

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Т. А. ТРИФОНОВА  
И. Д. ФЕОКТИСТОВА  
Н. В. ЧУГАЙ

# ОБЩАЯ ЭКОЛОГИЯ

Лабораторный практикум

*2-е издание,  
исправленное и дополненное*



Владимир 2019

УДК 574  
ББК 28.080  
Т69

Рецензенты:

Доктор сельскохозяйственных наук  
зам. директора по научной работе  
ФГБНУ «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр»  
*С. И. Зинченко*

Доктор химических наук, профессор  
зав. кафедрой химии Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
*Б. А. Кухтин*

Издается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

**Трифонова, Т. А.** Общая экология : лаб. практикум /  
Т69 Т. А. Трифонова, И. Д. Феоктистова, Н. В. Чугай ; Владим. гос.  
ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – 2-е изд., испр. и доп. –  
Владимир : Изд-во ВлГУ, 2019. – 135 с.  
ISBN 978-5-9984-1039-0.

Второе издание содержит новые работы, рассматривающие все составляющие загрязнения элементов биосферы: атмосферы, почвы, гидросферы. Представлены методы определения некоторых нормируемых компонентов, которые возможно осуществить в условиях учебных лабораторий.

Предназначен для студентов высших учебных заведений всех форм обучения, способствует подготовке специалистов разного уровня.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Табл. 40. Ил. 10. Библиогр.: 28 назв.

УДК 574  
ББК 28.080

ISBN 978-5-9984-1039-0

© ВлГУ, 2019

## **ВВЕДЕНИЕ**

Экологическое образование как непрерывный процесс обучения, воспитания и развития личности занимает важное место в подготовке специалистов разного уровня и сфер деятельности. Оно развивается как необходимое условие для преодоления экологической опасности.

Связь живых организмов с окружающей средой образует единую и очень сложную систему, которую называют биосферой. Современное человечество, вооруженное техникой и использующее огромное количество энергии, представляет мощную силу, воздействующую на биосферу. Если эти воздействия не будут учитывать природные законы и связи, установившиеся за миллионы лет, могут возникнуть катастрофические последствия. Ученые уже обеспокоены тенденцией нарастания неустойчивости биосферы, вызванной деятельностью человека.

Экология в настоящее время приобретает особое значение как наука, помогающая найти пути выхода из возникающего кризиса, а экологическое образование формирует экологическую культуру и ответственность личности и общества, обеспечивая его выживание и развитие.

Антропогенное загрязнение окружающей среды (воды, воздуха, почвы) приводит к возникновению неблагоприятных последствий: нарушению нормальной жизнедеятельности биосферы, изменению климата, исчезновению многих видов растений и животных, ухудшению здоровья населения. Именно экология служит теоретической основой для разработки основных направлений по восстановлению нарушенных природных систем, снижению антропогенного воздействия на окружающую среду.

В практикуме представлены работы, рассматривающие методы определения некоторых нормируемых компонентов атмосферного воздуха, воды и почвы, которые возможно осуществить в условиях учебных лабораторий.

Основная цель лабораторных работ по курсу «Общая экология»:  
- закрепление и углубление знаний студентов по теоретическим основам курса;

- ознакомление с методами изучения жизненных процессов, которые впоследствии могут быть использованы в практической деятельности, выполнении НИРС;

- формирование самостоятельности мышления студентов;

- развитие навыков наблюдения, анализа явлений, сравнения.

- обучение умению изучать и оценивать состояние окружающей среды, проводить эксперименты, наблюдения, исследовать и решать экологические задачи;

- воспитание потребности соблюдения здорового образа жизни и улучшения состояния окружающей среды.

Контрольные вопросы, задачи и тесты предназначены для лучшего усвоения учебного материала и обобщения полученных знаний.

При написании лабораторного практикума было использовано большое количество литературных источников и нормативных документов. Среди них и фундаментальные (В. И. Вернадский «Биосфера и ноосфера») и современные практические и исследовательские труды и работы в экологии (А. А. Горелов «Экология и экономика природопользования»; В. Н. Луканин «Промышленно-транспортная экология»; Т. А. Трифонова «Химия окружающей среды»), которые дают студентам научное представление об основополагающих принципах и методах современного природопользования, о тенденциях и проблемах его развития от глобального до регионального уровней.

# Лабораторная работа 1

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ pH КИСЛОТНЫХ ОСАДКОВ

### 1. Процессы образования

Для охраны окружающей среды большое значение имеет решение проблемы кислотных осадков.

**Кислотными** называются любые осадки – дожди, туманы, снег, кислотность которых выше нормальной. К ним также относят выпадение из атмосферы сухих кислых частиц, более узко называемых кислотными отложениями.

Кислотные осадки обусловлены присутствием серной ( $H_2SO_4$ ) и азотной ( $HNO_3$ ) кислот. Обычно кислотность на две трети состоит из первой и на одну треть из второй, но во многом их соотношение определяется особенностями антропогенного загрязнения атмосферы в конкретном регионе. Присутствие в этих формулах серы и азота указывает на то, что проблема связана с выбросами данных элементов в воздух.

**Загрязнение атмосферы соединениями серы.** Соединения серы попадают в атмосферу как естественным путем, так и в результате антропогенной деятельности. При отсутствии источников загрязнения диоксид серы ( $SO_2$ ) встречается в атмосфере в виде ничтожных следов. Единственный крупный естественный источник диоксида серы – это вулканическая деятельность. В основном  $SO_2$  поступает в атмосферу в результате человеческой деятельности. Главная причина загрязнения им атмосферы – сжигание ископаемого топлива, которое содержит серу. В процессе горения часть серы окисляется до  $SO_2$ . Среди используемых видов топлива первое место по поставке диоксида серы занимает каменный уголь, второе – нефть, природный газ находится на третьем месте. Наиболее распространенные соединения серы, поступающие в атмосферу, – диоксид серы ( $SO_2$ ), сульфиты ( $SO_3$ ), сероуглерод ( $CS_2$ ) и сероводород ( $H_2S$ ).

Содержание серы в угле достаточно велико. В процессе горения сера превращается в сернистый газ, а часть серы остается в золе в твердом состоянии.

Содержание серы в различных видах ископаемого топлива приведено в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Содержание серы в различных видах топлива

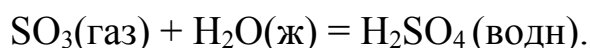
Вид топлива	Содержание серы, %
Лигнин	1,1 – 1,6
Северный бурый уголь	2,8 – 3,3
Каменный уголь	1,4
Нефть и нефтепродукты	0,1 – 3,7

В результате антропогенной деятельности в атмосферу попадают значительные количества серы, главным образом в виде ее диоксида. Среди источников этих соединений на первом месте стоит уголь, сжигаемый в зданиях и на электростанциях, который дает 70 % антропогенных выбросов.

К основным источникам образования SO<sub>2</sub> относятся также металлургическая промышленность (переработка сульфидных руд меди, свинца и цинка) и предприятия по производству серной кислоты и переработке нефти.

Основной вред окружающей среде наносит не столько сам диоксид серы, сколько продукт его окисления – SO<sub>3</sub>. Процесс окисления осуществляется под действием кислорода на пылеобразных частицах оксидов металлов в качестве катализаторов, в атмосферной влаге или под действием солнечного света.

Газообразный SO<sub>3</sub> растворяется в капельках влаги с образованием серной кислоты



**Загрязнение атмосферы соединениями азота.** Оксиды азота образуются в атмосфере как естественным, так и антропогенным путем при горении ископаемого топлива. Загрязнение атмосферы оксидами азота в целом сравнительно невелико. Однако в районах с развитой химической промышленностью имеются локальные зоны повышенного содержания NO, NO<sub>2</sub> в воздухе (табл. 1.2).

Таблица 1.2

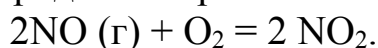
## Соединения азота и их концентрации в приземном слое атмосферы

Соединение	Концентрация азота, мкг/м <sup>3</sup>		
	Загрязненный район	Отдаленный район	Океан
NO	5 – 50	0,05 – 0,5	0,05
NO <sub>2</sub>	5 – 50	0,2 – 2,0	0,2
HNO <sub>3</sub>	2	0,2 – 2	0,2
NH <sub>3</sub>	–	0,1 – 10	0,3
NO <sub>3</sub>	2	0,1 – 0,4	0,02
NH <sub>4</sub>	–	1,0 – 2,0	0,4

Основные антропогенные источники поступления оксидов азота в атмосферу – сжигание всех видов природного топлива (12 млн т/год), транспорт (8 млн т/год) и промышленность (1 млн т/год).

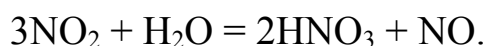
Монооксид азота NO образуется в малых количествах в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания при прямом взаимодействии кислорода с азотом. В среднем выделение NO автомобилем составляет 1 – 2 г на 1 км пробега.

Одно из важных свойств NO – его способность реагировать с кислородом с образованием NO<sub>2</sub>:



Вследствие этой реакции некоторое количество диоксида азота присутствует в выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания.

Газообразный диоксид азота растворяется в капельках влаги с образованием азотной кислоты



Вымывая из атмосферы H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и HNO<sub>3</sub>, осадки становятся кислотными. Их pH зависит от количества как кислот, так и воды, в которой они растворены. Сильные дожди обычно менее кислотные. У туманов pH может упасть ниже всего, поскольку здесь кислоты растворены в относительно меньшем количестве влаги.

В настоящее время известно, что кислоты могут выпадать из атмосферы и без воды, сами по себе или с частицами пыли. Такие сухие кислотные отложения могут накапливаться на поверхности растений и при смачивании небольшим количеством влаги, например при выпадении росы, давать сильные кислоты. Следовательно, к кислотным осадкам надо отнести и кислотную росу.

Мерой кислотности воды служит концентрация ионов водорода  $[H^+]$ , выраженная в молях на литр. Молекула воды слабо диссоциирует с образованием ионов водорода  $H^+$  и гидроксид-ионов  $OH^-$ :



В пробе чистой воды концентрации  $[H^+]$  и  $[OH^-]$  равны между собой и эти величины при  $25\text{ }^\circ\text{C}$  составляют  $10^{-7}$  моль/л. Растворы с одинаковыми концентрациями ионов водорода и гидроксид-ионов называются нейтральными:

$$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} \text{ моль/л.}$$

Обычно кислотность раствора выражают другим способом. Вместо концентрации ионов водорода указывают ее десятичный логарифм, взятый с обратным знаком. Эта величина называется водородным показателем и обозначается как рН:

$$pH = -\lg[H^+].$$

Так как  $-\lg 10^{-7} = 7$ , значит  $pH = 7$  характеризует нейтральные растворы.

В кислой среде концентрация  $[H^+]$  больше  $[OH^-]$ , а в щелочных, наоборот, концентрация гидроксид-ионов больше, чем ионов водорода:

$$[H^+] > [OH^-], \quad [H^+] > 10^{-7}, \quad pH < 7 \text{ – кислая среда;}$$

$$[H^+] < [OH^-], \quad [H^+] < 10^{-7}, \quad pH > 7 \text{ – щелочная среда.}$$

Чистая дождевая вода не нейтральна. В отсутствие любых загрязнителей у дождевой воды обычно слабокислая реакция ( $pH = 5,6$ ). Поскольку угарный газ ( $CO$ ), поступающий в атмосферный воздух из антропогенных источников, вступает в реакцию с атмосферной влагой, образуя слабую угольную кислоту, она легко растворяется с образованием углекислого газа и воды (содержание углекислого газа в воздухе примерно  $0,032\%$  по объему, или  $0,046\%$  по массе).

Таким образом, кислотными точнее называть осадки с  $pH$   $5,6$  и ниже.

Кислотные осадки выпадают в большинстве промышленных районов мира. Над восточной частью США и Канады, вдоль западного побережья Северной Америки, а также почти над всей Европой  $pH$  дождя и снега обычно составляет около  $4,5$ . Многие места в пределах этих регионов регулярно получают осадки с  $pH$   $4,0$ . В отдельных случаях  $pH$  дождя может быть гораздо ниже, а туман и роса бывают более кислыми, чем дождь.



## 2. Влияние кислотных осадков на экосистемы

Уже более ста лет кислотные осадки признают серьезной проблемой в индустриальных и прилегающих к ним районах, но их влияние на экосистемы было отмечено только около 35 лет назад, когда рыбаки заметили резкое сокращение популяций рыбы во многих озерах Швейцарии, провинции Онтарио (Канада) и гор Адирондак (штат Нью-Йорк). Шведские ученые первыми определили, что все дело заключается в повышенной кислотности воды, и связали ее с ненормально низкими значениями рН осадков. С тех пор выяснялись различные пути разрушительного влияния кислотных осадков на экосистемы.

**Влияние на водные экосистемы.** Значение рН среды чрезвычайно важно, так как от него зависит деятельность практически всех ферментов, гормонов и других белков в организме, регулирующих метаболизм, рост и развитие. Особенно подвержены влиянию рН яйцеклетка, сперма и молодь. У пресноводных озер, ручьев и прудов рН воды обычно составляет 6 – 7, и организмы адаптированы именно к этому уровню. При изменении рН воды всего лишь на одну единицу по сравнению с оптимальным они в большинстве случаев испытывают серьезный стресс и часто погибают.

Наиболее очевидное влияние кислотные осадки оказывают на водные экосистемы. В пресноводных водоемах рН воды обычно равен 6 – 7. Снижение рН до 5 приводит к постепенному вымиранию рыб. Однако нельзя считать, что взрослая рыба просто погибает в большом количестве из-за повышенной кислотности воды в этих озерах. На самом деле сильно закисленные воды не позволяют рыбе нормально размножаться. Самки могут оказаться неспособными выметать икру в кислой воде; если же икра все-таки попадает в воду, она либо погибает, либо из нее вылупляются нежизнеспособные мальки.

Во многих районах, где количество рыбы уменьшилось вследствие кислотных дождей, наблюдались очень холодные зимы с обильными снегопадами. При таянии окрестных снегов подкисленная вода стекает в озера, что приводит к резкому увеличению кислотности. Таяние снегов и повышение кислотности по времени совпадают с нерестом рыб. Таким образом, вымеченная икра попадает в максимально кислую воду, которая наблюдается в течение года. Можно предположить, что по мере сокращения численности рыбы будет

уменьшаться и численность тех видов животных, которые питаются рыбой, таких как белоголовый орлан, гагары, скопа, а также выдра, норка и др.

Из-за воздействия кислотных дождей может сокращаться численность лягушек, жаб и тритонов. Многие из этих видов размножаются во временных водоемах, возникающих в период весенних дождей; вода в них может быть даже более кислой, чем в озерах, поскольку эти временные водоемы образованы только дождевой водой с повышенной кислотностью.

Когда среда водных экосистем подкислена, практически все организмы быстро вымирают, если не из-за прямого воздействия ионов  $H^+$ , то из-за невозможности размножения. Влияние кислотных осадков на экосистемы иногда усиливается в период таяния снегов, когда все накопившиеся за зиму кислотные осадки устремляются в ручьи и реки как раз в период размножения большинства организмов.

Дополнительный ущерб возникает в связи с тем, что кислотные осадки, просачиваясь сквозь почву, способны выщелачивать алюминий и тяжелые металлы. Обычно присутствие этих элементов в почве не создает проблем, так как они связаны в нерастворимые соединения и, следовательно, не поглощаются растениями. Однако при низком значении рН их соединения растворяются, становятся доступными и оказывают сильное токсическое воздействие как на растения, так и на животных. Например, алюминий, довольно обильный во многих почвах, попадая в озера и реки, вызывает аномалии развития и гибель эмбрионов рыбы.

**Влияние на леса.** Кислотные дожди отрицательно воздействуют не только на животных, но и на растения. Опыты с моделированием кислотных дождей в теплицах продемонстрировали, что кислоты нарушают защитный восковой покров листьев, делая растения более уязвимыми для насекомых, грибов и других патогенных организмов.

Анализ вод, дренирующих различные природные уголья, при неодинаковых условиях показал, что кислотные осадки значительно увеличивают выщелачивание биогенов. Ионы водорода легко вытесняют ионы биогенов с частиц почвы и гумуса. Кроме того, при низких значениях рН понижается активность редуцентов и азотфиксаторов, что еще более обостряет дефицит биогенов. Все эти обстоятельства могут вызвать дефицит биогенов, а значит, замедление роста деревьев и их уязвимость для естественных врагов и засухи.

Кроме того, при поглощении почвами кислотный дождь выщелачивает соли калия, кальция, магния и, унося их в подпочвенный слой, лишает растения необходимых им питательных веществ.

Многие растения очень чувствительны к алюминию. Кислотные осадки влияют на содержание алюминия в почве, а он представляет собой элемент, токсичный для растений и животных. Этот элемент широко распространен: он присутствует в значительных количествах во многих горных породах и почвенных минералах. В естественных условиях соединения алюминия практически нерастворимы, т. е. присутствуют в недоступной для растений форме в фазе почвенных минералов и поэтому безвредны. Подкисление переводит алюминий в растворенное состояние, в котором он доступен растениям и может в них накапливаться, оказывая токсическое действие.

Этот процесс называется мобилизацией, в данном случае алюминия. Другие токсичные элементы, в том числе ртуть и свинец, также могут мобилизоваться при подкислении среды. Всё это способно привести к замедлению роста и гибели деревьев.

**Снижение буферной ёмкости.** Защитить систему от изменения рН при добавлении кислоты может буфер. Так называется вещество, способное поглощать или высвобождать ионы водорода при данном значении рН. Когда в систему, содержащую буфер, добавляют кислоту, дополнительные ионы водорода им поглощаются и рН остаётся практически неизменным.

Многие водоемы и почвы в качестве буфера содержат известняк ( $\text{CaCO}_3$ ). Озера, в подстилающих породах которых присутствует известняк (осадочная порода, состоящая из карбоната кальция  $\text{CaCO}_3$ ), «сопротивляются» закислению воды в них, поскольку карбонат кальция нейтрализует кислоту:



Фермеры давно используют известь для нейтрализации кислых почв. Садовники охотно применяют для тех же целей яичную скорлупу, раковины устриц, также состоящие из карбоната кальция.

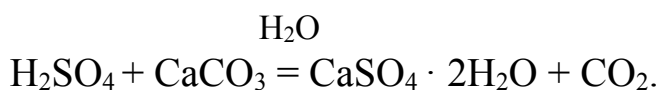
Почвы, так же, как и водоемы, по-разному реагируют на выпадение кислотных осадков. Чем больше в почве содержится карбоната кальция, тем меньше она подвержена закислению.

Однако возможности любого буфера ограничены. Известь, например, просто расходуется, реагируя с кислотой. Поэтому говорят о буферной емкости системы. Когда она исчерпана, дополнительные

ионы водорода остаются в растворе, и происходит соответствующее понижение рН среды.

При одинаковом количестве кислотных осадков в первую очередь подкисляются и гибнут экосистемы с низкой буферной емкостью, а те, у которых она действительно высока, не страдают.

**Влияние на людей и изделия.** Одно из наиболее ощутимых последствий кислотных осадков – разрушение произведений искусства. Кислотные осадки разрушают строительные материалы, образованные карбонатом кальция (мрамор, известняк и др.). Известняк и мрамор – излюбленные материалы для оформления фасадов зданий и сооружения памятников. Под действием кислотных дождей ускоренно корродируют металлоконструкции, нарушается целостность лакокрасочных покрытий, разрушаются здания и памятники архитектуры. Памятники и здания, простоявшие сотни и тысячи лет лишь с незначительными изменениями, сейчас растворяются и рассыпаются в крошево. При взаимодействии с серной кислотой карбонат кальция превращается в гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), который легко крошится, нарушая целостность конструкции:



Более того, мобилизация кислотными осадками алюминия и других токсичных элементов может привести к загрязнению как поверхностных, так и грунтовых вод. Как было установлено недавно, алюминий способен вызывать болезнь Альцгеймера, разновидность преждевременного старения.

