков Е.А. Экология: учебное пособие – 6-е изд. стереот. – М.:МГИУ, 2007. – 120 с.
32. Реймерс Н.Ф. Экология: Теории, законы, правила, принципы и гипотезы. – М.: Россия Молодая, 1994.– 364 с.
33. Степановских А.С. Общая экология: учебник. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 510 с.
34. Снакин В.В. Экология и природопользование в России: энциклопедический словарь. – М.: Academia, 2008. – 815 с.
35. Барановская Н.В., Чубик М.П. Общая экология: практикум. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 38 с.
36. Шилов И.А. Экология: учебник для вузов. – 6-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2009. – 512 с.
37. Хаскин В.В. Экология человека: учебное пособие / Хаскин В.В., Акимова Т.А., Трифонова Т.А. – М.: Экономика, 2008. – 367 с.
38. Экология: сборник задач, упражнений и примеров: учебное пособие для вузов / Бродская Н.А., Воробьев О.Г., Маковский А.Н., Матягина А.М. и др.. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2006. – 508 с.
39. Экология городов: Учебник. – К. Либра, 2000. – 464 с.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1

### *Темы для самостоятельной работы*

1. История становления экологии.
2. Современные экологические проблемы и пути их решения.
3. Устойчивое развитие человечества. Проблемы. Пути решения.
4. Экологические кризисы и катастрофы в истории человечества.
5. Перспективы перехода России на модель устойчивого развития.
6. Методы исследований в экологии.
7. Моделирование в экологии.
8. Экологические факторы и их действие.
9. Экосистемы: структура и динамика.
10. Круговорот веществ в биосфере.
11. Учение В.И. Вернадского о биосфере.
12. Основные этапы эволюции жизни и биосферы
13. Экологические «законы» Б. Коммонера
14. Основные этапы эволюции жизни и биосферы
15. Системные законы экологии.
16. Демографические проблемы планеты Земля.
17. Проблемы урбанизации.
18. Проблема пищевых продуктов.
19. Продукты генной инженерии как факторы окружающей среды.
20. Гигиенические аспекты жилой среды.
21. Здоровый образ жизни.
22. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье человека.
23. Виды природных ресурсов и основы их рационального использования.
24. Загрязнение атмосферы. Методы очистки промышленных выбросов от пыли и газов.
25. Прогноз последствий изменения климата на Земле.
26. Киотский протокол.
27. Озоновые дыры. Пути решения проблемы.
28. Кислотные дожди.
29. Транспорт и окружающая среда. Методы защиты атмосферного воздуха от отработанных газов автомобилей.
30. Загрязнение гидросферы. Очистка сточных вод.

31. Биотехнологические процессы: очистка сточных вод, утилизация твердых бытовых отходов, восстановление загрязненных почв.
32. Проблема чистой воды.
33. Уменьшение загрязнения литосферы твердыми отходами.
34. Проблема охраны почв.
35. Минеральные удобрения: польза и вред.
36. Вторичное засоление: причины и решение проблемы.
37. Проблемы утилизации и хранения отходов производства.
38. Малоотходные технологии.
39. Атомная энергетика и окружающая среда.
40. Гидроэнергетика и окружающая среда.
41. Теплоэнергетика и окружающая среда.
42. Энергия – поиск подходов, приемлемых для окружающей среды и развития
43. Нетрадиционные методы производства энергии.
44. Экологические последствия чрезвычайных ситуаций техногенного характера.
45. Экологические последствия аварий на химических производствах.
46. Экологические последствия лесных пожаров.
47. Ядерно-топливный цикл. Воздействие на окружающую среду.
48. Влияние деятельности Сибирского химического комбината на окружающую среду и здоровье населения.
49. Последствия испытаний ядерного оружия и ядерной войны для окружающей среды.
50. Захоронение радиоактивных отходов.
51. Законодательное управление природоохранной деятельностью.
52. Государственная экологическая экспертиза. Экологический контроль.
53. Международное сотрудничество в области защиты окружающей среды.
54. Экономический ущерб от загрязнения окружающей среды. Эффективность затрат на охрану природы.
55. Биологическая безопасность и биологический терроризм.
56. Мониторинг окружающей среды.

Для подготовки рефератов студенты могут использовать следующие периодические издания:

Геоэкология. – Научно-популярный журнал.

Природа. – Научно-популярный журнал.



Инженерная экология. – Научно-популярный журнал.  
Сибирский экологический журнал. – Научно-популярный журнал.  
Экология промышленного производства. – Научно-популярный журнал.  
Наука и жизнь. – Научно-популярный журнал.  
Земля и Вселенная. – Научно-популярный журнал.  
Экология и жизнь. – Научно-популярный журнал.  
Экология и промышленность России – Научно-популярный журнал.  
Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – Обзорная информация ВИНТИ.  
Экология человека. – Научно-популярный журнал.

и интернет-ресурсы:

<http://www.green.tsu.ru/> – официальный сайт Департамента природных ресурсов Томской области;

<http://www.mnr.gov.ru/> – сайт Министерства природных ресурсов и экологии РФ;

<http://www.zapoved.ru/> – особо охраняемые природные территории РФ;

<http://ecportal.su/> – Всероссийский экологический портал;

<http://www.ecoOil.su/> – сайт «Нефть и экология»;

<http://nuclearwaste.report.ru/> – сообщество экспертов. Тема: радиоактивные отходы.

## Приложение 2

Таблица П.2

Содержания белков, жиров, углеводов, калорийность, гликемический индекс (ГИ) в пищевых продуктах (на 100 г) и величина порции, содержащей одну хлебную единицу (ХЕ)

Продукт	Белки, г	Жиры, г	Углеводы		Ккал	Порция в ХЕ, г	ГИ
			Простые	Крахмал			
1 Группа. Наиболее предпочтительные продукты							
1.1. Источники белка							
1.1.1. Мясо, птица							
Телятина отварная	30,7	0,9	–	–	131		
Кура отварная	25,2	7,4	–	–	170		
Индейка отварная	25,3	10,4	–	–	195		
Кролик отварной	24,6	7,7	–	–	170		
1.1.2. Рыба отварная или припущенная							
Горбуша	22,9	7,8	–	–	162		
Камбала	18,3	3,3	–	–	103		
Минтай	17,6	1	–	–	79		
Окунь морской	19,9	3,6	–	–	112		
Судак	21,3	1,3	–	–	97		
Треска	17,8	0,7	–	–	78		
Хек	18,5	2,3	–	–	95		
Щука	21,3	1,3	–	–	97		
Кальмар (филе)	18	2,2	–	–	75		
Крабы	18,7	1,1	0,1	–	85		
Креветки	17,8	1,1	–	–	81		
Белок яйца вареный 1шт. – 25 г	3	–	–	0,15	13		
1.1.3. Молочные продукты							
Молоко обезжиренное	3	0,05	4,7	–	31	250	25
Кефир обезжиренный	4,3	1	5,30	–	49	250	25
Йогурт 1,5 % жирности без сахара	5	1,5	3,5	–	51	250	15
Творог нежирный	18	0,6	1,8	–	88		
Вареники с творогом 2 шт.	10,7	1,2	–	27	170		55