Однако если кислотные осадки будут и в дальнейшем выпадать в прежнем объеме, гораздо большее воздействие на человечество окажут потери озер и лесов, их экономической, экологической и эстетической ценности, а также последствия усиленной почвенной эрозии.

Для предупреждения опасного воздействия кислотных осадков на экосистемы и антропогенные сооружения необходимо добиваться снижения выбросов в атмосферу оксидов серы и азота.

**Цель работы** – расширение знаний о процессах образования кислотных осадков и их влиянии на экосистемы для осознания как антропогенного воздействия человечества в планетарном масштабе, так и для сохранения культурного наследия, которое невозможно будет вернуть; овладение методикой их количественного определения.

### 3. Ход выполнения работы

Оборудование: Бюретка на 25 мл  
Мерный цилиндр на 25 мл  
Колбы конические на 250 мл – 3 шт.  
Химический стакан и воронка  
Раствор КОН  
Индикатор фенолфталеин.

В коническую колбу мерным цилиндром отбирают 25 мл кислотных осадков определенного образца. В бюретку, закрепленную в штативе, наливают титрант КОН и доводят его объем до нулевой отметки, предварительно заполнив носик бюретки. В каждую колбу добавляют 3 – 4 капли индикатора фенолфталеина и титруют раствором КОН до перехода окраски от бесцветной к слабо-розовой, не исчезающей в течение 20 с. Результаты титрования записывают в журнал, находят среднее арифметическое из трех определений и полученный результат подставляют в формулу, рассчитывая значение концентрации  $[H^+]$ :

$$C_{[H^+]} = \frac{C_{OH^-} \cdot V_{OH^-}}{V_{H^+}},$$

где  $C[OH^-]$  – концентрация КОН, моль экв/л;  $V[OH^-]$  – средний объем раствора КОН для титрования, мл;  $V [H^+]$  – средний объем кислотных осадков, взятый для определения, мл.

Вычисляют значение рН по формуле

$$pH = -\lg C[H^+].$$

*Вывод.* Полученные результаты рН сравнивают со шкалой и делают вывод о рН исследуемого образца.

### Контрольные вопросы

1. Какие осадки называются кислотными?
2. Каков процесс образования кислотных осадков?
3. Каковы источники поступления загрязняющих веществ в атмосферу?
4. За счет каких процессов рН кислотных осадков становится менее 5,6?
5. Каково влияние кислотных осадков на водные экосистемы, почву, леса и памятники архитектуры?
6. Что такое буфер и буферная емкость?

## Лабораторная работа 2

### ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

#### 1. Факторы воздействия на окружающую среду

Основные факторы воздействия на окружающую природную среду – это промышленность и транспорт. Суммарные выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух на территории России составляют 20,8 млн т, от передвижных источников – 13,2 млн т. Среди отраслей промышленности основными загрязняющими атмосферу можно назвать топливную и нефтехимическую, а также энергетическую (на их долю приходится соответственно 60 и 18 % от общего объема выбросов).

К основным процессам, которые происходят при воздействии транспорта и промышленности на окружающую среду, относят:

- горение, термогазодинамические процессы в двигателях, технологических печах и устройствах сжигания топлива;
- испарение, потери топлива при эксплуатации и обслуживании промышленно-транспортных объектов;
- виброакустические излучения движущихся объектов, частей машин, электромагнитное излучение электрических и электронных устройств;
- ландшафтные нарушения;
- каталитическую нейтрализацию, перегонку жидкостей, кристаллизацию и др.

Основным источником теплоты при сгорании топлива становится окисление содержащихся в топливе атомов углерода, водорода, серы, азота (табл. 2.1). Кроме данных компонентов, в топливе могут находиться кислородсодержащие соединения (спирты, эфиры), тяжелые металлы.

Таблица 2.1

#### Элементарный состав основных видов органического топлива

Вид топлива	Состав горючей массы, %				
	C	H	O	N	S
Древесина	51	6	42,5	0,5	–
Торф	58	6	33,0	2,5	0,5
Бурый уголь	71	7	20,4	1,0	0,6
Антрацит	90	4	3,2	1,5	1,3
Сланцы	70	8	16,0	1,0	5
Мазут	88	10	0,5	0,5	1,0

*Загрязнение* – увеличение концентраций физических, химических, биологических компонентов выше уровня, который выводит природные системы из состояния равновесия (рис. 2.1). Источник загрязнения – объект, от которого загрязняющие вещества поступают в окружающую среду (ОС).



Рис. 2.1. Основные типы загрязнения биосферы

Основная масса загрязняющих веществ ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , оксиды азота, альдегиды, кетоны, органические кислоты (при неполном сгорании топлива), бенз(а)пирен и др.) образуется в результате сжигания топлива. Состав отходящих дымовых газов очень разнообразен, зависит от вида сжигаемого топлива и протекающих химических реакций.

*Вредное вещество* – ингредиент, оказывающий негативное воздействие на биологические системы.

*Фоновая концентрация* – содержание загрязняющих веществ в ОС, определяемое суммой вклада всех (антропогенных и природных) источников загрязнения.

*Токсиканты* – вредные вещества или соединения, оказывающие ядовитое воздействие.

*Суперэкоксиканты* – особо опасные токсичные вещества, концентрация которых определяется в микродозах.

**Цель работы** – расширение знаний о техногенном загрязнении окружающей среды, получение представления об основных механизмах и процессах образования загрязняющих веществ и отходов в технологических процессах, изучение механизмов и процессов образования загрязняющих веществ; овладение методикой количественного и качественного определения характера загрязнения окружающей среды.

## 2. Отходы производства и потребления

Все виды отходов, образующиеся в результате деятельности человека, классифицируют:

*на отходы производства:*

– остатки сырья, материалов, готовой продукции, образовавшиеся в технологическом процессе и полностью или частично утратившие свои потребительские свойства;

– побочные продукты физико-химической переработки сырья, получение которых не является целью технологического процесса;

*отходы потребления:*

– различные изделия, комплектующие материалы, детали и прочее, которые по каким-либо причинам непригодны для дальнейшего использования;

*отходы промышленного потребления:*

– вышедшее из строя оборудование, металлолом, отработавшие свой временной ресурс изношенные изделия (или технически и в быту морально устаревшие), изделия из различных материалов.

*бытовые:*

– пищевые остатки, изношенные изделия бытового назначения (обувь, макулатура), различного вида тара.

Отходы, образующиеся в процессе производственной деятельности, классифицируют:

1) по стадиям технологического процесса (добыча, переработка и т. д.);

2) способу переработки (термическая, химическая и т. д.);

3) отраслевому признаку (топливно-энергетического комплекса, транспортного и т. д.);

4) направлению утилизации (в качестве вторичных материальных или энергетических ресурсов);

5) классам опасности:

- отходы I класса опасности (чрезвычайно опасные);
- отходы II класса опасности (высокоопасные);
- отходы III класса опасности (умеренно опасные);
- отходы IV класса опасности (малоопасные);
- отходы V класса опасности (практически неопасные).



### 3. Задания

1. Овладеть методикой количественного и качественного определения образующихся веществ и отходов на предприятии (по материалам сбора информации или исходным данным).

2. Выяснить механизмы образования загрязняющих веществ (отходов) на предприятии.

3. Провести количественную и качественную оценку воздействия промышленно-транспортных объектов на атмосферу.

### 4. Ход выполнения работы

Используя методику расчета массы загрязняющих веществ, определите:

1. Количество образующихся веществ в результате сжигания 1 тыс. т приведенных в табл. 2.2 видов топлива (для проверки расчетов используйте формулу построения материального баланса). Работу выполняют по вариантам.

*Таблица 2.2*

Количество образующихся вредных веществ в результате сжигания различных видов топлива

Вариант	Вид топлива	Масса топлива, тыс. т	Вариант	Вид топлива	Масса топлива, тыс. т
1	Древесина	1	5	Сланцы	0,8
2	Торф	1	6	Мазут	1
3	Бурый уголь	0,5	7	Торф	0,7
4	Антрацит	1	8	Бурый уголь	1

2. Вид топлива, в результате сжигания которого:

1-й вариант – выделяется наибольшее количество углекислого газа;

2-й вариант – потребляется наибольшее количество кислорода;

3-й вариант – выделяется наибольшее количество сернистого газа;

4-й вариант – потребляется наибольшее количество воздуха;

5-й вариант – выделяется наибольшее количество паров воды;

6-й вариант – потребляется наименьшее количество кислорода.

## **Контрольные вопросы**

1. От каких факторов зависит величина выбросов загрязняющих веществ?
2. Какие виды загрязнений выделяют? Приведите примеры.
3. Какие вещества предстают основными загрязнителями атмосферы?
4. Объясните механизм образования  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$  в процессе горения топлива.
5. С чем связано механическое загрязнение воздуха? Чем представлена минеральная составляющая топлива?
6. Как классифицируются отходы, образующиеся в процессе производственной деятельности?
7. Перечислите классы опасности загрязняющих веществ.
8. Какие отрасли промышленности вносят основную долю в загрязнение атмосферного воздуха?

## **Лабораторная работа 3**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА АНТРОПОГЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ, ПОПАДАЮЩИХ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАБОТЫ АВТОТРАНСПОРТА**

В антропогенном загрязнении большую роль играют не только стационарные промышленные предприятия, но и мобильные источники, особенно автотранспорт, количество которого с увеличением размеров городов и населения постоянно повышается. Если 15 – 20 лет назад атмосферу города загрязняли в основном отходы промышленности и энергетики, то сегодня пальма первенства перешла к «химическим фабрикам на колесах» – автотранспорту, на долю которого приходится до 90 % всех выбросов в атмосферу. В крупных городах на его долю приходится более половины объема вредных выбросов в атмосферу. В мегаполисах эта величина еще больше: Санкт-Петербург – 71 %, Москва – 88 %. Уровень загрязнения воздуха оксидами азота и углерода, углеводородами и другими вредными веществами на большинстве автомагистралей в 5 – 10 раз превышает предельно допустимые концентрации.

Большинство марок применяемого ныне бензина содержит в качестве антидетонационной присадки тетраэтилсвинец (0,41 – 0,82 г/л).

Бензин с такой присадкой называют этилированным, ее применение позволяет сократить потребление топлива, но загрязняет атмосферу соединениями свинца.

Низкий технический уровень и эксплуатация отечественных автомобилей, не соответствующие требованиям национальных стандартов, подтвердили результаты исследований последних лет. Практически во всех субъектах Российской Федерации отмечено, что доля автомобилей, эксплуатируемых с превышением действующих нормативов по токсичности и дымности, в среднем составляет 20 – 25 % и в отдельных регионах страны достигает 40 %.

### **1. Влияние на человека отработавших газов автомобилей**

Во многих странах, и в первую очередь индустриально развитых и густонаселенных, нарастает загрязнение поверхности Земли механическими примесями в виде золы, пыли, шлаков. Такое загрязнение особенно велико в районах размещения крупных транспортных узлов.

При сжигании в автотранспортных установках топлива в воздух выбрасывается с продуктами сгорания сернистый ангидрид, который, соединяясь с атмосферной влагой, образует сернистую и серную кислоты, попадающие в конечном счете в почву и воду. Подобные агрессивные вещества оказывают очень вредное влияние прежде всего на растительный мир, угнетая леса на больших территориях. Скапливаясь в воздухе, они угрожают также животному миру и человеку, интенсивно разрушают металлические конструкции, лакокрасочные покрытия, бетонные и каменные сооружения. Большой вред наносится зданиям, мостам, архитектурным памятникам и другим сооружениям.

Доля отработавших газов автомобилей в загрязнении атмосферного воздуха больших городов изменяется в зависимости от времени и пропорциональна интенсивности движения транспортных средств. Минимальная концентрация вредных веществ наблюдается в ночные часы, когда их содержание в воздухе в несколько раз меньше, чем днем. Максимальная концентрация отмечается в часы пик. Атмосфера улиц самоочищается в результате проветривания. При одной и той же интенсивности движения большее загрязнение воздуха отмечается в районах, плотно застроенных высокими зданиями, и вдоль дорог с узкой проезжей частью.

В автомобильных двигателях химическая энергия топлива преобразуется в тепловую, а затем в механическую работу. Процесс высвобождения химической энергии реализуется посредством горения, при котором реагенты энергоносителя соединяются с кислородом. Продукты окислительных реакций содержат: оксид углерода, оксиды азота, оксиды серы, углеводороды, альдегиды, соединения свинца, бенз(а)пирен, оксиды серы, углеводороды и другие побочные продукты горения.

В транспортном машиностроении в той или иной степени используется ртуть. Заражение среды обитания ртутью представляет большую опасность. Установлено, что ртуть не только подрывает здоровье, но и нарушает генетический аппарат, оказывая отрицательное воздействие на последующие поколения.

Транспорт – один из крупнейших потребителей пресной воды. Большое количество воды используется всеми видами транспорта для различных технологических и технических целей (охлаждение двигателя, жидкость для мойки и пр.).

По воздействию на организм человека компоненты отработавших газов подразделяются:

*на токсичные* – оксид углерода, оксиды азота, оксиды серы, углеводороды, альдегиды, соединения свинца;

*канцерогенные* – бенз(а)пирен;

*раздражающего действия* – оксиды серы, углеводороды.

Влияние перечисленных компонентов отработанных газов на организм человека зависит от их концентрации в атмосфере и продолжительности действия.

Оксид углерода при вдыхании попадает в кровь и образует комплексное соединение с гемоглобином – карбоксигемоглобин. Оксид углерода реагирует с гемоглобином в 210 раз быстрее, чем кислород, что приводит к развитию кислородной недостаточности. Признаками кислородной недостаточности являются нарушения в центральной нервной системе (ЦНС), поражения дыхательной системы, снижение остроты зрения. Увеличенные среднесуточные концентрации оксида углерода способствуют возрастанию смертности лиц с сердечно-сосудистыми заболеваниями (ССЗ).

Оксид углерода в воздухе в зависимости от степени концентрации вызывает слабое отравление через 1 ч (концентрация  $C = 0,05$  об. %), потерю сознания через несколько вдохов ( $C = 1$  об. %).

Из оксидов азота наибольшую опасность представляет диоксид азота  $\text{NO}_2$ . Воздействие оксидов азота на человека приводит к нарушению функций легких и бронхов. Воздействию оксидов азота в большей степени подвержены дети и люди, страдающие сердечно-сосудистыми заболеваниями.

Оксиды азота в воздухе в зависимости от концентрации вызывают раздражение слизистых оболочек носа и глаз ( $C = 0,001$  об. %), начало кислородного голодания ( $C = 0,001$  об. %), отек легких ( $C = 0,008$  об. %).

Сернистый ангидрид в воздухе даже в относительно низких концентрациях увеличивает смертность от ССЗ, способствует возникновению бронхитов, астмы и других респираторных заболеваний.

Углеводороды в результате фотохимических реакций с оксидом азота, попадающими в воздух с выхлопными газами автотранспорта, под действием солнечного излучения образуют фотохимический смог. Продукты этих реакций называются фотохимическими окислителями. Это агрессивные химические соединения, токсичные для растений, животных и человека. Фотохимический смог вызывает головные боли, тошноту, раздражение слизистых оболочек глаз и дыхательных путей, ухудшает состояние при хронических респираторных заболеваниях.

Бенз(а)пирен, попадая в организм человека, постепенно накапливается до критических концентраций и стимулирует образование злокачественных опухолей.

Сажа не представляет непосредственной опасности для человека, но это адсорбент канцерогенных веществ, который способствует усилению влияния других токсических компонентов, например сернистого ангидрида.

Свинец способен накапливаться в организме, попадая в него через дыхательные пути, с пищей и через кожу. Поражает ЦНС и кровеносные органы.

В первую очередь воздействию токсических составляющих отработавших газов подвергается водитель автомобиля. Анализ воздуха в кабинах транспортных средств показал, что концентрация оксида углерода (особенно в кабинах грузовых автомобилей) может превышать предельно допустимые нормы.

Выбросы  $\text{SO}_2$  служат причиной выпадения сернокислотных осадков, способствующих закислению почвы, воды и разрушению

облицовки зданий. Увеличение концентрации оксида углерода опасно возникновением парникового эффекта, который приводит к возрастанию температуры воздуха у поверхности Земли.

## **2. Влияние пыли на здоровье человека**

Степень запыленности воздуха при движении автомобильного транспорта зависит от следующих факторов: времени года, типа покрытия дороги и вида почвы, направления ветра, интенсивности движения, грузоподъемности автомобиля, типа шин.

Основная часть пыли – кварц. На городских магистралях в уличной пыли обнаруживаются также примеси кальция, кадмия, свинца, хрома, цинка, меди, железа. Присутствие перечисленных примесей определяется функционированием автомобильного транспорта и обработкой магистралей антиобледенительными составами.

Увеличивают выброс пыли шины, оснащенные шипами. Износ дорожного полотна при их использовании в зимний период составляет 2 – 4 мм. В целом ряде стран использование шипованных шин запрещено, за исключением ограниченного числа автомобилей специального назначения. Воздействие пыли увеличивает скорость изнашивания машин и механизмов и оказывает вредное влияние на организм человека.

Вредное воздействие пыли на организм человека зависит от ее дисперсности, твердости частиц, формы пылинок и т. д. Мелкодисперсная пыль наиболее опасна, потому что оседает в легких и бронхах и при длительном вдыхании приводит к возникновению профессиональных заболеваний. Особенно опасны для организма кислотосодержащие аэрозоли, адсорбирующие канцерогенные вещества. Первые нарушают кислотное равновесие тканевых клеток; вторые, постепенно накапливаясь в организме, могут стать причиной возникновения злокачественных опухолей.

Роль автотранспорта, а значит, и его вредное влияние на окружающую среду во всем мире растет. Сейчас ежегодно выпускается до 40 млн машин. К 2010 г. численность мирового автопарка приблизилась к 600 млн машин, из них 500 млн легковых. В среднем же нормально эксплуатируемый автомобиль в сутки выбрасывает 4 кг только углекислого газа! Для многих городов России выбросы автотранспорта превалируют над другими вредными выбросами в атмосферу.

Известно, что количество бензапирена в выхлопных газах резко возрастает на режимах торможения автомобилей: до 50 – 100 мг за 1 мин работы на низкосортном бензине. Если это количество распределить равномерно, оно способно создать концентрацию, равную предельно допустимой концентрации (ПДК): в громадном объеме воздуха – чуть меньше 1 км<sup>3</sup>. Пути снижения вредного воздействия этих выбросов следующие:

1. Отказ от этилированного бензина для исключения выбросов соединений свинца и уменьшения непредельных углеводородов. Переход на газ или неэтилированный бензин (токсичность при этом снижается в 18 – 22 раза), повышение полноты сгорания за счет автоматического управления процессом, специальных систем и регулировок. Это сказывается и на расходе бензина. Уже сегодня в Японии достигнут уровень 2,5 л на 100 км.

2. Замена карбюраторных двигателей, где это возможно, дизельными, дающими менее вредные выбросы.

3. Решение вопросов по созданию электротранспорта, в том числе по величине пробега с одной зарядки и снижению выбросов от аккумуляторных батарей. Перевод общественного транспорта на электрическую тягу там, где нет дефицита энергии (метро, троллейбусы и др.).

Загрязнение окружающей среды соединениями свинца, прежде всего за счет именно автотранспорта, вызывает все большее опасение. В 2010 г. в Российской Федерации выброшено около 6 тыс. т соединений свинца, из них почти 4 тыс. т – от автомобилей, 700 т – от предприятий цветной металлургии, по 400 т – от авиационных и ракетных двигателей, ТЭЦ, 200 т – от предприятий лакокрасочной, стекольной и оборонной промышленности. Отказ от этилированного бензина может снизить загрязнение соединениями свинца в несколько раз.

Значительна роль архитектурно-планировочных мероприятий и зеленых насаждений в снижении количества и уменьшении вредности выбросов. Специальные развязки и объезды, улучшение качества дорог и ликвидация ненужных участков торможения могут увеличить среднюю скорость движения транспорта. При этом если скорость возрастает, к примеру, с 20 до 60 км/ч, общее количество выбросов уменьшится в 4 – 5 раз, а наиболее вредных (например, бензапирена) – еще значительно. При остановке у светофоров выбросы вредных веществ увеличиваются в 1,5 – 2 раза даже по сравнению с движением автомобилей на первой скорости. Дороги с интенсивным движением

следует выносить за пределы жилых и рекреационных зон или хотя бы защищать эти зоны «зеленым щитом» от загазованности. Даже однорядная высадка деревьев с кустарниками (высотой 1,5 м) на ширине 3 – 4 м снижает уровень загазованности на 10 – 15 %, а при четырех рядах шириной 30 – 50 м – на 60 – 70 %. В НИИ им. Курчатова подсчитано, что во избежание губительного «парникового эффекта» нужно уменьшить сжигание органического топлива в два раза за ближайшие 20 лет. Того же эффекта можно добиться увеличением площади зеленых насаждений на 1 – 2 млн км<sup>2</sup> при стабилизации сжигаемой массы на сегодняшнем уровне.

Пагубное влияние транспорта на состояние окружающей среды вызывает необходимость применения новых экологически чистых видов топлива. К ним относится прежде всего сжиженный или сжатый газ. Важность этого вопроса для России подтверждается тем, что на уровень федерального закона вынесен законопроект «Об использовании природного газа в качестве моторного топлива», вызвавший очень большой интерес не только у специалистов транспорта, но и у экологов.

В мировой практике в качестве моторного топлива наиболее широко используется сжатый природный газ, содержащий не менее 85 % метана. По энергоемкости 1 м<sup>3</sup> природного газа эквивалентен 1 л бензина марки А-76.

В меньшей степени распространено применение попутного нефтяного газа, представляющего собой смесь преимущественно пропана и бутана. Для замещения 1 л бензина требуется 1,3 л сжиженного нефтяного газа, а экономическая эффективность его по эквивалентным затратам на топливо в 1,7 раз ниже, чем у сжатого газа. Следует отметить, что природный газ в отличие от нефтяного не токсичен.

В табл. 3.1 приведено сопоставление удельных выбросов в процентах для ДВС автомобилей по результатам комплексных испытаний при условии, что выбросы от ДВС на неэтилированном бензине приняты за 100 %.

*Таблица 3.1*

Содержание токсичных компонентов в выхлопных газах ДВС, %

Вид топлива	Токсичный компонент выхлопных газов				
	СО	С <sub>x</sub> Н <sub>y</sub>	NO <sub>x</sub>	Сажа	Бензапирен
Бензин	100	100	100	Нет	100
Бензин (двигатели с нейтрализаторами)	25 – 30	10	25	Нет	50



Анализ показывает, что применение газа сокращает выбросы окислов углерода в 3 – 4 раза; окислов азота – в 1,5 – 2 раза, углеводородов (не считая метана) – в 3 – 5 раз, частиц сажи и двуокиси серы (дымность) дизельных двигателей – в 4 – 6 раз.

Особо следует остановиться на выбросах углеводородов. Фотохимический смог образуется в результате химического взаимодействия оксидов азота и углеводородов, попадающих в воздух с выхлопными газами автотранспорта, которые под действием солнечного излучения претерпевают в атмосфере фотохимическое окисление. Продукты этих реакций называются фотохимическими окислителями. Это агрессивные химические соединения, токсичные для растений, животных и человека. Фотохимический смог наблюдается в виде голубоватой дымки или беловатого тумана из-за образования аэрозольных частиц. Он вызывает головные боли, тошноту, раздражение слизистых оболочек глаз и дыхательных путей, ухудшает состояние при хронических респираторных заболеваниях.

В бензиновых двигателях основное количество углеводородов приходится на этан и этилен, а в газовых – на метан. Легче всего под воздействием ультрафиолетового излучения окисляются непредельные углеводороды, такие как этилен. Предельные углеводороды, включая метан, более стабильны. Поэтому в ограничительных стандартах автомобильных выбросов ряда стран углеводороды учитываются без метана, хотя пересчет ведется на метан.

Важно иметь в виду, что при использовании газового топлива увеличивается моторесурс двигателя в 1,4 – 1,8 раза, срок службы свечей зажигания – в 4 раза, моторного масла – в 1,5 – 1,8 раза, межремонтный пробег – в 1,5 – 2 раза. При этом снижаются уровень шума на 3 – 8 дБ и время заправки. Все это обеспечивает быструю окупаемость затрат при переводе транспорта на газомоторное топливо.

Внимание специалистов привлекают вопросы безопасности использования газомоторного топлива. В целом взрывоопасная смесь газовых топлив с воздухом образуется при концентрациях в 1,9 – 4,5 раза больших, чем с бензином и дизельным топливом, что снижает опасность образования такой смеси.

Однако определенную опасность представляют утечки газа через неплотность соединений. В этом отношении наиболее опасен

сжиженный нефтяной газ, который в результате утечки образует местные скопления, способные «разливаться», что при возгорании увеличивает очаг пожара.

Кроме сжиженного (сжатого газа) многие специалисты предрекают большое будущее жидкому водороду как практически идеальному с экологической точки зрения моторному топливу. Но существуют проблемы, связанные и со свойствами самого водорода, и с его производством. Как горючее для транспорта водород удобнее и безопаснее в жидком виде, где в пересчете на 1 кг он превосходит по калорийности керосин в 6,7 раза и жидкий метан – в 1,7 раза. В то же время плотность жидкого водорода меньше, чем у керосина почти на порядок, что требует больших баков, которые необходимо теплоизолировать, что также влечет за собой дополнительный вес и объем. Высокая температура горения водорода приводит к образованию значительного количества экологически вредных окислов азота, если окислителем служит воздух. Истинный перелом в мировой топливной базе на основе водорода может быть достигнут путем принципиального изменения способа его производства, когда исходным сырьем станет вода, а первичным источником энергии – солнце или сила падающей воды.

В основу методики расчета выбросов вредных веществ автомобильным транспортом заложен нормируемый удельный выброс по автомобилям отдельных групп (грузовым, автобусам, легковым) для каждого типа двигателя (бензинового, дизельного) в зависимости от движения по городу или вне населенных пунктов. При этом выброс вредных веществ корректируется в зависимости от ряда наиболее существенных факторов.

### **3. Ход выполнения работы**

#### **Вариант 1**

Выберите участок автотрассы вблизи учебного заведения (места жительства, отдыха) длиной 0,5 – 1 км, имеющий хороший обзор.

Определите число единиц автотранспорта, проходящего по участку в течение 20 мин. Получив у преподавателя расчетные данные по длине участка, приступайте к вычислениям. При этом следует заполнить табл. 3.2.

Таблица 3.2

## Число единиц автотранспорта

Тип автотранспорта	Интенсивность движения, шт.		Общий путь за 1 ч $L_j$ , км
	Всего за 20 мин, шт.	За 1 ч, $N_j$	
Легковые автомобили (бензиновые, дизельные)			
Грузовые автомобили			
Автобусы (бензиновые, дизельные)			
Газели			

Количество выбросов вредных веществ, поступающих от автотранспорта в атмосферу, можно определить расчетным методом. Исходные данные для расчета количества выбросов:

- число единиц автотранспорта, проезжающего по выделенному участку автотрассы в единицу времени;
- нормы расхода топлива автотранспортом (средние нормы расхода топлива автотранспортом при движении в условиях города приведены в табл. 3.3).

Таблица 3.3

## Нормы расхода топлива

Тип автотранспорта	Удельный расход топлива $Y_j$ , (л/км)	
	Дизельное топливо	Бензин
Легковые автомобили	0,09 – 0,11	0,11 – 0,13
Автобусы дизельные	0,38 – 0,41	–
Автобусы бензиновые	–	0,41 – 0,44
Грузовые автомобили	0,31 – 0,34	–
Газель	–	0,15 – 0,17

Значения эмпирических коэффициентов  $K$ , определяющих выброс вредных веществ от автотранспорта в зависимости от вида горючего, приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

## Коэффициенты выброса

Вид топлива	Значение коэффициента $K$		
	Угарный газ	Углеводороды	Диоксид азота
Бензин	0,6	0,1	0,04
Дизельное топливо	0,1	0,03	0,04

Коэффициент  $K$  численно равен количеству вредных выбросов соответствующего компонента при сгорании в двигателе автомашины количества топлива, равного удельному расходу (л/км).

### Обработка результатов и выводы

Рассчитайте общий путь, пройденный выявленным числом автомобилей каждого типа за 1 ч ( $L$ , км), по формуле

$$L_j = N_j L,$$

где  $j$  – обозначение типа автотранспорта;  $L$  – длина участка, км;  $N_j$  – число автомобилей каждого типа, выявленных за 1 ч, ед.

Рассчитайте количество топлива  $Q_j$ , л, разного вида, сжигаемого при этом двигателями автомашин, по формуле

$$Q_j = L_j Y_j.$$

Определите общее количество сожженного топлива каждого типа автомобилей и занесите результаты в табл. 3.5.

Таблица 3.5

#### Расход топлива

Тип автомобиля	Длина участка $L_j$ , км	$Q_j$ , л	
		Бензин	Дизельное топливо
Легковые автомобили (бензиновые, дизельные)			
Автобусы дизельные			
Автобусы бензиновые			
Грузовые автомобили			
Газель			
Всего	$\Sigma Q$ , л		

Рассчитайте объем выделившихся вредных веществ в литрах при нормальных условиях по каждому виду топлива ( $KQ$ ) и общее количество, занесите результат в табл. 3.6.

Таблица 3.6

#### Объем выбросов

Вид топлива	$\Sigma Q$ , л	Количество вредных веществ, л		
		Угарный газ	Углеводороды	Диоксид азота
Бензин				
Дизельное топливо				
Всего	$V$ , л			

Рассчитайте массу выделившихся вредных веществ  $m$  (г) по формуле

$$m = \frac{VM}{22,4},$$

где  $M$  – молекулярная масса, а.е.м.

Рассчитайте количество чистого воздуха, необходимое для разбавления выделившихся вредных веществ для обеспечения санитарно-допустимых условий окружающей среды, заполняя табл. 3.7.

Таблица 3.7

Результирующая таблица

Вид вредного выброса	Кол-во вредных веществ, л (объем)	Масса вредных веществ, г	Объем воздуха для разбавления, м <sup>3</sup>	Значение ПДК, мг/м <sup>3</sup>
Угарный газ				3,0
Углеводороды				0,1
Диоксид азота				0,04

Сопоставьте полученные результаты с количеством выбросов вредных веществ, производимых находящимися в вашем районе заводами, фабриками, котельными, автопредприятиями и другими загрязнителями воздуха.

Принимая во внимание близость к автомагистрали жилых и общественных зданий, сделайте вывод об экологической обстановке в районе исследованного вами участка автомагистрали. Для этого рассчитайте объем необходимого воздуха (м<sup>3</sup>) для заданного вам участка дороги, принимая во внимание ширину дороги, тротуары с обеих сторон движения и свой рост. Сделайте расчет фактической концентрации вредных выбросов (мг/м<sup>3</sup>), исходя из рассчитанного необходимого объема воздуха (м<sup>3</sup>) и массы конкретного газового выброса (мг).

Сделайте вывод и оцените экологическую ситуацию на исследуемом участке автотрассы, сравнив фактическую концентрацию выбросов, поступивших в атмосферу, с ПДК каждого вредного выброса.

## Вариант 2

Для проведения работы выбираем участок вблизи учебного заведения, имеющий хороший обзор с прилегающей территории. В течение 20 мин определяем число единиц проезжающего автотранспорта, одновременно заполняя табл. 3.8.

Таблица 3.8

### Интенсивность движения автотранспорта

Тип транспорта	Количество проезжающих автомобилей за 20 мин в одном направлении, шт.	Интенсивность движения $N_j$ за 1 ч, шт.	Средний эксплуатационный расход топлива $G$ , л/км
Легковые автомобили (бензин и дизель)			0,12
Бензиновые грузовые автомобили			0,33
Автобусы бензиновые			0,37
Дизельные грузовые автомобили			0,34
Автобусы дизельные			0,28
Газель (бензин)			0,16

Количество выбросов вредных веществ, поступающих от автотранспорта в атмосферу, можно оценить расчетным методом.

Рассчитаем мощность эмиссии  $Q$  (количество выбросов)  $CO$ ,  $C_xH_x$ ,  $NO_2$ ,  $Pb$  в отработавших газах для каждого из газообразных веществ по формуле

$$Q = 2,06 \cdot 10^{-4} m [\sum(G_{ik} N_{ik} K_k) - \sum(G_{id} N_{id} K_d)], \text{ (г/с}\cdot\text{м)}, \quad (1)$$

где  $m$  – поправочный коэффициент, зависящий от средней скорости транспортного потока (рис. 3.1);  $G_{ik}$ ,  $G_{id}$  – средний эксплуатационный расход топлива для данного типа карбюраторных и дизельных автомобилей соответственно, л/км (см. табл. 3.8);  $N_{ik}$ ,  $N_{id}$  – интенсивность движения каждого выделенного типа карбюраторных и дизельных автомобилей соответственно, авт./ч;  $K_k$ ,  $K_d$  – коэффициенты, принимае-

мые для данного компонента загрязнения, для карбюраторных и дизельных типов соответственно (табл. 3.9).

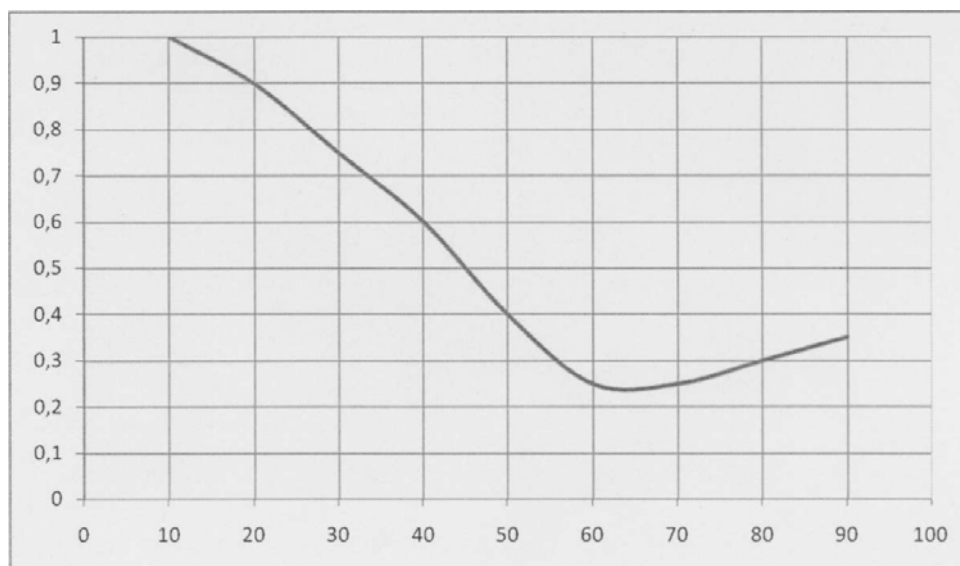


Рис. 3.1. Зависимость поправочного коэффициента  $m$  от средней скорости транспортного потока

Таблица 3.9

Коэффициенты для компонентов загрязнений карбюраторных и дизельных двигателей

Тип автотранспорта	$K$ для компонентов $P_k$ загрязнений			
	СО	$C_xH_y$	NO <sub>2</sub>	Pb
Легковые автомобили	0,6	0,12	0,06	0,37
Грузовые автомобили	0,6	0,12	0,06	0,17
Автобусы бензиновые	0,6	0,12	0,06	0,17
Дизельные грузовые автомобили	0,14	0,37	0,015	–
Автобусы дизельные	0,6	0,06	0,06	–

Мощность эмиссии свинца (г/с·м) в отработавших газах карбюраторных двигателей рассчитывается по формуле

$$Q_{Pb} = 2,06 \cdot 10^{-7} T_p K_o K_{Pb} [\sum G_{ik} N_{ik} P_k], \quad (2)$$

где  $T_p$  – коэффициент, зависящий от скорости транспортного потока; для скорости, равной 80 км/ч,  $T_p = 1$ ;  $K_o$  – коэффициент, учитывающий оседание свинца в системе выпуска отработавших газов (на деталях двигателя),  $K_o = 0,8$ ;  $K_{Pb}$  – коэффициент, учитывающий долю отработываемого свинца в виде аэрозолей в общем виде выбросов,

$K_{РБ} = 0,2$ ;  $P_k$  – содержание добавки свинца в топливе, применяемом в автомобиле данного типа. Для бензина марки АИ-76  $P_k = 0,17$  г/кг, а для АИ-93  $P_k = 0,37$  г/кг.

Рассчитываем концентрацию загрязнения ( $\text{мг/м}^3$ ) атмосферного воздуха различными компонентами в зависимости от расстояния кромки дороги по формуле

$$C = (0,45Q)/(\delta V \sin \varphi) + F, \quad (3)$$

где  $Q$  – мощность эмиссии различных компонентов загрязнения, рассчитанная ранее, г/с·м;  $\delta$  – значение стандартного Гауссова рассеяния в вертикальном направлении, зависит от расстояния дороги и уровня радиации (табл. 3.10);  $V$  – скорость ветра, преобладающая в расчетный период месяца,  $V = 3$  м/с;  $\sin \varphi$  – угол, составляющий направление ветра к трассе,  $\sin \varphi = 30^\circ$ ;  $F$  – фоновая концентрация загрязнений, г/м<sup>3</sup>.

Таблица 3.10

Значение стандартного Гауссова рассеяния  $\delta$

Приходящая солнечная радиация	Значение $\delta$ при удалении кромки проезжей части, м									
	0	10	20	40	60	80	100	150	200	250
Сильная	0,2	2	4	6	8	10	13	19	24	30
Слабая	–	1	2	4	6	8	10	14	18	22

Предельно допустимые концентрации токсичных составляющих отработавших газов в воздухе населенных мест представлены в табл. 3.11.

Таблица 3.11

Предельно допустимые концентрации токсичных составляющих отработавших газов

Вид выбросов	Среднесуточный ПДК, мг/м	Класс опасности
Окись углерода	3,0	4
Углеводороды	1,5	3
Оксид азота	0,04	2
Соединение свинца	0,0003	1

По полученным данным в результате расчетов строят графики зависимости концентраций выбрасываемых веществ ( $\text{мг/м}^3$ ) от рас-



стояния от проезжей части (м). На них по значениям ПДК для соответствующих выбросов определяют безопасные расстояния от кромки дороги. По результатам работы оценивают экологическую ситуацию на данном участке дороги и разрабатывают мероприятия по уменьшению количества выбросов и защите атмосферного воздуха и человека от их воздействия.