Продолжение таблицы П.2

Продукт	Белки, г	Жиры, г	Углеводы		Ккал	Порция в ХЕ, г	ГИ
			Простые	Крахмал			
Сыры: пони- женной жирно- сти	25–30	окт.15	–	–	190–255		
1.2. Источники жиров							
Растительные нерафинирован- ные масла, (кроме пальмо- вого, кокосово- го)	–	99,9	–	–	899		
1.3. Источники углеводов							
1.3.1. Блюда							
Вареники с кар- тофелем 2 шт.	5,3	0,8	–	33	158		60
Картофель от- варной в мунди- рах	2,4	0,4	0,5	11	82	110	65
Рис отварной коричневый	2,2	0,2	0,2	21,7	101	50	55
Рис отварной шлифованный	2,4	0,2	0,2	24,7	113	50	70
1.3.2 Каши							
Рисовая вязкая на воде	1,5	0,1	1,1	16,3	78	75	70
Гречневая рас- сыпчатая	5,9	1,6	0,6	29,9	163	40	40
Гречневая вяз- кая на воде	3,2	3	1,3	15,8	90	75	40
Пшеничная рас- сыпчатая	4,7	1,1	0,7	25,4	135	55	50
Пшеничная вязкая на воде	3	0,7	1,4	16,2	90	75	50
Овсяная из "Геркулеса" вязкая на воде	2,9	1,4	1,7	13,1	84	95	55
Перловая рас- сыпчатая	3,1	0,4	0,5	21,6	106	60	50
Овсяная вязкая на воде	3	1,7	1,2	13,8	88	75	40
Пшеничная (Полтавская) на воде	3,2	0,3	1,6	17,1	92	70	70

Продолжение таблицы П.2

Продукт	Белки, г	Жиры, г	Углеводы		Ккал	Порция в ХЕ, г	ГИ
			Простые	Крахмал			
Ячневая рас- сыпчатая	3,4	0,4	0,5	21,6	108	60	50
Ячневая вязкая	2,3	0,3	1,3	14,4	76	90	50
Хлеб ржаной	6,5	1,1	–	41,3	190	30	50
1.3.3. Овощи							
Горошек зеле- ный	5	0,2	6	6,8	73	190	35
Капуста бело- кочанная	1,8	0,1	4,6	0,1	27	250	15
Капуста цвет- ная отварная	0	0,3	3,5	0,5	26	250	15
Кабачки при- пущенные	0,7	1,9	5,3	–	40	200	15
Лук зеленый (перо)	1,3	–	3,5	–	19	180	15
Лук репчатый	1,4	–	9	0,1	41	150	20
Морковь	1,3	0,1	7	0,2	34	150	85
Огурцы	0,7	0,1	1,8	0,1	11	600	25
Перец сладкий	1,3	–	5,2	0,1	26	250	15
Зелень (пет- рушка, укроп, салат, щавель)	1,5– 3,7	0,4	1,7–6,8	0,6–1,2	17–49	600	0– 15
Редис	1,2	0,1	3,5	0,3	21	300	15
Репа	1,5	–	5	0,3	27	225	15
Свекла отвар- ная	1,8	–	10,6	0,2	49	140	70
Томаты	1,1	0,2	3,5	0,3	31	300	20
1.3.4 Бахчевые							
Арбуз без ко- журы с кожурой	0,7	0,2	8,7	0,1	38	135	70
						230	
Дыня	0,6	–	9	0,1	38	130	45
1.3.5 Фрукты							
Абрикосы	0,9	0,1	9	–	41	120	35
Алыча	0,2	–	6,4	–	27	100	25
Ананас	0,4	0,2	11,5	–	49	100	65
Бананы без ко- журы с кожурой	1,5	0,1	19	2	89	60	60
						90	
Вишня	0,8	0,5	10,3	–	52	90	25
Гранат без ко- журы с кожурой	0,9	–	11,2	–	52	100	30
						200	