### Вариант 3

В основу данной методики расчета выбросов вредных веществ автомобильного транспорта заложен нормируемый удельный выброс по автомобилям отдельных групп (грузовые, автобусы, легковые) и классов (по грузоподъемности, габаритным размерам – для автобусов, рабочему объему двигателя – для легковых автомобилей) для каждого типа двигателя (бензиновый, дизельный) в зависимости от движения по городу или вне населенных пунктов. При этом выброс вредных веществ корректируется исходя из ряда наиболее существенных факторов. В результате в общем виде массу вредных выбросов, поступающих в атмосферный воздух от АТС средств, рассчитывают по формуле

$$M_i = \sum l \sum k \sum g m_{ijk} \cdot L_{ikg} \cdot \Pi_n K_{ijk}, \quad (4)$$

где  $M_j$  – масса  $i$ -го вредного вещества (оксида углерода CO, углеводородов CH, оксидов азота NO<sub>x</sub> и др.), г;  $j$  – количество групп автомобилей, шт.;  $k$  – количество классов автомобилей в данной группе, шт.;  $g$  – количество типов двигателей, используемых в данном классе автомобилей данной группы, шт.;  $m_{ijk}$  – пробеговый выброс  $i$ -го вредного вещества автомобилем  $j$ -й группы  $k$ -го класса с  $g$ -м типом двигателя при движении по городу или вне населенных пунктов, г/км;  $\Pi K_{ijk}$  – произведение коэффициентов влияния  $n$ -ных факторов на выброс  $j$ -го вредного вещества автомобилем  $j$ -й группы  $k$ -го класса с  $g$ -м типом двигателя.

По данной методике для отдельных групп автомобилей учитывают различные коэффициенты влияния, в результате чего расчетные формулы для  $i$ -го загрязняющего вещества имеют вид:

- для легковых автомобилей  $k$ -го класса с двигателем  $g$ -го типа

$$M_{ikg} = m_{ikg} \cdot L_{kg} \cdot K_{rig} \cdot K_{tig}, \quad (5)$$

где  $m_{ikg}$  – пробеговый выброс  $i$ -го вредного вещества легковыми автомобилями  $k$ -го класса (с двигателем  $k$ -го рабочего объема) с двига-

телями g-го типа при движении по территории населенного пункта или вне его, г/км (табл. 3.12);  $L_{kg}$  – пробег легковых автомобилей k-го класса с двигателем g-го типа по территории населенного пункта или вне его, млн км;  $K_{rig}$  – коэффициент, учитывающий изменение выбросов загрязняющих веществ легковыми автомобилями при движении по территории населенного пункта (включается в формулу только при расчете движения по населенным пунктам);  $K_{tig}$  – коэффициент, учитывающий влияние технического состояния легковых автомобилей.

Таблица 3.12

Пробеговые выбросы загрязняющих веществ  
легковыми автомобилями с бензиновым двигателем, г/км

Рабочий объем двигателя, л	Количество выбросов, г/км					
	в населенном пункте			вне населенного пункта		
	CO	CH	NO <sub>x</sub>	CO	CH	NO <sub>x</sub>
Менее 1,3	11,4	2,1 I	1,3	4,8	1,2	2,3
1,3 – 1,8	13	2,6	1,5	5,5	1,5	
1,8 – 3,5	14	2,8	2,7	6	1,6	4

- для грузовых автомобилей k-го класса с двигателем g-го типа:

$$M = m_{ikg} L_{kg} K_{nig} K_{rig} K_{tig}, \quad (6)$$

где  $m_{ikg}$  – пробеговый выброс i-го вредного вещества грузовыми автомобилями k-го класса (k-й грузоподъемности) с двигателями g-го типа при движении по территории населенного пункта или вне его, г/км (табл. 3.13);  $L_{kg}$  – пробег грузовых автомобилей k-го класса с двигателями g-го типа при движении по территории населенного пункта или вне его, млн км;  $K_{nig}$  – коэффициент, учитывающий изменение пробегового выброса от уровня использования грузоподъемности и пробега;  $K_{rig}$  – коэффициент, учитывающий изменение выбросов загрязняющих веществ грузовыми автомобилями при движении по территории населенного пункта (только для движения по населенным пунктам);  $K_{tig}$  – коэффициент, учитывающий влияние технического состояния грузовых автомобилей.

Таблица 3.13

Пробеговые выбросы загрязняющих веществ  
грузовыми автомобилями

Грузоподъемность автомобиля или автопоезда, т	Тип двигателя	Количество выбросов, г/км					
		в населенном пункте			вне населенного пункта		
		СО	СН	NO <sub>x</sub>	СО	СН	NO <sub>x</sub>
0,5 – 2,0	Б	22	3,4	2,6	15,2	1,9	2,1
2,0 – 5,0	Б	52,6	4,7	5,1	26,3	2,6	4,1
2,0 – 5,0	Д	2,8	1,1	8,2	2,5	0,8	6,9
5,0 – 8,0	Б	73,2	5,5	9,2	40,8	4,1	8,0
5,0 – 8,0	Д	3,2	1,3	11,4	2,6	1,2	9,1
8,0 – 16,0	Б	97,8	8,2	10	50,5	4,5	8,5
8,0 – 16,0	Д	3,9	1,6	13,4	3,2	1,4	10,7
Более 16	Д	4,5	1,8	16,4	3,6	1,5	13,1

- для автобусов  $k$ -го класса с двигателем  $g$ -го типа, используемым на перевозках  $h$ -го типа:

$$M_{ikgh} = m_{ikg} L_{kgh} K_{hig} K_{rig} K_{tig},$$

где  $m_{ikg}$  – пробеговый выброс  $i$ -го вредного вещества автобусом  $k$ -го класса ( $k$ -го габарита) с двигателями  $g$ -го типа при движении по территории населенного пункта или вне его, г/км (табл. 3.14);

$L_{kgh}$  – пробег автобусов  $k$ -го класса с двигателями  $g$ -го типа при использовании в качестве маршрутного или на других видах перевозок при движении по территории населенного пункта или вне населенного пункта, млн км;

$K_{kgh}$  – коэффициент, учитывающий изменение пробегового выброса от вида перевозок;

$K_{rig}$  – коэффициент, учитывающий изменение выбросов загрязняющих веществ автобусами при движении по территории населенного пункта (только для движения по населенным пунктам);

$K_{tig}$  – коэффициент, учитывающий влияние технического состояния автобусов.

Таблица 3.14

## Пробеговые выбросы загрязняющих веществ автобусами

Класс автобуса ( $L$ – габаритная длина, м)	Тип двигателя	Количество выбросов, г/км					
		в населенном пункте			вне населенного пункта		
		CO	CH	NO <sub>x</sub>	CO	CH	NO <sub>x</sub>
Особо малый ( $L$ – менее 5)	Б	13,5	2,9	3	6	1,6	4
Малый ( $0,6 < L < 7,5$ )	Б	44	3,4	6,1	24	2,3	5
Средний	Б	67,1	5	9,9	34	3,9	8,2
	Д	4,5	1,4	9,1	3,3	1,2	8
Большой ( $10,5 < L < 12$ )	Б	104	7,7	10,4	62	4,6	9,5
	Д	4,9	1,6	10	3,5	1,3	18
Особо большой ( $L > 12$ )	Д	5	1,6	11	3,6	1,3	18,8

Значения коэффициентов влияния приведены в табл. 3.15.

Таблица 3.15

## Значения коэффициентов влияния

Группы автотранспортных средств	Тип двигателя	Коэффициент	Количество выбросов, г/км					
			в населенном пункте			вне населенного пункта		
			CO	CH	NO	CO	CH	NO
Легковые автомобили	Б	$K_{ri}$	0,87	0,92	0,94			
		$K_{li}$	1,75	1,48	1	1,75	1,48	1
Грузовые автомобили	Б	$K_{ri}$	0,89	0,85	0,79			
		$K_{ni}$	0,68	0,87	0,67	0,68	0,87	0,67
		$K_{li}$	2	1,83	1	2	1,83	1
	Д	$K_{ri}$	0,95	0,93	0,92			
		$K_{ni}$	0,68	0,76	0,82	0,68	0,76	0,82
		$K_{ti}$	1,6	2,1	1	1,6	2,1	1
Автобусы	Б	$K_{ri}$	0,89	0,85	0,79			
		$K_{hi1}$	0,9	0,96	0,89	0,7	0,88	0,67
		$K_{hi2}$	0,7	0,88	0,67	0,7	0,88	0,67
		$K_{ti}$	2	1,83	1	2	1,83	1
	Д	$K_{ri}$	0,95	0,93	0,92			
		$K_{hi1}$	0,89	0,92	0,93	0,68	0,76	0,81
		$K_{hi2}$	0,68	0,76	0,81	0,68	0,76	0,81
		$K_{ti}$	1,6	2,1	1	1,6	2,1	1

## ЗАДАЧИ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

### ЗАДАЧА № 1

Рассчитать валовый выброс вредных веществ (оксида углерода CO, оксидов азота NO<sub>x</sub>, углеводородов CH) от автотранспорта по территории города за год.

Исходные данные:

- годовой пробег (млн.км) грузовых автомобилей с бензиновым ДВС –  $L_x$ ; грузовых автомобилей дизельных –  $L_y$ ; автобусов бензиновых –  $L_z$ ; автобусов дизельных –  $L_w$ ; легковых автомобилей –  $L_r$  (значения годовых пробегов для каждого варианта расчета в табл. 3.16);

- пробеги внутри перечисленных групп автомобилей распределяются пропорционально структуре парка: легковые автомобили с рабочим объемом двигателя менее 1,3 л – 24 %, 1,3 – 1,8 л – 65 %, 1,8 л и более – 11 %; грузовые с бензиновым двигателем грузоподъемностью 0,5 – 2,0 т – 18 %, 2,0 – 5,0 т – 68 %, 5,0 – 8,0 т – 11 %, 8,0 т и более – 3 %; грузовые с дизельным двигателем грузоподъемностью 2,0 – 5,0 т – 4 %, 5,0 – 8,0 т – 5 %, 8,0 – 16,0 т – 76 %, 16,0 т и более – 15,0 %; автобусы с бензиновым двигателем особо малого класса (габаритной длиной менее 5 м) – 2 %, малого класса (6,0 – 7,5 м) – 15 %, среднего класса (8,0 – 9,5 м) – 63% (в том числе маршрутные – 50 % от общего количества автобусов данного класса), большого класса (10,5 – 12,0 м) – 20 % (все маршрутные); все маршрутные автобусы с дизельным двигателем, в том числе среднего класса – 1 %, большого класса – 44 %, особо большого класса – 55 %;

- пробеговые выбросы загрязняющих веществ при движении автотранспортных средств и поправочные коэффициенты (коэффициенты влияния) задаются табл. 3.16.

Таблица 3.16

Годовые пробеги АТС по территории города, млн км

№ п/п	Годовой пробег, млн км				
	грузовых с бензиновым ДВС $L_x$	грузовых дизельных $L_y$	автобусов бензиновых $L_z$	автобусов дизельных $L_w$	легковых $L_r$
1	472,41	70,59	253	22	615
2	944,82	141,18	506	44	1250
3	321,44	48,55	201,3	20,4	601,2
4	567,98	75,66	276,7	25,4	640,3

№ п/п	Годовой пробег, млн км				
	грузовых с бензиновым ДВС $L_x$	грузовых дизельных $L_y$	автобусов бензиновых $L_z$	автобусов дизельных $L_w$	легковых $L_r$
5	984,33	154,62	521,6	47,6	1470
6	523,55	73,84	260,1	23,9	625,6
7	237,77	43,67	168,4	18,3	469,6
8	485	72,34	256,8	22,7	619,2
9	671,44	83,25	307,8	26,1	651,7
10	338,91	50,72	230	21,1	607,8
11	427,53	71,24	243,5	24,1	630,7
12	489,22	73,68	253,6	24,9	636,9
13	978,35	151,31	504,6	43,8	1263
14	867,23	132,61	438,1	41	1211
15	237,88	43,55	172,9	19,7	578,9
16	776,88	92,23	315,6	27,4	770,9
17	456,23	72,44	243,7	24,3	635,8
18	589,07	76,61	253,3	25,1	660,1
19	234,79	41,33	165,2	19,3	576,1
20	328,99	71,56	262,6	25	760,3
21	459,33	74,31	265,4	25,8	672,8
22	667,87	84,33	286,7	27,1	680,1
23	877,25	135,61	439,9	42,1	1003
24	552,22	83,42	253,1	24,9	635,5

Результаты расчетов представляются в виде итоговой таблицы, форма которой задана ниже.

По результатам расчета должны быть сделаны выводы, содержащие ответы на следующие вопросы:

- какая группа автомобилей дает наибольший вклад в загрязнение атмосферы по сумме всех компонентов (CO, CH, NO<sub>x</sub>)?

- какая группа автомобилей дает наибольший вклад в загрязнение атмосферы по оксиду углерода (CO)?

- какая группа автомобилей дает наибольший вклад в загрязнение атмосферы по оксидам азота (NO<sub>x</sub>)?

## Результаты расчетов

Грузоподъемность по видам транспорта	Выброс CO		Выброс CH		Выброс NO <sub>x</sub>		CO + CH + NO <sub>x</sub>	
	Т	%*)	т	%*)	т	%*)	т	%*)
<b>Легковые с бензиновым ДВС рабочим объемом</b>								
Менее 1,3 л								
1,3 – 1,6 л								
1,8 и более								
Итого								
<b>Грузовые с бензиновым ДВС грузоподъемностью</b>								
0,5 – 2,0 т								
2,0 – 5,0 т								
5,0 – 8,0 т								
8,0 и более								
Итого								
<b>Грузовые с дизельными двигателями грузоподъемностью</b>								
2,0 – 5,0 т								
5,0 – 8,0 т								
8,0 – 16,0 т								
16,0 и более								
Итого								
<b>Автобусы с бензиновыми ДВС прочие</b>								
Менее 5 м								
6,0 – 7,5 м								
8,0 – 9,5 м								
Итого								
<b>Автобусы с бензиновыми ДВС маршрутные</b>								
8,0 – 8,9 м								
10,5 – 12,0 м								
Итого								
<b>Автобусы с дизельными ДВС маршрутные</b>								
8,0 – 9,5 м								
10,5 – 12,0 м								
Более 12,0 м								
Итого								
<i>Всего выбросов вредных веществ</i>								

\*) – проценты берутся по отношению к выбросу «всего»

## ЗАДАЧА № 2

Рассчитать снижение годового валового выброса вредных веществ (оксида углерода CO, оксидов азота NO<sub>x</sub>, углеводородов CH) от автотранспорта по территории города, а также изменение общего выброса от автотранспорта в случае строительства объездной дороги.

Исходные данные:

- до строительства объездной дороги пробеги автомобилей и валовые выбросы соответствуют данным задачи № 1;

- годовые пробеги по объездной дороге прогнозируются в размерах: для грузовых автомобилей с бензиновыми ДВС – 1\*; грузовых автомобилей дизельных –  $L_y$ ; автобусов бензиновых – 12; автобусов дизельных –  $V$ , легковых автомобилей – 1 (значения годовых пробегов по объездной дороге для каждого варианта расчета см. в таблице результатов расчетов – табл. 3.19);

- пробеги внутри перечисленных групп автомобилей распределяются пропорционально структуре парка в соответствии с условиями задачи № 1;

- снижение пробегов по территории города составит 85 % от прогнозируемых пробегов по объездной дороге.

Результаты расчета свести в таблицу согласно форме приведения результатов со с. 41.

Таблица 3.17

Годовые пробеги АТС по объездной дороге, млн км

№ п/п	Годовой пробег, млн км				
	грузовых с бензиновым ДВС $L_x$	грузовых дизельных $L_y$	автобусов бензиновых $L_z$	автобусов дизельных $L_w$	легковых $L_r$
1	94,4	35,2	1,2	8,8	6,1
2	141,7	42,3	2	13,2	6,2
3	96,4	31,5	4	8,1	4,8
4	141,9	45,3	1,1	5	2,5
5	98,4	61,8	1,5	4,7	8,8
6	68	27,3	2,6	11,9	1,8
7	40,4	17	1,3	5,4	3,2
8	116,4	44,8	5,1	6,8	4,9
9	174,5	52,4	1,8	5,2	5,8
10	94,8	23,3	1,8	6,3	6
11	72,6	34,1	4,8	9,6	1,2
12	112,5	43,4	1,2	4,9	1,9
13	205,4	92,2	1	4,3	6,3



Окончание табл. 3.17

№ п/п	Годовой пробег, млн км				
	грузовых с бензиновым ДВС $L_x$	грузовых дизельных $L_y$	автобусов бензиновых $L_z$	автобусов дизельных $L_w$	легковых $L_r$
14	156,1	62,3	2,6	8,2	4,8
15	64,2	21,3	5,1	1,9	3,4
16	100,9	47	3,1	10,9	2,3
17	86,6	39,8	1,2	7,2	4,4
18	94,2	45,1	7,5	5	1,3
19	32,8	17,7	4,9	5,7	4,6
20	59,2	30	1	1	7,6
21	119,4	45,3	2,6	1,2	6
22	187	53,1	2,2	5,4	4
23	201,7	65	1,3	4,2	5
24	138	39,2	5	4,9	4,4

Форма представления результатов расчета выброса  
вредных веществ (т)

Группа авто- транспортных средств	Количество выброса вредных веществ, т							
	СО		СН		NO <sub>x</sub>		СО+СН+NO <sub>x</sub>	
	Город	Объ- езд	Город	Объ- езд	Город	Объ- езд	Город	Объ- езд
Легковые								
Грузовые бензи- новые								
Грузовые дизель- ные								
Автобусы бензи- новые прочие								
Автобусы бензино- вые маршрутные								
Автобусы дизель- ные маршрутные								
<i>Всего выбросов</i>								
<i>Всего выбросов с объездом</i>								
<i>Всего выбросов по заданию 1</i>								

## Контрольные вопросы

1. Какой бензин называют этилированным?
2. От каких факторов в основном зависит количество выбросов в атмосферном воздухе в больших городах?
3. Как подразделяют компоненты отработавших газов по воздействию на организм человека?
4. Какие вещества составляют основную часть пылевых выбросов от работы автотранспорта?
5. Как влияют пылевые выбросы на здоровье человека?
6. Каковы пути снижения вредного воздействия выбросов от работы автотранспорта?
7. Что такое фотохимический смог? Каков процесс его образования и влияние на человеческий организм?

## Лабораторная работа 4

### СТРУКТУРА ЭКОСИСТЕМ

#### 1. Понятие экосистемы

*Экосистема* – это любая совокупность взаимодействующих живых организмов и условий среды. К экосистемам относятся, например, муравейник, участок леса, географический ландшафт или даже весь земной шар.

Экосистемы состоят из живого и неживого компонентов, называемых соответственно *биотическим* и *абиотическим*. Биотический компонент по типу питания подразделяют на автотрофные и гетеротрофные организмы.

*Автотрофы* синтезируют необходимые им органические вещества из неорганических. По источнику энергии для синтеза они разделяются на два типа: фотоавтотрофы и хемоавтотрофы.

*Фотоавтотрофы* для синтеза органических веществ используют солнечную энергию. Это зеленые растения, имеющие хлорофилл (и другие пигменты) и усваивающие солнечный свет. Процесс, при котором происходит его усвоение, называется фотосинтезом.

*Хемоавтотрофы* для синтеза органических веществ используют химическую энергию. Это серобактерии и железобактерии, получаю-

щие энергию при окислении соединений железа и серы. Хемоавтотрофы играют значительную роль только в экосистемах подземных вод. Их роль в наземных экосистемах сравнительно невелика.

*Гетеротрофы* используют органические вещества, которые синтезированы автотрофами, и вместе с этими веществами получают энергию. Гетеротрофы, таким образом, зависят в своем существовании от автотрофов, и осознание этой зависимости необходимо для понимания экосистем.

К гетеротрофам относятся хищники, паразиты. Гетеротрофными организмами считают также группу *сапрофитов*, которые используют для питания органические соединения мертвых тел или выделения животных. Участвуя в минерализации органических соединений, сапрофиты составляют важное звено в биологическом круговороте. В числе сапрофитов можно назвать грибы, бактерии, среди животных – некоторых насекомых (жуков-навозников), дождевых червей, некоторых млекопитающих (гиен) и птиц (грифов).