Продолжение таблицы П.2

Продукт	Белки, г	Жиры, г	Углеводы		Ккал	Порция в ХЕ, г	ГИ
			Простые	Крахмал			
Груша	0,4	0,3	9	0,5	42	100	33
Персики	0,9	0,1	9,5	–	43	130	30
Слива	0,8	–	9,5	0,1	43	70	25
Хурма	0,5	–	13,2	–	53	90	45
Черешня	1,1	0,4	10,6	–	50	100	25
Яблоки	0,4	0,4	9	0,8	45	100	35
Апельсин без кожуры с кожурой	0,9	0,2	8,1	–	40	130	40
						180	
Грейпфрут без кожуры с кожурой	0,9	0,2	6,5	–	35	130	25
						170	
Лимон	0,9	0,1	3	–	33		20
Мандарин без кожуры с кожурой	0,8	0,3	8,1	–	40	120	40
						180	
Брусника	0,7	0,5	8	–	43	170	25
Виноград	0,6	9,2	15	–	65	70	45
Клубника	0,8	0,4	6,2	0,1	34	190	40
Клюква	0,5	–	3,8	–	26	150	20
Крыжовник	0,7	0,2	9,1	–	43	140	40
Малина	0,8	0,3	8,3	–	42	170	30
Смородина красная	0,6	0,2	73	–	39	150	30
Смородина чер- ная	1	9,2	6,7	0,6	38	120	30
1.3.6. Грибы							
Белые свежие	3,7	1,7	1,1	–	23		
Шампиньоны свежие	4,3	1	0,1	–	27		
1.3.7. Квашенья, соленья							
Капуста кваше- ная	1,8	–	2,2	–	19		
1.3.8. Фрукты сушеные							
Курага	5,2	–	55	–	234	20	30
Изюм	1,8	–	66	–	262	20	65
Чернослив	2,3	–	57,8	0,6	242	20	25
Яблоки	2,2	–	44,6	3,4	199	20	30
Финики	2,5	–	68,5	0	281	25	60
1.3.9 Мёд							
Мед натураль- ный	0,8	–	74,8	5,5	314	15	80

Продолжение таблицы П.2

Продукт	Белки, г	Жиры, г	Углеводы		Ккал	Порция в ХЕ, г	ГИ
			Простые	Крахмал			
1.3.10 Супы							
Борщ, щи вегетарианские	1	2	2,2–3,3	1,6–2,2	40– 48	300– 200	30
Картофельный, с макаронными изделиями	1,4	2,1	1,3	7,1	48	150	40
Гороховый	3,4	2,2	–	8,2	66	150	30
Бульон куриный	0,5	0,1	–	–	3		
Бульон мясной	0,6	0,2	–	–	4		
2 Группа							
2.1. Источники белка							
2.1.1. Мясо, птица							
Говядина вареная	25,8	16,8	–	–	254		
Говядина тушеная (жир–5,мука)	14,3	5,3	–	3,3			
Гуляш говяжий	12,3	12,2	–	3,9	175		
Говядина жареная	28,6	6,2	–	–	170		
Бифштекс	28,8	11	–	–	214		
Бефстроганов	18	14,3	–	06.июн	228	200	50
Баранина отварная	22	17,2	–	–	243		
Печень гов. тушеная	11	9,6	–	–	165		
Печень говяжья жареная (мука, жир)	22,8	10,2	–	10,8	227	120	50
Кура жареная	26,3	11	–	–	204		
Индейка жареная	26,2	13,5	–	–	226		
2.1.2. Рыба жареная							
Камбала	18,5	8,6	–	3,6	166		
Карп	19	11,1	–	3,6	190		
Минтай	15,8	5,4	–	3,5	126		
Окунь морской	21	9,7	–	4,2	188		
Судак	17,8	5,7	–	3,3	136		
Треска	15,9	5,1	–	3,2	121		
Хек	16	6,3	–	3,3	134		
Щука	17,7	5,8	–	3,4	137		
2.1.3. Икра							
Красная икра	31,6	13,8	–	–	251		

Продолжение таблицы П.2

Продукт	Белки, г	Жиры, г	Углеводы		Ккал	Порция в ХЕ, г	ГИ
			Простые	Крахмал			
Черная зернистая	28,6	9,7	–	–	203		
Минтаевая	28,4	1,9	–	–	131		
2.1.4. Молочные продукты							
Молоко 3,2 %	2,8	3,2	4,7	–	58	250	25
Кефир жирный	2,8	3,2	4,1	–	56	250	25
Творог полужирн.	16,7	9	2	–	56		
Сырники из нежирного творога	18,9	3,3	1,9	10,6	160	100	70
Сырники из полужирного творога	17,6	11,3	1,6	10,6	224	100	65
Запеканка из нежирного творога	17,6	4,2	8,3	6,3	171	75	70
Запеканка из полужирного творога	16,4	11,7	7,8	6,3	231	75	65
2.1.5. Сыры							
Голландский	26	26,8	–	–	352		
Костромской	25,2	26,3	–	–	345		
Брынза	17,9	20,1	–	–	260		
Колбасный копченый	23	19	–	–	270		
Плавленые сыры	22	20	–	–	340		
2.2 Источники жиров							
Растительные масла рафинированные	–	99,8	–	–	899		
Маргарин	0,3	82	1	–	743		
2.3. Источники углеводов							
2.3.1. Овощи							
Картофель жареный	2,8	9,5	1,6	21,8	192	50	95
Запеканка картофельная	3	53	1,7	14,9	128	70	90
Лук репчатый	2	14,8	12	0,1	187	100	15
Капуста белокочанная тушеная	2	33	9	0,6	75	250	15

Продолжение таблицы П.2

Продукт	Белки, г	Жиры, г	Углеводы		Ккал	Порция в ХЕ, г	ГИ
			Простые	Крахмал			
Капуста цветная	3,1	6,1	2,8	2,7	89	150	30
Кабачки жареные	1,1	6	6,2	1,5	83	200	
Голубцы овощные	2	5,2	5,1	4,5	93	120	55
2.3.2. Консервы овощные							
Горошек зеленый	3,1	0,2	3,3	3,2	40	150	35
Томаты	1,1	–	3,5	0,3	20	200	15
Фасоль стручковая	1,2	0,1	1,6	0,9	16	300	30
Икра из баклажан	1,7	13,3	4,5	0,59	148	200	15
Икра из кабачков	2	9	8	0,54	122	140	15
Каша манная жидкая на воде	0,1	0,1	2,2	10,7	60	100	75
Хлеб из муки грубого помола, ржано-пшеничный	7	1,1	–	40,3	193	30	60
Хлеб пшеничный из муки высшего сорта	8,1	1,2	–	42	203	30	65
2.3.3. Соки натуральные, без сахара							
Томатный	1	–	3,3	0,2	19	250	15
Абрикосовый	0,5	–	13,7	–	56	90	40
Апельсиновый	0,7	–	12,8	–	54	110	45
Виноградный	0,3	–	13,8	–	54	70	40
Вишневый	0,7	–	10,2	–	47	90	40
Грейпфуртовый	0,3	–	8	–	36	140	40
Персиковый	0,3	–	17	–	66	100	40
Сливовый	0,3	–	16,1	–	66	80	40
Яблочный	0,5	–	9,1	–	38	90	40
2.3.4. Напитки							
Яблочно-виноградный	0,4	–	12,8	–	51		
Кисель клюквенный	0,03	–	10,6	3	54	80–90	50
Компот из сухофруктов	0,4	–	15,1	–	60	80–90	60