Неживой, или абиотический, компонент экосистемы в основном включает почву или воду и климат.

## 2. Пищевые цепи и трофические уровни

Внутри экосистемы содержащие энергию органические вещества создаются автотрофными организмами и служат пищей (источником вещества и энергии) для гетеротрофов. Типичный пример: животное поедает растение. Это животное, в свою очередь, возможно, будет съедено другим животным, и таким путем может происходить перенос энергии через ряд организмов: каждый последующий питается предыдущим, поставляя ему сырье и энергию. Такая последовательность называют *пищевой цепью*, а каждое ее звено – *трофическим уровнем*.

При каждом очередном переносе бóльшая часть (80 – 90 %) потенциальной энергии теряется, переходя в тепло (как правило, 10 %), поэтому чем короче пищевая цепь, тем большее количество энергии доступно для популяции. С потерями энергии при переносе связано ограничение количества звеньев в трофической цепи, которое обычно не превышает 4 – 5, так как чем длиннее пищевая цепь, тем меньше продукция ее последнего звена по отношению к продукции начального.

*Первый трофический уровень* занимают продуценты, относящиеся к автотрофам, – это в основном зеленые растения. Некоторые прокариоты, а именно сине-зеленые водоросли и немногочисленные виды бактерий, тоже фотосинтезируют, но их вклад относительно невелик. Фотосинтетика превращают солнечную энергию в химическую, заключенную в органических молекулах, из которых построены их ткани. Небольшой вклад в продукцию органического вещества вносят и хемосинтезирующие бактерии.

Организмы *второго трофического уровня* называют первичными консументами, *третьего* – вторичными консументами. Все консументы относят к гетеротрофам.

Первичные консументы питаются продуцентами, т. е. это травоядные животные. На суше типичными травоядными являются многие насекомые, рептилии, птицы и млекопитающие. В водных экосистемах травоядные формы представлены обычно моллюсками и мелкими ракообразными. К первичным консументам относятся также паразиты растений (грибы, растения и животные).

Вторичные консументы питаются травоядными; таким образом, это уже плотоядные животные, так же, как и третичные консументы, поедающие консументов второго порядка. Консументы второго и третьего порядков могут быть хищниками, питаться падалью или быть паразитами.

Существуют два главных типа пищевых цепей – пастбищные и детритные. В *пастбищных пищевых цепях* первый трофический уровень занимают зеленые растения, второй – пастбищные животные и третий – хищники.

Однако тела погибших животных и растений (детрит) еще содержат энергию, как и прижизненные выделения, например моча и фекалии. Эти органические материалы разлагаются редуцентами. Таким образом, *детритная пищевая цепь* начинается с отмерших органических остатков и идет далее к организмам, ими питающимся. Например, мертвое животное → личинка падальных мух → травяная лягушка.

В схемах пищевых цепей каждый организм бывает представлен как питающийся другими организмами одного типа. Однако реальные пищевые связи в экосистеме намного сложнее, так как животные мо-

гут питаться организмами разных типов из одной и той же или разных пищевых цепей, поэтому пищевые цепи не изолированы друг от друга, они тесно переплетаются и образуют пищевые сети.

### 3. Экологические пирамиды

Экологические пирамиды выражают трофическую структуру экосистемы в геометрической форме. Они строятся суперпозицией прямоугольников одинаковой ширины, но длина прямоугольников должна быть пропорциональна значению измеряемого параметра. Таким образом, можно получить пирамиды чисел, биомассы и энергии.

Эти пирамиды отражают две фундаментальные характеристики любого биоценоза, когда показывают его трофическую структуру:

- их высота пропорциональна длине рассматриваемой пищевой цепи, т. е. числу содержащихся в ней трофических уровней;
- их форма более или менее отражает эффективность превращения энергии при переходе с одного уровня на другой.

Пирамиды чисел представляют собой наиболее простое приближение к изучению трофической структуры экосистемы. Установлено основное правило, согласно которому в любой среде при переходе с одного трофического уровня на другой численность особей уменьшается, а их размер увеличивается (рис. 4.1).

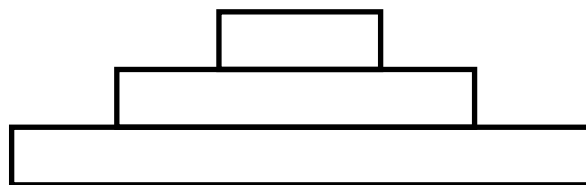
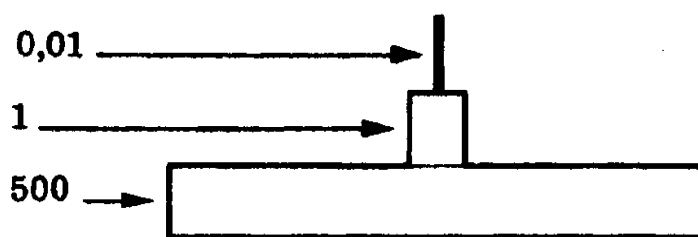


Рис. 4.1. Экологическая пирамида чисел

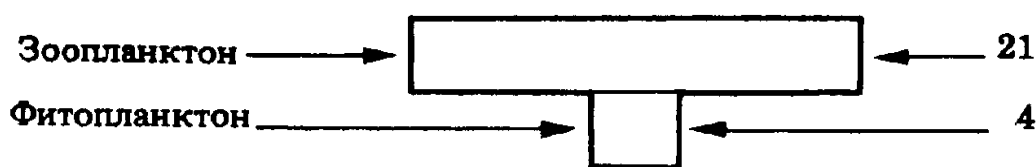
Однако в построении различных пирамид чисел наблюдается большое разнообразие: иногда они могут быть перевернутыми. Так, в лесу насчитывается значительно меньше деревьев (первичных продуцентов), чем насекомых. Такая же картина наблюдается и в пищевых цепях паразитов.

В заключение отметим, что пирамида чисел отнюдь не идеально отражает трофические связи в сообществе, так как она совершенно не учитывает ни размеры, ни массу индивида.

Пирамида биомассы более полно отражает пищевые взаимоотношения в экосистеме, так как она показывает биомассу (сухую массу) в данный момент на каждом уровне пищевой цепи (рис. 4.2).



**А . Зброшенное поле (Джорджия, США)**



**Б . Ла-Манш**

Рис. 4.2. Пирамиды биомассы. Тип А наиболее распространен

Тип Б относится к перевернутым пирамидам. Цифры означают продукцию, выраженную в граммах на квадратный метр.

Важно понимать, что величина биомассы не содержит никакой информации о скорости ее образования или потребления.

Продуцентам небольших размеров, таким как водоросли, свойственна высокая скорость размножения, которая уравнивается интенсивным потреблением их в пищу другими видами и естественной гибелью. Таким образом, хотя их биомасса может быть малой по сравнению с крупными продуцентами (деревьями), продуктивность при этом может быть не меньше, так как деревья накапливают биомассу в течение длительного времени. Одно из возможных следствий этого – перевернутая пирамида биомассы, показанная на рис. 4.2 и описывающая сообщество Ла-Манша. Зоопланктон обладает большей биомассой, чем фитопланктон, которым он питается.

Подобных неудобств можно избежать, применяя пирамиды энергии. Пирамиды энергии наиболее фундаментальным способом отражают связи между организмами на различных трофических

уровнях. Каждая ступенька пирамиды энергии отражает количество энергии (на единицу площади или объема), прошедшей через определенный трофический уровень за определенный период (рис.4.3).

Пирамиды энергии позволяют сравнивать не только различные экосистемы, но и относительную значимость популяций внутри одной экосистемы, не получая при этом перевернутых пирамид.

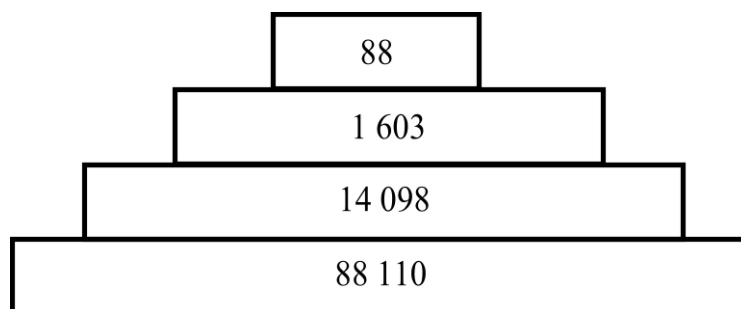


Рис. 4.3. Пирамида энергии. Цифрами обозначено количество энергии на каждом трофическом уровне, кДж/м<sup>2</sup>·год

#### 4. Продуктивность экосистемы

Любая экосистема характеризуется определенной биомассой. Под биомассой подразумевают общую массу всего живого вещества (растительного и животного) имеющегося в данный конкретный момент в экосистеме или какой-либо ее части. Биомасса обычно выражается в единицах массы в пересчете на сухое вещество или энергии, заключенной в данной массе (Дж, кал). Биомасса, накопленная за определенный промежуток времени (обычно за год), называется биологической продуктивностью. Другими словами, *продуктивность* – это скорость накопления органического вещества (в нее включен весь прирост растительной ткани, т. е. корни, листья и прочее, а также увеличение массы животных тканей за данный период времени).

Продуктивность экосистемы разделяют на первичную и вторичную. *Первичная продуктивность*, или первичная продукция, – это скорость накопления органического вещества автотрофными организмами.

Первичная продуктивность подразделяется, в свою очередь, на валовую и чистую. *Валовая первичная продукция* – это общая масса органического вещества, синтезированного продуцентами за определенный период времени.

Часть синтезированного органического вещества растения или другие продуценты используют для поддержания собственной жизнедеятельности, т. е. расходуют в процессе дыхания. Если из валовой

первичной продукции вычтешь органическое вещество, израсходованное на дыхание продуцентов, то получим *чистую первичную продукцию*. Она доступна гетеротрофам (консументам и редуцентам), которые, поедая органическое вещество, синтезированное автотрофами, создают вторичную продукцию.

Поскольку консументы лишь используют ранее созданные органические вещества, *вторичную продукцию* на валовую и чистую не разделяют. Ее количество также зависит от расходов на дыхание, которые тем больше, чем больше энергии затрачивает организм. При интенсивной физической нагрузке (например, у птиц во время миграции) вторичная продукция уменьшается.

Чистая продуктивность сообщества подразумевает скорость накопления органического вещества в экосистеме, т. е. если из чистой первичной продукции вычтешь затраты на дыхание гетеротрофов, мы получим продуктивность сообщества. Продуктивность экосистемы – это важная характеристика сообщества, и она является показателем его стабильности. Системы с быстрым ростом, например поле люцерны, обычно характеризуются высокой чистой первичной продукцией и, если они защищены от консументов, то и высокой продуктивностью сообщества. В сообществах в стационарном состоянии вся валовая первичная продукция обычно расходуется на дыхание автотрофов и гетеротрофов так, что к концу годового цикла чистая продуктивность сообщества очень невелика или ее не остается совсем.

## **5. Универсальная модель потока энергии**

Модель потока энергии, представленную на рис. 4.4, можно назвать универсальной, поскольку она приложима к любому живому компоненту системы, будь то растение, животное, популяция или трофический уровень. Соединенные между собой такие графические модели могут отразить биоэнергетику пищевой цепи или экосистемы в целом.

Прямоугольник обозначает живую структуру или биомассу основного компонента модели. Общее поступление энергии обозначено буквой *I*. Для облигатных автотрофов – это свет, для облигатных гетеротрофов – органическая пища.

Не вся энергия, поступившая в биомассу, подвергается превращению: часть ее может пройти через пищеварительный тракт, не включаясь в метаболизм, и выделиться с экскрементами или, если речь идет об автотрофах, часть света проходит через растение, не усваиваясь. Эта



часть энергии обозначается как  $NU$ . Исползованная, или ассимилированная, часть энергии на схеме обозначена буквой  $A$ . Отношение  $A$  и  $I$ , т. е. эффективность ассимиляции, широко варьирует. Оно может быть очень мало, как в случае усвоения света растениями или пищи животными, или же очень велико, как в случае ассимиляции животными или бактериями высококалорийных продуктов, например сахаров или аминокислот. У автотрофов  $A$  – это валовая первичная продукция.

Ключевая особенность этой модели – это разделение ассимилированной энергии на компоненты  $P$  и  $R$ . Та часть фиксированной энергии, которая окисляется и теряется в форме тепла, называется дыханием, а та часть, которая превращается в новое или принадлежащее другому виду органическое вещество, называется продукцией ( $P$ ). У растений это чистая продукция, у животных – вторичная. Компонент  $P$  – это энергия, доступная следующему трофическому уровню, в противоположность компоненту  $NU$ , который доступен на данном трофическом уровне.

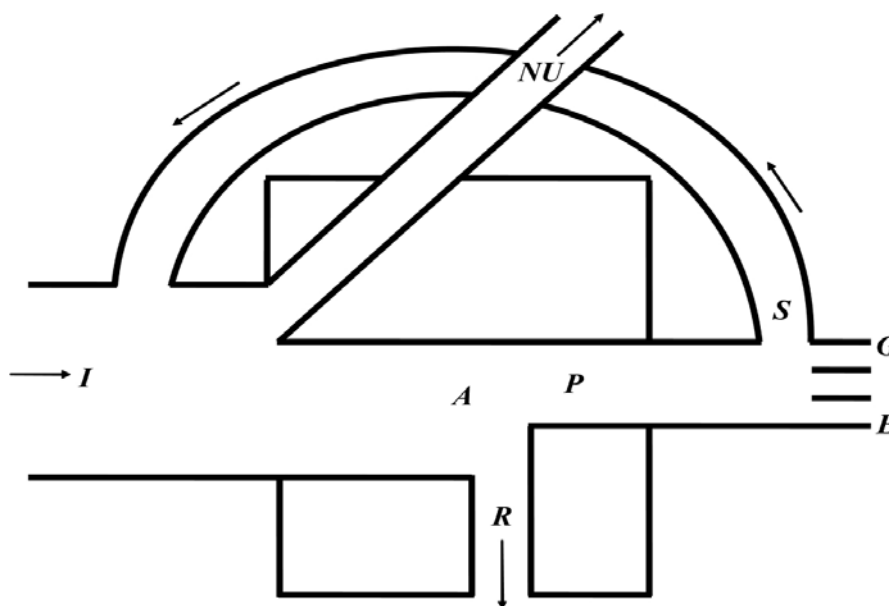


Рис. 4.4. Универсальная модель потока энергии

Отношения  $P/R$  и биомасса в отношении к  $P$  широко варьируют. Они имеют важное экологическое значение. В целом часть энергии, идущая на дыхание, т. е. на поддержание структуры организма, велика в популяциях крупных организмов и в сообществах с большой биомассой на корню. При стрессовых воздействиях на биологическую систему расходы на дыхание возрастают. Величина продукции сравнительно велика в активных популяциях мелких организмов, например бактерий или водорослей, в молодых быстро растущих сообще-

ствах, в системах, получающих энергетические дотации. Продукция может принимать различные формы. Три ее типа указаны на рис. 4.4:  $G$  – рост и увеличение биомассы,  $E$  – ассимилированное органическое вещество, выделяемое с секретами,  $S$  – запас, например жировые накопления, которые могут быть использованы позже (хищник использует энергию запасных веществ, чтобы найти новую жертву).

## 6. Задания

1. Составить схему пищевой цепи из перечисленных организмов, обозначить трофические уровни и дать им определения; указать, к какому типу относится пищевая цепь:

- а) личинки падальных мух, мертвое животное, лягушка, обыкновенный уж;
- б) лиса, трава, кролик;
- в) листовая подстилка, дождевой червь, ястреб-перепелятник, черный дрозд;
- г) божья коровка, тля, сосна, насекомоядная птица, паук;
- д) кулик, береговая улитка, сорока, фитопланктон;
- е) землеройка, дождевой червь, опавшая листва;
- ж) землеройка, паук, нектар, сова, муха;
- з) короед, дятел, древесина;
- и) мышь, семена, гадюка;
- к) личинки насекомых, торф, хариус, белый медведь.

2. На рис. 4.5 показаны потоки энергии, проходящей через большую часть луговой экосистемы:

- А. Какова валовая первичная продукция злаков и разнотравья?
  - Б. Какова эффективность фотосинтеза, т. е. преобразования поступающей солнечной энергии в валовую продукцию?
  - В. Чему равна продукция паукообразных?
  - Г. Чему равна продукция саранчовых?
  - Д. Сколько энергии теряется при дыхании и выделении фекалий у полевых мышей?
  - Е. Какие организмы являются продуцентами?
  - Ж. Какие организмы являются первичными консументами?
3. Какие организмы являются вторичными консументами?
- И. Какие организмы относятся к автотрофам, гетеротрофам?
3. Для экосистем, указанных в табл. 4.1, рассчитать чистую первичную продукцию, продуктивность сообщества. Сравнить экосистемы. Пояснить, какие сообщества считаются стабильными и почему.

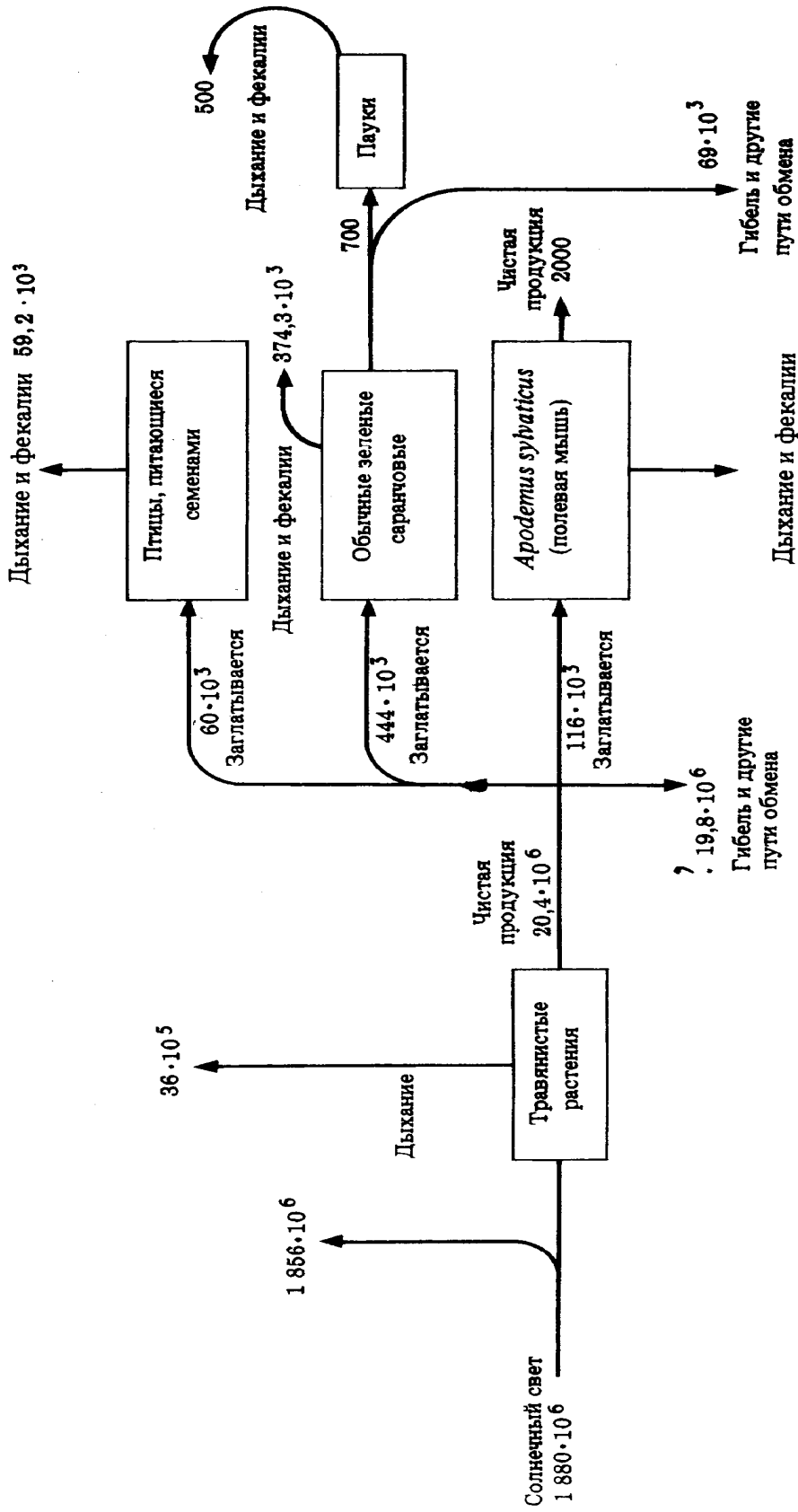


Рис. 4.5. Поток энергии через небольшую часть луговой экосистемы ( $\text{кДж} / \text{м}^2 \cdot \text{год}$ ) [2]

Таблица 4.1

Годовая продукция в экосистемах, ккал/м<sup>2</sup> в год [3]

Показатель потока энергии в экосистемах	Годовая продукция в различных видах экосистем, ккал/м <sup>2</sup> в год					
	Поле люцерны	Посадки сосны	Сосновый Лес	Большой ручей	Дождевой лес	Прибрежный пролив
Валовая первичная продукция	24 400	12 200	11 500	20 800	45 000	5700
Дыхание автотрофов	9200	4700	6500	12 000	32 000	3200
Дыхание гетеротрофов	800	4600	3000	6800	13 000	2500

4. С помощью рис. 4.6 выполнить следующие задания:

а) в пирамиде А первичные продуценты (растения) – организмы малых размеров, а численность их выше численности травоядных животных. Опишите и объясните различия между пирамидами А и Б;

б) жгутиковые простейшие *Leptomonas* паразитируют на мелких насекомых, тысячи их могут быть найдены на одной блохе. Постройте пирамиду численности на основе следующей пищевой цепи: трава – травоядное млекопитающее – блоха – *Leptomonas*;

в) дайте объяснение различия между пирамидами А и В.

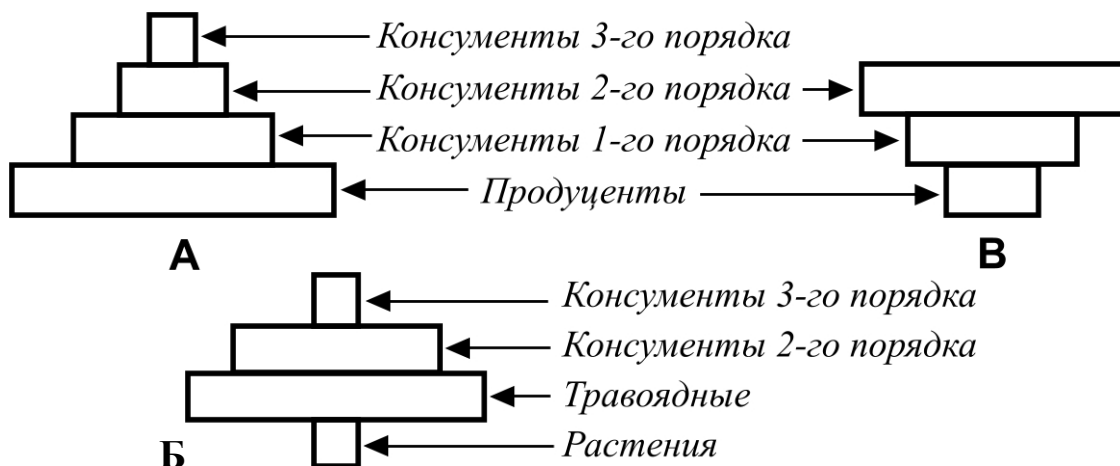


Рис. 4.6. Экологические пирамиды численности

5. Пользуясь правилом экологической пирамиды, подсчитайте, какая площадь соответствующего биогеоценоза может выкормить одну особь последнего звена в цепи питания:

- а) планктон – нехищная рыба – щука 10 кг;
- б) планктон – нехищная рыба – скопа 5 кг;
- в) планктон – нехищная рыба – орлан-белохвост 6 кг;
- г) растения – беспозвоночные – карп 3 кг.

Биологическая продуктивность планктона 600 г/м<sup>2</sup> в год, донной растительности 1000 г/м<sup>2</sup> в год (в пересчете на сухую биомассу).

6. По данным, приведенным в табл. 4.2, определите, какой из видов более эффективно использует энергию пищи на рост и накопление жировых запасов.

Таблица 4.2

Продукция, тыс. кал/га [8]

Вид	Количество корма, тыс. кал/га		Количество вторичной продукции, тыс. кал/га
	потребленного	усвоенного	
Малый суслик	535	427	40
Степной суслик	278	206	54

7. По данным табл. 4.3 рассчитайте количество усвоенной пищи и ту часть усвоенной пищи, которая идет на метаболизм и на прирост биомассы. На что расходуется большая часть энергии пищи?

Таблица 4.3

Показатели трофической деятельности сусликов  
в полупустыне Прикаспия, кг/га сухой массы

Год	Урожай растений, кг/га	Изъято сусликами, кг/га	Кормовые остатки, кг/га	Экскременты, кг/га	Прирост биомассы популяции, кг/га
2015	1220	230	107	20	4,4
2016	890	270	96	11	2,8
2017	1440	390	235	16	2,5

8. Зная правило десяти процентов, рассчитайте:

А. Сколько нужно травы, чтобы вырос один орел весом 5 кг?  
Уровни пищевой цепи: орел, трава, заяц.

Б. Сколько понадобится фитопланктона, чтобы выросла одна щука весом 10 кг? Уровни пищевой цепи: зоопланктон, мелкие рыбы, щука, окунь, фитопланктон.

В. Сколько понадобится фитопланктона, чтобы вырос один медведь весом 300 кг? Уровни пищевой цепи: лосось, мелкие рыбы, медведь, зоопланктон, фитопланктон.

Г. Сколько понадобится фитопланктона, чтобы вырос один синий кит весом 150 т? Уровни пищевой цепи: синий кит, фитопланктон, зоопланктон.

9. Соотнесите *понятия*, обозначающие различные способы добывания пищи, с их *определениями* и распишите в отчете:

- а) паразит;
- б) фильтратор;
- в) хищник;
- г) собиратель;
- д) пасущийся организм.

Определения:

А. Организм, который активно разыскивает и убивает относительно крупные жертвы, способные убежать, прятаться или сопротивляться.

Б. Организм (имеющий, как правило, небольшие размеры), который использует живые ткани или клетки другого организма в качестве источника питания и среды обитания.

В. Организм, поглощающий многочисленные пищевые объекты, как правило, растительного происхождения, на которые он не тратит много сил.

Г. Водное животное, процеживающее через себя воду с многочисленными мелкими организмами, которые служат ему пищей.

Д. Организм, который разыскивает и поедает относительно мелкие, не способные убежать и сопротивляться пищевые объекты.

10. Назовите тип пищевых отношений (паразитизм, фильтрация, хищничество, собирательство, пастьба), который соответствует следующим парам взаимодействующих организмов, и распишите в отчете:

- а) заяц – клевер;
- б) дятел – короеды;
- в) лиса – заяц;
- г) человек – аскарида;
- д) медведь – лось;
- е) медведь – личинки пчел;
- ж) синий кит – планктон;
- з) корова – тимофеевка;
- и) гриб-трутовик – береза;
- к) карп – мотыль;
- л) стрекоза – муха;
- м) моллюск беззубка – простейшие;

- н) тля – щавель;
- о) гусеница сибирского шелкопряда – пихта;
- п) кузнечик – злак мятлик;
- р) губка – простейшие;
- с) вирус гриппа – человек;
- т) коала – эвкалипт;
- у) холерный вибрион – человек;
- ф) божья коровка – тля;
- х) муравьед – термиты.

11. Прочитайте список организмов и укажите, к каким из перечисленных групп они относятся. Составьте таблицу.

Группы:

- А. Фитофаги.
- Б. Зоофаги.
- В. Паразиты.
- Г. Симбионты.
- Д. Детритофаги.

Список организмов: волк, палочка Коха, росянка, иксодовый клещ, щука, самка комара, слон, бычий цепень, дафния, дождевой червь, личинка навозной мухи, колорадский жук, кролик, рак, рысь, гриб-трутовик, овца, карп, клубеньковые бактерии, жук-скарабей, подберезовик.

12. Составьте таблицу, выбрав предлагаемые *понятия* и соответствующие им *определения* типов воздействия.

#### Типы взаимодействия организмов

Понятие	Определение
---------	-------------

Понятия:

- а) мутуализм (симбиоз);
- б) нейтрализм;
- в) конкуренция;
- г) аменсализм;
- д) комменсализм;
- е) комменсализм (нахлебничество);
- ж) паразитизм;
- з) хищничество.

Определения:

А. Взаимодействие двух или нескольких особей, последствия которого для одних отрицательны, а для других – безразличны.

Б. Взаимодействие двух или нескольких особей, при котором одни используют остатки пищи других, не причиняя им вреда.

В. Взаимовыгодное взаимодействие двух или нескольких особей.

Г. Взаимодействие двух или нескольких особей, при котором один предоставляет убежища другим и это не приносит хозяину ни вреда, ни пользы.

Д. Совместное обитание двух особей, непосредственно не взаимодействующих между собой.

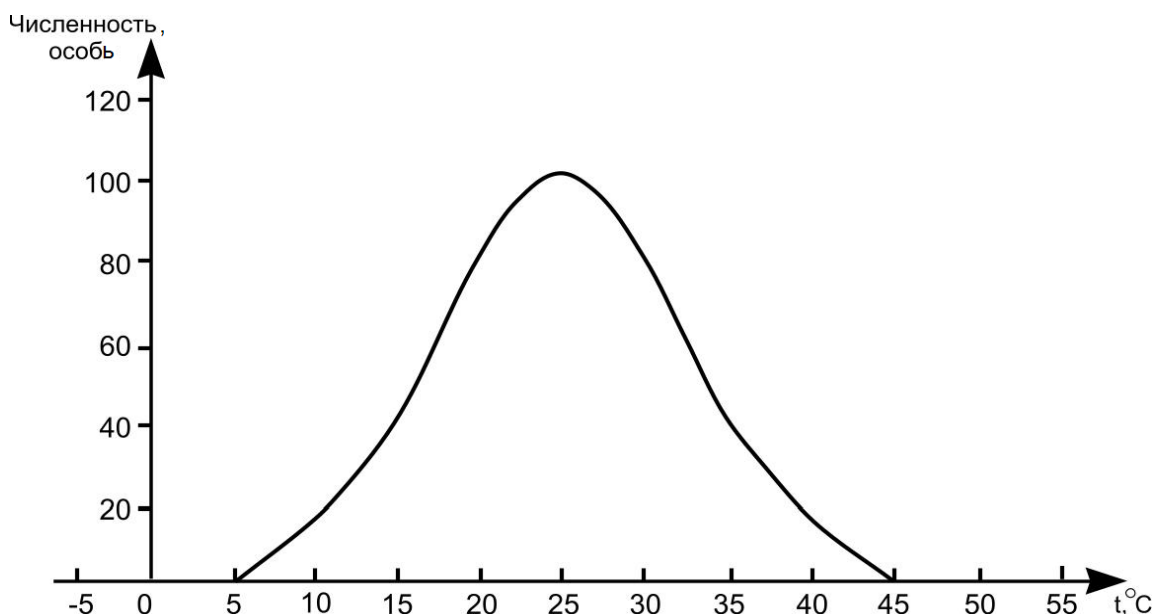
Е. Взаимодействие двух или нескольких особей, имеющих сходные потребности в одних тех же органических ресурсах, что приводит к снижению жизненных показателей взаимодействующих особей.

Ж. Взаимодействие двух или нескольких организмов, при котором одни питаются живыми тканями или клетками других и получают от них место постоянного или временного обитания.

З. Взаимодействие двух или нескольких особей, при котором одни поедают других.

13. Взаимодействие двух организмов теоретически можно представить в виде парных комбинаций символов «+», «-» и «0», где «+» обозначает улучшение положения для организма, «-» – ухудшение и «0» – отсутствие значимых изменений при взаимодействии. Обозначьте предлагаемые типы биотических взаимодействий (хищничество, мутуализм (симбиоз), паразитизм, нейтрализм, конкуренция, комменсализм (нахлебничество), аменсализм, комменсализм) соответствующими парными комбинациями символов «+», «-», «0»). Приведите примеры этих взаимоотношений.

14. Рассмотрите график зависимости численности божьей коровки от температуры окружающей среды:





Укажите следующие параметры:

- А. Температура, оптимальная для этого насекомого.
- Б. Диапазон температур зоны оптимума.
- В. Диапазон температур зоны пессимума (угнетения).
- Г. Две критические точки.
- Д. Пределы выносливости вида.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое экосистема?
2. Как подразделяют по типу питания биотический компонент?
3. В чем различие между пастбищными и детритными пищевыми цепями?
4. Какие организмы относятся к продуцентам, консументам, редуцентам?
5. Что выражают экологические пирамиды?
7. Что такое продуктивность экосистемы?
8. Как распределяется поток энергии в экосистемах?

### **Лабораторная работа 5**

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ**

Изучение загрязнения воды – одна из основных задач экологического мониторинга. Химический состав воды определяет ее качество и, следовательно, возможность использования с той или иной практической целью.

Существенное влияние на качество воды в больших городах оказывают нефтепродукты, поступающие в окружающую среду в основном при работе автотранспортных средств. А в связи с увеличением количества транспортных перевозок в целом по России и конкретно во Владимире и Владимирской области количество выбросов нефтепродуктов имеет тенденцию к существенному увеличению.

При сильном загрязнении воды ощущается недостаток кислорода для размножения и развития бактерий, которые разлагают химические загрязнители. Опасны соединения свинца, ртути, радиоактивные вещества, а также органические загрязнители и поверхностно-активные вещества, в том числе моющие вещества, гербициды, белково-витаминные концентраты.

В результате крушений танкеров и выбросов нефти из скважин, находящихся в открытом море, моря и океаны загрязняются нефтью и мазутом. В мировой океан ежегодно попадает более 5 млн т нефти в основном при транспортных операциях.

В морской воде под влиянием ветра, отливов и приливов нефть эмульгируется, испаряется, частично растворяется и подвергается химическому и фотохимическому окислению. Для полного окисления нефти в морской воде кислорода не хватает (для окисления 4 л нефти требуется количество кислорода, содержащееся в 1,500000 л морской воды, насыщенной воздухом). Вода содержит смолистые не осаждающиеся шарики, которые загрязняют также и пляжи. Опасны и ароматические углеводороды, поражающие практически все морские организмы, а также ухудшающие вкус морепродуктов, повышающие их канцерогенность.

Для оценки опасности сбросов в локальной экологической системе и биологической сфере необходимо знать состав и концентрации загрязнений.

В настоящее время остро ощущается дефицит воды, поскольку после использования она в большинстве случаев не подвергается очистке. Выброс загрязняющих веществ в водные объекты и изменение влагооборота приводят к изменению не только состава биосферы, но и круговорота и баланса слагающих ее веществ.

Загрязненная химическими веществами вода непригодна для использования в пищевой промышленности и быту, наносит вред здоровью человека.

Негативное влияние токсичных химических веществ на экологическую обстановку в регионах с развитой индустрией может быть ослаблено химическими методами: эффективная очистка выбросов, разработка биологически разлагаемых ПАВ и химических продуктов, топлива для двигателей внутреннего сгорания с пониженным содержанием ароматических углеводородов и тетраэтилсвинца. При разработке новых технологий надо исходить из сокращения водопотребления, что позволяет исключить сброс сточных вод, перейти на замкнутые водооборотные системы.

## **1. Отбор проб**

Отбор проб – это ответственная часть анализа, от которой зависит достоверность получаемой информации. Выбор места отбора, ча-

стога и техника отбора должны в определенной степени обеспечивать представительность проб, на основе анализа которых в дальнейшем делают выводы о состоянии водного объекта. Объем отбираемой пробы, необходимой для анализа, зависит от числа определяемых компонентов и обычно колеблется от 1 до 2 л. Пробы воды на химический анализ следует брать на стреже потока с поверхности (0,2 – 0,5 м), при этом проба воды осторожно зачерпывается (без взбалтывания) каким-либо большим сосудом (тазом, ведром), который во избежание загрязнений пробы должен употребляться только для этих целей. Для взятия глубинных проб используют специальные приборы – батометры, снабженные краном.

## 2. Предварительная обработка, хранение и консервация проб

подавляющее число компонентов и свойств воды необходимо определять по возможности быстро, в только что отобранной пробе, чтобы избежать нарушения равновесия ионов, потери растворенных газов, разложения органических веществ, вызываемых деятельностью микроорганизмов. В том случае, когда немедленный анализ пробы невозможен по какой-либо причине, пробы должны быть подвергнуты предварительной обработке и законсервированы.

Предварительная обработка пробы заключается в ее фильтрации через плотный бумажный фильтр для устранения взвесей. Универсального способа консервации проб не существует, поэтому пробу делят на несколько частей и консервируют различными способами (табл. 5.1). Для стабилизации легко разрушающихся и быстроразлагающихся компонентов воды рекомендуется охлаждение воды до 3 – 4 °С, а иногда и глубокое замораживание (–15... –20 °С).

*Таблица 5.1*

Способы консервации проб воды для определения различных компонентов

Определяемый компонент	Посуда для отбора	Способ консервирования	Максимальное время между отбором и анализом
Вкус	Стеклянная	Охлаждение при 4 °С	6 – 24 ч
Цвет	Полиэтилен или стекло	Охлаждение при 4 °С	24 ч

Определяемый компонент	Посуда для отбора	Способ консервирования	Максимальное время между отбором и анализом
рН	Полиэтилен или стекло	Охлаждение при 4 °С	Сразу
Растворенный	Стеклянная	Охлаждение при 4 °С	Сразу
Хлориды	Полиэтилен или стекло	Не консервируют	7 сут
Аммонийные соли и аммиак	Полиэтилен или стекло	Охлаждение при 4 °С	1 – 3 сут
Нитриты	Полиэтилен или стекло	Охлаждение при 4 °С	1 – 3 сут
Нитраты	Полиэтилен или стекло	Охлаждение при 4 °С	1 – 3 сут
Железо	Полиэтилен или стекло	Охлаждение при 4 °С	1 – 3 сут
Сульфаты	Полиэтилен или стекло	Не консервируют	7 сут

### 3. Температура

Температуру пробы воды измеряют во время отбора пробы ртутным термометром с ценой деления 0,1 – 0,5 °С, который опускают на заданную глубину и выдерживают в течение 3 – 10 мин. После извлечения термометра тотчас измеряют показания.

### 4. Понятие о жесткости воды

Жесткость воды зависит от присутствия в ней растворимых солей кальция, в некоторых случаях – солей магния и железа. Жесткая вода при кипячении образует накипь вследствие оседания карбонатов и оксикарбонатов кальция, магния и железа. Мыло в жесткой воде не мылится (не вспенивается), так как образуются нерастворимые в воде кальциевые и магниевые соли жирных кислот.

Жесткая вода непригодна для питания паровых котлов вследствие образования на стенках котлов накипи, которая может привести к взрыву.