Продолжение таблицы П.2

Продукт	Белки, г	Жиры, г	Углеводы		Ккал	Порция в ХЕ, г	ГИ
			Простые	Крахмал			
Компоты консер- вированные	0,2– 0,6	–	21–24,3	–	82– 99	50	50
Варенье фрукто- во–ягодное	0,3– 0,6	–	71–73	0,2	271– 281	15	55
3 Группа. Наименее предпочтительные продукты							
3.1. Источники белка							
3.1.1. Мясо, птица							
Свинина отварная	22,6	31,6	–	–	375		
Свинина жареная	20	24,2	–	–	298		
Шницель рубле- ный из свинины	13,5	42,5	–	10,1	477	120	50
Котлеты рубленые из говядины	14,6	11,8	–	13,6	220	90	50
Шашлык из бара- нины	22,9	30,4	–	3	372		
Котлета отбивная из баранины	20	28	–	10	373	120	50
Утка отварная	19,7	18,8	–	–	248		
Утка жареная	22,6	19,5	–	–	266		
Паштет из печени	18	15,3	–	4,7	227		
Пельмени 4 шт.	14,5	14,5	–	33,3	312		55
Мясные консервы разные	15–20	15–22	–	–	195– 298		
3.1.2. Колбасные изделия							
Колбаса доктор- ская	12,8	22,2	–	1,5	257		
Колбаса молочная	11,7	22,8	–	2,8	252		
Колбаса краков- ская	16,2	44,6	–	–	466		
Колбаса таллин- ская	17,1	33,8	–	–	373		
Сервелат	24	40,5	–	–	461		
Сардельки говя- жьи	11,4	18,2	–	1,5	215		
Сардельки свиные	10,1	31,6	–	–	332		
Сосиски молоч- ные	11	23,9	–	1,6	266		
Ветчина	22,6	20,9	–	–	279		
Окорок	14,3	25,6	–	–	288		
3.1.3. Рыба соленая							
Килька	17,1	7,7	–	–	137		
Сельдь	17,5	11,4	–	–	173		

Продолжение таблицы П.2

Продукт	Белки, г	Жиры, г	Углеводы		Ккал	Порция в ХЕ, г	ГИ
			Простые	Крахмал			
3.1.4. Рыба копченая							
Треска	26	1,2	–	–	115		
Скумбрия	23,4	6,4	–	–	150		
Балык осетровый	20,4	12,5	–	–	194		
3.1.5. Рыбные консервы							
Печень трески натуральная	4,2	65,7	–	1,2	613		
Сардины в масле	17,9	19,7	–	–	249		
Сайра, в масле бланшированная	18,3	23,3	–	–	283		
Шпроты	17,4	32,4	–	0,4	363		
Яичница–глазунья	12,9	20,9	–	0,9	243		
Омлет	9,6	15,4	–	1,9	184		
3.1.6. Молочные продукты							
Молоко 6 % жирности	3	6	4,7	–	84	250	30
Сливки 10 % жирн.	3	10	4	–	118	250	30
Творог жирный 18 %	14	18	2,8	–	232		
Сырki и массы творожные	7,1	23	26	–	341	50	70
Сырki глазированные	8,5	27,8	30,5	–	407	40	70
Молоко сгущенное без сахара (7,5 %)	7	8,3	9,5	–	140	120	30
3.1.7. Сыры							
Советский	24,7	31,2	–	–	389		
Чеддер	23,5	30,5	–	–	379		
3.2. Источники жиров							
Сметана 20 % жирности	2,8	20	3,2	–	206		
Масло сливочное	0,5	82,5	0,8	–	748		
Масло крестьянское	0,8	72,5	1,3	–	661		
Масло топленое	0,3	98	0,6	–	887		
Жир кулинарный	–	99,7	–	–	897		
Майонез	2,8	67	2,6	–	624		

Продолжение таблицы П.2

Продукт	Белки, г	Жиры, г	Углеводы		Ккал	Порция в ХЕ, г	ГИ
			Простые	Крахмал			
<b>3.3. Источники углеводов</b>							
<b>3.3.1. Мучное</b>							
Макаронные изделия отварные	4,1	0,4	0,6	18,4	98	60	60
Батон	8	0,9	0,8	48,1	235	25	80
Сдоба обыкновенная	8	5,6	5,3	46,5	299	25	85
Бублики	9	1,1	1,1	55,4	284	20	80
Сушки простые	10,9	1,3	1	67	335	20	50
Сухари	9	9,5	12,3	52,9	386	15	50
Пирожки печеные	12,9	7,2	4,1	33,3	268	35	50
<b>3.3.2. Кондитерские изделия</b>							
Печенье простое, слад	6,5	11,8	23,6	50,8	436	15	55
Вафли с фруктовыми начинками	3,2	2,8	63,8	16,3	350	15	65
Пряники	4,8	2,8	43	34,7	350	15	65
Пирожное слоеное с кремом	5,44	38,6	16,1	30,3	555	20	75
Пирожное слоеное с кремом	5,4	38,6	16,1	30,3	555	20	75
Пирожное бисквитное	4,7	9,3	55,6	8,6	351	20	75
Пирожное песочное	5,1	18,5	35,5	27,3	435	20	75
Пирожное заварное с кремом	5,9	10,2	42,6	12,6	329	25	75
Халва подсолнечная	11,6	29,7	41,5	1,1	523	30	70
Зефир, пастила	0,5	–	76,8	3,6	310	12	65
Мармелад жележный	–	0,1	68,2	9,5	302	16	60
Карамель с фруктовой начинкой	0,1	0,1	80,9	11,2	357	13	60
конфеты шоколадные	5,8	32	48,6	9,3	535	20	50
Шоколад молочный	6,9	35,7	49,5	2,9	550	25	35
Шоколад горький (какао более 60 %)	5,4	35,3	47,2	5,4	540	25	25
Сахар-песок	–	–	99,8	–	379		60
<b>3.3.3. Мороженое</b>							
Молочное	3,2	3,5	15,5	–	126	80	60

## Окончание таблицы П.2

Продукт	Белки, г	Жиры, г	Углеводы		Ккал	Порция в ХЕ, г	ГИ
			Простые	Крахмал			
Сливочное	3,3	10	14	–	179	80	60
Пломбир	3,2	15	15	–	227	80	60
Эскимо	3,5	20	14,3	–	270	80	60
<b>3.3.4. Консервы молочные</b>							
Молоко сгущенное с сахаром	7,2	8,5	43,5	–	320	30	80
Сливки сгущенные с сахаром	8	19	37	–	382	35	80
Какао со сгущенным молоком и сахаром	8,2	7,5	43,5	–	309	30	80
<b>3.3.5. Соусы</b>							
Соус томатный острый	2,5	–	20,8	1	98	50	50
Томат–паста	4,8	–	18	1	99	65	50
<b>3.3.6. Напитки безалкогольные</b>							
Безалкогольные, газированные на плодово–ягодных настоях с сахаром	–	–	7,5–12	–	30–48	200–100	80
Чай черный байховый с сахаром	–	–	8	–	32	150	60
Кофе черный с сахаром	–	–	8	–	32	150	60
Какао с молоком	1,9	1,9	12,1	2,4	74	85	40
Минеральная вода	–	–	–	–	–	–	–
<b>3.3.7. Напитки алкогольные</b>							
Квас	–	–	5	–	25	250	45
Пиво разное	–	–	4,8–8,8	–	37–64	250–150	45
Вина сухие (белое, красное)	–	–	0,2	–	65–70		
Вино, шампанское полусухое	–	–	5	–	88	250	15–30
Вина десертные, крепленые	–	–	16–20	–	150–170	75	15–30
Ликер	–	–	45	–	313	25	15–30
Наливки	–	–	30		216	40	15–30

Учебное издание

ЛАРИОНОВА Екатерина Владимировна  
ВТОРУШИНА Анна Николаевна  
ГУСЕЛЬНИКОВ Михаил Эдуардович  
НАЗАРЕНКО Ольга Брониславовна

## ПРАКТИКУМ ПО ЭКОЛОГИИ

Учебное пособие

Издано в авторской редакции


**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 14.11.2011. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл. печ. л. 7,27. Уч.-изд. л. 6,58.  
Заказ 1692-11. Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)