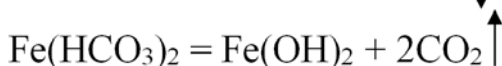
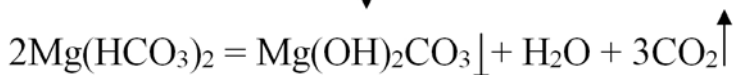
Различают жесткость воды временную (или устранимую) и постоянную. Временная жесткость воды обусловлена присутствием в воде гидрокарбонатов, дигидрокарбонатов  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , реже –  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  и  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ . Временную жесткость можно устранить кипячением воды (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Характеристика видов жесткости воды

Виды жесткости воды	Соли, содержание которых обуславливает жесткость	Способы устранения
Временная (карбонатная)	Гидрокарбонаты $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , гидроксикарбонаты $\text{Ca}(\text{OHCO}_3)_2$ , $\text{Mg}(\text{OHCO}_3)_2$	Кипячение, реагентный
Постоянная (некарбонатная)	Хлориды $\text{CaCl}_2$ , $\text{MgCl}_2$ , сульфаты $\text{CaSO}_4$ , $\text{MgSO}_4$	Реагентный, с помощью ионообменных смол, ионитов
Общая (сумма временной и постоянной)	Гидрокарбонаты, гидроксикарбонаты, хлориды и сульфаты	Смешанный

При кипячении воды бикарбонаты разлагаются с образованием карбонатов, оксикарбонатов и гидроксидов:



Постоянная жесткость воды обусловлена присутствием в ней преимущественно сульфатов и хлоридов кальция и магния и не устраняется кипячением.

## 5. Влияние жесткости воды на организм человека

Общее содержание кальция в организме человека в среднем составляет 1,9 % от общей массы тела, при этом 99 % всего количества приходится на долю скелета и лишь 1 % содержится в остальных тканях и жидкостях организма. Суточная потребность в кальции для взрослого человека 0,45 – 1,2 г. Кальций участвует во всех жизненных процессах организма. Нормальная свертываемость крови происходит только в присутствии солей кальция. Кальций играет важную роль и в нервно-мышечной возбудимости организма.

Очень жесткая вода вредна для здоровья, так как может вызывать увеличение содержания кальция в крови, усиление кальцификации организма и ослабление процессов регенерации. Человек потребляет в сутки 0,7 – 2 г кальция с пищей и питьевой водой. По данным токсикологов, кальций в дозе 3,5 – 5,2 мг/кг массы или концентрации в питьевой воде 100 – 150 мг/л увеличивает заболеваемость населения болезнями почек, артритами и полиартритами. Кальций – биогенный элемент. Он необходим для нормального течения многих жизненных процессов, участвует в образовании костей и зубов, в процессе свертывания крови, регулирует возбудимость нервно-мышечного аппарата, повышает тонус сердечной мышцы, поэтому неблагоприятны как дефицит, так и его избыток в организме.

При избытке кальция наблюдаются болезни костной системы, мышечная слабость, затруднение координации движений, деформация костей позвоночника и ног, самопроизвольные переломы, болезни внутренних органов.

Недостаток кальция вызывает тахикардию, аритмию, побеление пальцев рук и ног, боли в мышцах, повышенную раздражительность, галлюцинации, потерю памяти, умственную отсталость. Волосы становятся грубыми и выпадают, ногти – ломкими, кожа утолщается и грубеет, на эмали зубов появляются ямки, хрусталик глаза теряет прозрачность.

В природных условиях кальций и магний попадают в воду вследствие воздействия диоксида углерода на карбонатные минералы или в результате биохимических процессов, происходящих в увлажненных слоях почвы.

В природных водах европейской части России соединения кальция содержатся в среднем в концентрации 67,2 мг/л.

В поверхностные водоемы кальций может поступать со сточными водами предприятий по добыче и обработке извести, целлюлозно-бумажных, химических, нефтехимических, стекольных, химико-фармацевтических, кожевенных, лакокрасочных, машиностроительных, пивоваренных. В сточных водах нефтехимических предприятий содержится в среднем 1228 мг/л кальция.

Жесткость воды выражается в миллиграмм-эквивалентах ионов Са на 1 л. 1 мэкв/л жесткости соответствует содержанию  $40,08/2 = 20,04$  мг Са<sup>2+</sup> или  $24,31/2 = 12,16$  мг Mg в 1 л воды, где 40,08 и 24,31 – атомные массы Са и Mg.

По действующему ГОСТу на питьевую воду жесткость ее может быть не более 7 мэкв/л, т. е. максимально допустимая концентрация кальция в питьевой воде равна  $20,047 \cdot 7 = 140,28$  мг/л (табл. 5.3).

Таблица 5.3

Российская классификация воды по степени ее жесткости

Характеристика	Очень мягкая	Мягкая	Средней жесткости	Жесткая	Очень жесткая
Общая жесткость, мэкв/л	< 1,5	1,5 – 3,0	3,0 – 6,0	6,0 – 9,0	> 9,0

Интересно заметить, что общая жесткость воды рек и озер в тайге и тундре составляет 0,1 – 0,2 ммоль экв/л, а морей и подземных вод – 80 – 100 мэкв/л. В поверхностных водах преобладает карбонатная жесткость, которая составляет 70 – 80 % от общей жесткости. Максимальная жесткость природных вод обычно наблюдается в конце зимы, минимальная – в период паводка. Жесткость подземных вод практически постоянна и не изменяется с временами года.

Для разработки эффективных мероприятий по очистке сточных вод необходимо точно знать, какие именно загрязнения находятся в сточных водах, попадающих в тот или иной водоем, и в каких количествах. Эти задачи решают путем анализа воды.

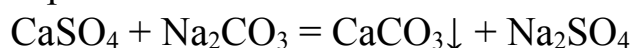
## 6. Способы умягчения воды

Жесткость воды устраняют физическими и химическими методами. Временная жесткость устраняется кипячением воды. При этом

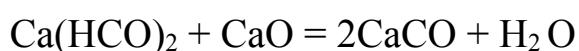
гидрокарбонаты и гидроксикарбонаты переходят в нерастворимые карбонаты:



Химическое умягчение воды основано на введении в воду реагентов, обогащающих ее анионами  $\text{CO}_3$  и  $\text{OH}^-$ , в результате чего образуются малорастворимые  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Для этого природную воду обрабатывают гашеной известью или кальцинированной содой:



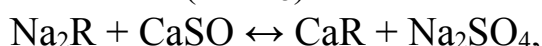
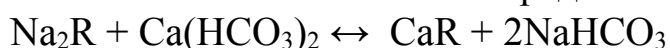
Временная жесткость может быть устранена введением негашеной извести:



Для удаления ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  можно применять также фосфат натрия  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , буру  $\text{Na}_4\text{B}_2\text{O}_7$ , поташ  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и др.

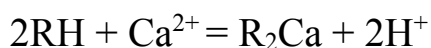
Широкое распространение в технике получил метод устранения жесткости воды путем ионного обмена. В этом методе используется способность некоторых природных и искусственных высокомолекулярных соединений – ионитов – обменивать входящие в их состав радикалы на ионы, находящиеся в растворе.

По характеру обмениваемых ионов среди ионитов различают катиониты и аниониты. Катионитами являются алюмосиликаты типа цеолитов, например  $\text{Na}_2[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]n\text{H}_2\text{O}$ , искусственно приготовленные гидратированные алюмосиликаты – пермутиты, ряд силикатов и другие. Происходящий между алюмосиликатом и жесткой водой обмен ионами можно схематически представить так:



где R – сложный алюмосиликатный анион.

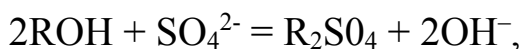
Для умягчения воды применяют также различные искусственные органические высокомолекулярные вещества, называемые ионообменными смолами. Катионообменные смолы содержат активные группы  $-\text{SO}_3\text{H}$ ,  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{OH}$ , в которых атом водорода способен замещаться на катионы по схеме



В анионообменных смолах активны основные группы  $=\text{NH}_2$ ,  $=\text{NH}$ ,  $=\text{N}$ . Обменными анионами служат  $\text{OH}^-$  группы, которые образуются на поверхности смолы в процессе ее гидратации.



Схема анионного обмена:



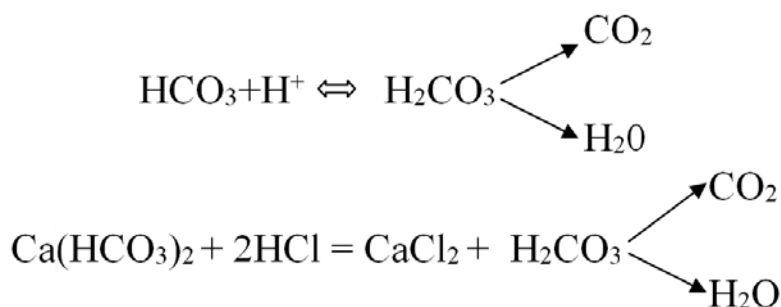
где R – сложный органический радикал.

В некоторых случаях требуется удалить из воды не только катионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , но и другие катионы и анионы. В таких случаях воду пропускают последовательно через катионит и анионит. В итоге вода освобождается и от катионов, и от анионов. Такая обработка воды называется обессоливанием.

Кроме того, жесткость можно устранить вымораживанием льда, перегонкой, но в последнем случае необходимо иметь специальную установку.

## 7. Методика определения временной (карбонатной) жесткости воды

Метод основан на титровании гидрокарбонат-ионов хлористоводородной кислотой в присутствии индикатора метилового оранжевого.



*Реактивы и посуда:*

кислота хлороводородная  $\approx 0,1$  н раствор,  
индикатор метиловый оранжевый,  
колбы конические емкостью 250 мл,  
цилиндр мерный,  
бюретка на 25 мл.

*Ход анализа.*

В три конические колбы емкостью 250 мл отбирают мерным цилиндром по 200 мл анализируемой воды, добавляют 2 – 3 капли индикатора метилового оранжевого и титруют 0,1 н раствором HCl до перехода окраски от желтой к оранжевой. Находят среднее арифметическое из трех параллельных определений.

Жесткость исследуемой воды Ж определяется по формуле

$$Ж = \frac{V_{\text{HCl}} C_{\text{HCl}} \cdot 1000}{V_{\text{H}_2\text{O}}},$$

где Ж – жесткость воды (временная), мэкв/л;  $V_{\text{HCl}}$  – средний объем из трех определений, мл;  $C_{\text{HCl}}$  – точная концентрация раствора HCl, мэкв/л;  $V_{\text{H}_2\text{O}}$  – средний объем анализируемой воды, мл.

## 8. Комплексометрическое определение общей жесткости воды

Общая жесткость воды обусловлена присутствием в ней гидрокарбонатов, хлоридов, сульфатов и других растворимых солей кальция и магния. Общую жесткость определяют в природных подземных и поверхностных водах, питьевой воде и сточных водах перед сбросом их в поверхностные воды.

*Реактивы и посуда:*

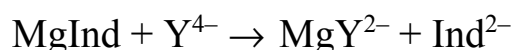
аммиачный буферный раствор с pH = 10,  
индикатор эриохром черный Т,  
комплексон III, ≈ 0,01 М раствор.

*Сущность метода.*

Метод основан на титровании анализируемой воды раствором двуназиевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты (комплексона III, трилона Б) известной концентрации при pH = 10 в присутствии индикатора эриохрома черного Т:



В водной среде этилендиаминтетраацетат натрия образует при pH = 10 комплексные соединения сначала с ионами кальция, затем с ионами магния. Когда в анализируемую пробу вносят индикатор эриохром черный Т, он образует с ионами магния вишнево-красное комплексное соединение. В точке эквивалентности, когда все свободные ионы кальция и магния уже связаны с комплексоном III, последний взаимодействует с комплексом магния с индикатором, вытесняя свободный индикатор, который окрашивает раствор в синий цвет:



### *Ход анализа.*

В три конические колбы емкостью 250 – 300 мл цилиндром приливают по 50 мл исследуемой воды, добавляют мерным цилиндром по 10 мл аммиачного буфера и индикатор эриохром черный Т (один шпатель). Содержание каждой колбы титруют стандартным раствором комплексона III до перехода окраски от вишнево-красной до синей (переходная окраска – фиолетовая).

Находят среднее арифметическое трех параллельных титрований и записывают в тетрадь.

Общую жесткость воды рассчитывают по формуле

$$Ж = \frac{V_K C_K \cdot 2 \cdot 1000}{V_{\text{воды}}},$$

где Ж – жесткость воды (общая), мэкв/л;  $V_K$  – средний объем израсходованного комплексона III, ммоль/л;  $V_{\text{воды}}$  – средний объем анализируемой воды, мл; 2 – коэффициент перехода от молярной концентрации (моль/л) к нормальной концентрации (мэкв/л);  $C_K$  – точная концентрация комплексона III, моль/л.

Некарбонатную (постоянную) жесткость определяют как разницу между общей жесткостью и карбонатной (временной).

### **Контрольные вопросы**

1. Что определяет качество воды?
2. Как влияет загрязнение нефтью и нефтепродуктами на качество воды?
3. Каковы источники поступления загрязнений химических веществ техногенного происхождения в водные экосистемы?
4. Каково влияние загрязненной воды на здоровье человека?
5. В чем состоят особенности отбора проб воды?
6. Как влияет жесткая вода на питание паровых котлов?
7. Содержанием каких солей обусловлены временная и постоянная жесткости воды?
8. Каковы методы определения временной и общей жесткостей воды?

## Лабораторная работа 6

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДЫ

Первичную (визуальную) оценку качества воды проводят, исследуя ее органолептические характеристики. Эти характеристики определяются с помощью органов зрения (мутность, цветность) и обоняния (запах). Неудовлетворительные органолептические характеристики косвенно свидетельствуют о загрязнении воды. На правильность полученных результатов анализов влияет способ отбора проб воды и условия ее хранения.

#### 1. Прозрачность

##### Вариант 1

Измерение прозрачности с помощью шрифта проводят в лабораторных условиях. Для измерения используют стеклянный цилиндр с внутренним диаметром 2,5 см и высотой около 50 см. В качестве стандартного шрифта применяют шрифт ГОСТа 3551-46 с высотой букв 3,5 мм. Пробу воды рассматривают при рассеянном дневном свете. Мерой прозрачности служит высота столба воды (см), при котором можно наблюдать на белой бумаге шрифт.

##### Вариант 2

1. Заполните колбу на две трети части водой.
2. Определите мутность воды, рассматривая колбу сверху на темном фоне при достаточном боковом освещении. Выберите нужное:

Вид прозрачности воды
Прозрачная
Слабомутная
Мутная
Очень мутная

#### 2. Цветность

##### Вариант 1

Цветность воды (кажущуюся) определяют в нефилтрованной пробе воды путем сравнения цвета анализируемой воды со стандартной окраской имитационной шкалы.

### Приготовление имитационной шкалы.

Готовят два раствора.

Раствор 1: в мерной колбе с объемом 1 л растворяют в дистиллированной воде 0,0875 г  $K_2Cr_2O_7$  и 2 г  $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ , добавляют 1 мл концентрированной (далее – конц.) химически чистой (далее – хч)  $H_2SO_4$  и доливают колбу дистиллированной водой до метки.

Раствор 2: 1 мл конц. хч  $H_2SO_4$  разбавляют дистиллированной водой и доводят объем до 1 л. Смешивая растворы 1 и 2 в нижеуказанных соотношениях, получают имитационную шкалу цветности (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Имитационная шкала цветности

Раствор 1	0	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16
Раствор 2	100	99	98	97	96	95	94	92	90	88	86	84
Градусы	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80

Определение цветности с помощью шкалы стандартов.

В чистый сухой цилиндр отмеривают 100 мл исследуемой воды и просматривая его сверху, сравнивают окраску воды с окраской стандартных растворов, налитых в такие же цилиндры. При совпадении окрасок цветность определяется градусом данного стандарта шкалы.

### Вариант 2

1. Заполните колбу на две трети части водой.
2. Определите цветность воды, рассматривая колбу сверху на белом фоне при достаточном освещении (дневном, искусственном).

Подчеркните наиболее подходящий оттенок либо заполните свободную строку:

Виды цветности воды
Слабо-желтоватая
Светло-желтоватая
Желтая
Интенсивно желтая
Коричневая
Красно-коричневая
Другая (укажите)

### 3. Запах воды

Запах воды определяется и характеризуется по виду (табл. 6.2) и интенсивности в баллах (табл. 6.3).

Таблица 6.2

#### Виды запаха

Сокращение	Классификация запаха	Примеры и возможные источники происхождения запаха
A	Ароматный или пряный	Камфара, гвоздика, лимон
A <sub>c</sub>	Огуречный	Synara
B	Бальзамический или цветочный	Герань, ирис, ваниль
B <sub>g</sub>	Гераниевый	Asteronella
B <sub>n</sub>	Настурциевый	Aphanizomanon
B <sub>s</sub>	Сладковатый	Coclosphaerium
B <sub>v</sub>	Фиалковый	Mallomonas
C	Химический	Промышленные сточные воды или химическая обработка
Cc	Хлорный	Свободный хлор
Ch	Углеводородный	Стоки нефтеочистительных заводов
Cm	Лекарственный	Фенол и йодоформ
Cs	Сернистый	Сернистый сероводород
D	Неприятный или очень неприятный	—
Df	Рыбный	Uroglenopsis, Dinobryon
Dp	Навозный	Anabaena
Ds	Гнилостный	Застоявшиеся сточные воды
E	Землистый	Сырая земля
Ep	Торфяной, травянистый	Торф
M	Затхлый	Преющая солома
Mm	Плесневелый	Сырой подвал
V	Овощной	Корни овощей

Характер запаха определите по табл. 6.3.

Таблица 6.3

Характеристика запаха по происхождению

Запах «естественного» происхождения	Запах «искусственного» происхождения
Неотчетливый (или отсутствует)	Неотчетливый (или отсутствует)
Землистый	Нефтепродуктовый (бензиновый)
Гнилостный	Хлорный
Торфяной	Уксусный
Травянистый	
Другой (укажите)	Другой (укажите)

**4. Определение интенсивности запаха воды**

Для определения используют 250 мл пробы, помещенной в коническую колбу при 20 °С, которую закрывают пробкой, несколько раз сильно взбалтывают, затем открывают и тотчас же органолептически определяют характер запаха и его интенсивность. Такое же определение выполняют при 60 °С, подогревая колбу на водяной бане, накрытую часовым стеклом и воронкой (табл. 6.4).

Таблица 6.4

Интенсивность и характер проявления запаха

Интенсивность, балл	Характеристика	Проявление запаха
0	Никакого запаха	Отсутствие осязаемого запаха
1	Очень слабый	Запах, не замечаемый потребителем, но осязаемый специалистом
2	Слабый	Запах, обнаруживаемый потребителем, если обратить внимание на это
3	Заметный	Запах легко обнаруживаемый; может быть причиной того, что вода непригодна для питья
4	Отчетливый	Запах, обращающий на себя внимание; может заставить воздержаться от питья
5	Очень сильный	Запах настолько сильный, что делает воду непригодной для питья

## Контрольные вопросы

1. Что означает понятие «органолептические свойства воды»?
2. Как определить прозрачность воды? Виды прозрачности.
3. Каковы методы определения цветности? Виды цветности.
4. Как запах характеризует органолептические свойства воды?

## Лабораторная работа № 7

### КОМПЛЕКСОНОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОСНОВНОГО ВЕЩЕСТВА

Метод основан на образовании малодиссоциированных комплексных соединений катионов с этилендиамин-N, N, N', N'-тетрауксусной кислотой.

При этом различные элементы, независимо от валентности, реагируют с ди-Na-ЭДТА в молярном соотношении 1:1, за исключением молибдена, который реагирует с ди-Na-ЭДТА в молярном соотношении 2:1, и циркония, который в зависимости от условий может давать соединения 1:1 и 2:1.

Настоящее определение предусматривает два типа комплексонометрического титрования: прямое и обратное.

Эквивалентную точку при титровании определяют с помощью соответствующего индикатора.

#### 1. Общие требования

Массу навески анализируемого продукта ( $m$ ) в граммах вычисляют по формуле:

$$m = \frac{MC(27 \pm 2)}{n \cdot 1000},$$

где  $M$  – относительная молекулярная масса анализируемого продукта, г;  $n$  – количество атомов определяемого элемента в молекуле анализируемого продукта, шт.;  $C$  – концентрация применяемого раствора ди-Na-ЭДТА, 0,05 или 0,01 моль/дм<sup>3</sup>;  $(27 \pm 2)$  – примерный объем раствора ди-Na-ЭДТА, необходимый для титрования навески продукта, см<sup>3</sup>.

При проведении взвешиваний применяют лабораторные весы общего назначения типа ВЛР-200г или типов ВЛЭ-200г и ВЛКТ-500г-М.



Допускается применение других средств измерений с метрологическими характеристиками и оборудования с техническими характеристиками не хуже, а реактивов по качеству не ниже указанных в настоящей методике.

Массу навески анализируемого продукта измеряют в граммах с точностью до четвертого десятичного знака в стаканчике для взвешивания. Труднорастворимые продукты предварительно тщательно растирают в агатовой или яшмовой ступке.

Расчитанную навеску растворимых в воде продуктов растворяют в 70 – 80 см<sup>3</sup> воды и проводят анализ.

Доведение рН анализируемых растворов до требуемого значения проводят на универсальном иономере в отдельной пробе, измеряя объем реактива, необходимый для установления заданного значения рН. Полученный объем реактива прибавляют в анализируемый раствор и далее проводят определение.

Для приготовления титрованных, буферных и вспомогательных растворов массу навески измеряют в граммах с точностью до второго десятичного знака. Приготовленные растворы тщательно перемешивают. Коэффициент поправки титрованных растворов должен быть в пределах 0,95 – 1,05. Коэффициент поправки вычисляют с точностью до четвертой значащей цифры после запятой и проверяют не реже одного раза в месяц. рН буферных растворов проверяют на универсальном иономере и при необходимости прибавляют кислоту, щелочь или водный аммиак для достижения соответствующего рН.

Массу навески индикаторов для приготовления растворов или индикаторных смесей измеряют в граммах с точностью до третьего десятичного знака.

Индикаторные смеси готовят следующим образом: 0,250 г индикатора растирают в ступке с 25 г хлористого натрия, хлористого калия или азотнокислого калия, взвешенных с погрешностью не более 0,01 г.

Титрование проводят с использованием бюретки вместимостью 25 см<sup>3</sup> в конических колбах вместимостью от 250 до 750 см<sup>3</sup>.

Объемы титрованных растворов, а также аликвотную часть анализируемых растворов отмеряют с помощью пипеток или бюреток.

Объемы растворов индикаторов отмеряют пипетками, объемы растворов реактивов – пипетками или цилиндрами, объемы воды – цилиндрами или мензурками.

## 2. Реактивы и растворы

Бюретка вместимостью 25 см<sup>3</sup> ценой деления 0,1 см<sup>3</sup>.

Стаканы из термически и химически стойкого стекла группы ТХС по ГОСТ 25336-82.

Стаканчики для взвешивания по ГОСТ 25336-82.

Аммиак водный, раствор с массовой долей 25 %, не содержащий углекислоты; готовят по ГОСТ 4517-2016. Соответствующим разбавлением готовят растворы с массовой долей 10 %, 1:5 и 1:1.

Аммоний хлористый по ГОСТ 3773-72.

Магний сернокислый 7-водный, раствор концентрации с ( $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ ) = 0,05 моль/дм<sup>3</sup>.

Соль динатриевая этилендиамина -N, N, N', N'-тетрауксусной кислоты 2-водная (ди-Na-ЭДТА) по ГОСТ-10652, растворы концентраций с (ди-Na-ЭДТА) = 0,05 моль/дм<sup>2</sup> и с (ди-Na-ЭДТА) = 0,01 моль/дм<sup>3</sup>.

Мурексид, индикаторная смесь; хранят в герметически закрытой банке из темного стекла.

Буферный раствор I (рН 9,5 – 10,0); готовят следующим образом: 70 г хлористого аммония растворяют в 250 – 300 см<sup>3</sup> воды, добавляют 250 см<sup>3</sup> раствора аммиака с массовой долей 25 % и затем доводят объем раствора водой до 1 дм<sup>3</sup>.

## 3. Подготовка к анализу

Раствор ди-Na-ЭДТА концентрации 0,05 моль/дм<sup>3</sup> готовят следующим образом: 18,62 г ди-Na-ЭДТА помещают в мерную колбу вместимостью 1 дм<sup>3</sup>, растворяют в воде, доводят объем раствора водой до метки и тщательно перемешивают. Раствор ди-Na-ЭДТА концентрации 0,01 моль/дм<sup>3</sup> готовят точным разбавлением водой раствора ди-Na-ЭДТА концентрации 0,05 моль/дм<sup>3</sup>.

Раствор концентрации точно 0,05 моль/дм<sup>3</sup> готовят из стандарт-титра (фиксанала) сернокислого магния 7-водного в соответствии с инструкцией по его применению, разбавляя до требуемой концентрации дистиллированной водой.

Коэффициент поправки для раствора ди-Na-ЭДТА концентрации 0,05 моль/дм<sup>3</sup> определяют по раствору соли цинка следующим образом: 25 см<sup>3</sup> раствора концентрации точно 0,05 моль/дм<sup>3</sup> помеща-

ют в коническую колбу, прибавляют 70 см<sup>3</sup> воды, 5 см<sup>3</sup> буферного раствора I и около 1 г индикаторной смеси эриохрома черного Т. Раствор перемешивают и титруют из бюретки раствором ди-Na-ЭДТА до перехода фиолетово-красной окраски в синюю (при применении эриохрома черного Т).

Коэффициент поправки для раствора ди-Na-ЭДТА концентрации 0,05 моль/дм<sup>3</sup> ( $K$ ) вычисляют по формуле

$$K = \frac{25}{V},$$

где  $V$  – объем раствора ди-Na-ЭДТА концентрации 0,05 моль/дм<sup>3</sup>, израсходованный на титрование, см<sup>3</sup>.

Коэффициент поправки для раствора ди-Na-ЭДТА концентрации 0,01 моль/дм<sup>3</sup> ( $K$ ) вычисляют, внося в коэффициент поправки раствора концентрации 0,05 моль/дм<sup>3</sup> ( $K$ ) поправку на объем посуды, применяемой при разбавлении.

*Примечание.* Для определения коэффициента поправки раствора ди-Na-ЭДТА допускается применение другого металла или его соединения, а также применение альтернативных индикаторов при других значениях рН растворов.

#### 4. Проведение анализа соединений никеля

Раствор, содержащий навеску соединения никеля, соответствующую 82 – 93 мг Ni, помещают в коническую колбу, разбавляют водой до 100 см<sup>3</sup>, прибавляют 10 см<sup>3</sup> буферного раствора I, около 0,1 г индикаторной смеси мурексида или 0,4 см<sup>3</sup> раствора сульфарсазена и титруют из бюретки раствором ди-Na-ЭДТА концентрации 0,05 моль/дм<sup>3</sup> до перехода желтой окраски раствора в сине-фиолетовую (при применении мурексида) или розовато-фиолетовой в зеленую (при применении сульфарсазена).

#### 5. Обработка результатов

Массовую долю основного вещества в анализируемом продукте ( $m$ ) в процентах вычисляют по следующим формулам:

- при прямом титровании

$$X = \frac{VA \cdot 100}{m};$$

- при обратном титровании

$$X = \frac{(V_2 - V_1)A \cdot 100}{m};$$

- при титровании аликвотной части раствора

$$X = \frac{VA V_2 \cdot 100}{V_3 m},$$

где  $V$  – объем раствора ди- $\text{Na-ЭДТА}$  концентрации точно 0,05 или 0,01 моль/дм<sup>3</sup>, израсходованный на титрование или взятый для определения, см<sup>3</sup>;  $V_1$  – объем раствора соли цинка концентрации точно 0,05 или 0,01 моль/дм<sup>3</sup>, израсходованный на обратное титрование, см<sup>3</sup>;  $V_2$  – общий объем раствора анализируемого продукта, см<sup>3</sup>;  $V_3$  – объем аликвотной части раствора анализируемого продукта, см<sup>3</sup>;  $A$  – масса основного вещества в анализируемом продукте, соответствующая 1 см<sup>3</sup> раствора ди- $\text{Na-ЭДТА}$  концентрации точно 0,05 или 0,01 моль/дм<sup>3</sup>, г;  $m$  – масса навески продукта, г.

За результат анализа принимают среднее арифметическое результатов двух параллельных определений, относительное допустимое расхождение между которыми не должно превышать 0,2 – 0,5 %.

Допускаемая относительная суммарная погрешность результата анализа  $\pm (0,4 \pm 0,7)$  % при доверительной вероятности  $P = 0,95$ .

В нормативно-технической документации указывают допускаемые расхождения между результатами параллельных определений и допускаемую суммарную погрешность результатов анализа.

### Контрольные вопросы

1. На чем основан метод определения содержания основного вещества?
2. Какие химические элементы не реагируют с ди- $\text{Na-ЭДТА}$  в молярном соотношении 1:1?
3. По раствору какой соли определяют коэффициент поправки для раствора ди- $\text{Na-ЭДТА}$  концентрации 0,05 моль/дм<sup>3</sup>?

## Лабораторная работа № 8

### МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ХРОМА (VI) И ОБЩЕГО ХРОМА В ВОДЕ

#### 1. Область применения

Настоящий метод определения распространяется на природную (поверхностную и подземную) воду, питьевую воду, в том числе расфасованную в емкость, и сточную воду и устанавливает следующие методы определения содержания хрома (VI) и общего хрома:

- фотометрические методы определения содержания хрома (VI) и общего хрома в природной и питьевой воде, в том числе расфасованной в емкости первой категории, сточных и очищенных сточных водах при массовой концентрации хрома (VI) и общего хрома от 0,025 до 25 мг/дм<sup>3</sup>.

#### 2. Фотометрический метод определения содержания хрома (VI), общего хрома и хрома (III)

##### 2.1. Сущность метода

Метод определения хрома (VI) основан на измерении светопоглощения в диапазоне длин волн от 540 до 550 нм окрашенного (красно-фиолетового) комплексного соединения, образующегося в результате реакции 1,5-дифенилкарбазида с бихромат-ионами пробы анализируемой воды в кислой среде и определении хрома (VI) по значению оптической плотности раствора.

Для определения содержания общего хрома соединения хрома предварительно переводят в хром (VI) путем окисления надсернокислым аммонием, после чего определяют содержание хрома (VI) в обработанной пробе с 1,5-дифенилкарбазидом.

Содержание хрома (III) определяют как разность между содержанием общего хрома и хрома (VI).

##### 2.2. Мешающие влияния

При определении хрома (VI) и общего хрома мешающее влияние оказывает железо (III) при содержании свыше 1. Влияние железа устраняют добавлением ортофосфорной кислоты.

### **2.3. Средства измерений, вспомогательное оборудование, реактивы, материалы**

Фотометр, спектрофотометр, фотоэлектроколориметр, фотометрический анализатор (далее – прибор), позволяющий измерять оптическую плотность раствора в диапазоне длин волн 540 – 550 нм при допускаемой основной абсолютной погрешности измерений спектрального коэффициента пропускания не более толщиной поглощающего слоя от 10 до 50 мм.

Весы лабораторные по ГОСТ 24104-2001 высокого класса точности (II) с ценой деления (дискретностью отсчета) не более 0,1 мг, наибольшим пределом взвешивания 220 г.

Пипетки с одной отметкой по ГОСТ 29169-91 2-го класса точности.

Пипетки градуированные по ГОСТ 29227-91 2-го класса точности.

Колбы мерные по ГОСТ 1770-74 2-го класса точности.

Цилиндры мерные по ГОСТ 1770-74 2-го класса точности.

Государственный (межгосударственный) стандартный образец состава раствора ионов хрома (VI) (ГСО) с аттестованным значением массовой концентрации 1 погрешностью аттестованного значения не более  $\pm 2\%$  при доверительной вероятности  $P = 0,95$ .

Колбы конические плоскодонные термостойкие по ГОСТ 25336-82.

Воронки лабораторные по ГОСТ 25336-82.

Стаканы термостойкие по ГОСТ 25336-82.

1,5-дифенилкарбазид, чисто для анализа.

Кислота ортофосфорная по ГОСТ 6552-80, х. ч.

Вода дистиллированная по ГОСТ 6709-72 или вода для лабораторного анализа 1-й степени чистоты, или вода эквивалентной чистоты (далее – дистиллированная вода).

Кислота серная по ГОСТ 4204-77, х. ч.

Допускается применять другие средства измерений, аппаратуру, вспомогательные устройства, реактивы с метрологическими и техническими характеристиками не хуже указанных.

## **3. Подготовка к проведению измерений**

### **3.1. Подготовка посуды**

Всю стеклянную посуду моют последовательно 1) водой с применением моющих средств, затем 2) ополаскивают раствором азотной кислоты, разбавленной водой в соотношении объемов 1:1, водопро-

водной водой, 3) несколько раз промывают дистиллированной водой и сушат. Для мытья посуды не допускается использование смесей, содержащих соединения хрома.

### ***3.2. Приготовление раствора серной кислоты объемной долей 50 %***

Раствор готовят смешиванием равных объемов концентрированной серной кислоты и дистиллированной воды.

Срок хранения раствора – не более года.

Во избежание сильного разогревания и разбрызгивания раствора серную кислоту осторожно приливают к воде небольшими порциями при перемешивании. Емкость 1, в которой проводят разбавление, рекомендуется поместить в емкость 2 со льдом. Категорически запрещается добавлять воду к серной кислоте.

### ***3.3. Приготовление раствора 1,5-дифенилкарбазида массовой концентрации 5 г/дм<sup>3</sup>***

0,25 г 1,5-дифенилкарбазида растворяют в небольшом количестве этилового спирта или ацетона, количественно переносят в мерную колбу вместимостью 50 см<sup>3</sup> и доводят до метки этиловым спиртом (ацетоном).

Срок хранения раствора в емкости из темного стекла – не более 7 сут.

Признаком непригодности раствора считают появление окрашивания.

### ***3.4. Приготовление раствора хрома (VI) с массовой концентрацией 100 мг/дм<sup>3</sup>***

В мерную колбу вместимостью 50 см<sup>3</sup> вносят 5 см<sup>3</sup> государственного стандартного образца (далее – ГСО) состава водного раствора хрома (VI) массовой концентрации 1 мг/см<sup>3</sup>, доводят до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивают.

Срок хранения раствора – не более 3 мес.

Допускается использовать ГСО состава водного раствора ионов хрома другого номинального значения массовой концентрации при условии приготовления градуировочных растворов с указанными значениями массовой концентрации ионов хрома.

### ***3.5. Приготовление раствора хрома (VI) массовой концентрации 5 мг/дм<sup>3</sup>***

В мерную колбу вместимостью 100 см<sup>3</sup> вносят 5 см<sup>3</sup> раствора хрома (VI) массовой концентрации 100 мг/дм<sup>3</sup> (см. п. 3.4.), доводят до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивают. Раствор готовят в день применения.

### ***3.6. Приготовление градуировочных растворов для определения хрома (VI)***

В восемь мерных колб вместимостью 100 см<sup>3</sup> вносят 1,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0 см<sup>3</sup> раствора хрома (VI) массовой концентрации 5 мг/дм<sup>3</sup> (см. п. 3.5), при этом в одну колбу раствор хрома (VI) не вносят и доводят содержимое каждой колбы дистиллированной водой до объема 50 – 80 см<sup>3</sup>. Затем в каждую колбу добавляют 1 см<sup>3</sup> раствора серной кислоты (см. п. 3.2), 0,3 см<sup>3</sup> концентрированной ортофосфорной кислоты, 2 см<sup>3</sup> раствора 1,5-дифенилкарбазида массовой концентрации 5 г/дм<sup>3</sup> (см. п. 3.3), доводят до метки дистиллированной водой и перемешивают. Массовая концентрация хрома (VI) в полученных градуировочных растворах составляет 0,0; 0,05; 0,10; 0,20; 0,30; 0,40 и 0,50 мг/дм<sup>3</sup> соответственно.

Раствор, не содержащий хрома, представляет собой холостую пробу для градуировки. Растворы готовят в день применения.

### ***3.7. Подготовка прибора к измерениям***

Подготовку прибора к измерениям проводят в соответствии с руководством (инструкцией) по эксплуатации прибора.

### ***3.8. Градуировка прибора***

Для определения хрома (VI) и общего хрома строят отдельные градуировочные характеристики, при этом для каждой толщины поглощающего слоя она своя.

Градуировочные растворы и холостую пробу для градуировки выдерживают в течение 15 мин после их приготовления. После этого не менее двух раз измеряют значения оптической плотности каждого градуировочного раствора (в порядке возрастания массовой концентрации хрома в градуировочном растворе) и холостой пробы в диапазоне длин волн от 540 до 550 нм (540 нм – при использовании спектрофотометра) в кюветах с толщиной поглощающего слоя от 25 до 40 мм. В качестве раствора сравнения используют дистиллированную воду.



Устанавливают градуировочную характеристику в виде зависимости среднеарифметических значений из измеренных значений оптической плотности (за вычетом среднеарифметического значения оптической плотности холостой пробы для градуировки) от массовой концентрации хрома. При этом:

- если прибор снабжен компьютерной (микропроцессорной) системой сбора и обработки информации, то градуировочную характеристику устанавливают в соответствии с руководством (инструкцией) по эксплуатации прибора;

- если прибор не предусматривает проведения автоматизированной градуировки, то полученные градуировочные характеристики обрабатывают методом линейной регрессии с использованием предназначенного для этих целей программного обеспечения. При отсутствии такой возможности рассчитывают угловой коэффициент (наклон) градуировочной характеристики  $b$ ,  $\text{дм}^3/\text{мг}$ , по формуле

$$b = \frac{\sum_{i=1}^l C_i \Delta A_i}{\sum_{i=1}^l (C_i)^2} \quad (1)$$

где  $C_i$  – массовая концентрация хрома в  $i$ -м градуировочном растворе,  $\text{мг}/\text{дм}^3$ ;  $\Delta A_i$  – среднеарифметическое значение оптической плотности  $i$ -го градуировочного раствора за вычетом среднеарифметического значения оптической плотности холостой пробы для градуировки;  $l$  – число использованных градуировочных растворов.

Наклон градуировочной характеристики служит мерой чувствительности метода. Градуировочная характеристика должна проходить через начало координат (нуль). При значимом отклонении от нуля рекомендуется установить его причину, заново приготовить градуировочные растворы и повторить градуировку.

### ***3.9. Контроль построения градуировочной характеристики***

Контроль построения градуировочной характеристики с использованием компьютерной (микропроцессорной) системы сбора и обработки информации проводят в соответствии с руководством (инструкцией) по эксплуатации прибора.

Если прибор не предусматривает проведение автоматизированной градуировки, то полученную градуировочную характеристику контролируют, используя коэффициент корреляции, установленный с использованием программного обеспечения (должен быть не менее 0,99),

или для каждого градуировочного раствора рассчитывают значение углового коэффициента (наклон) градуировочной характеристики  $b_i$ ,  $\text{дм}^3/\text{мг}$ , по формуле

$$b_i = \frac{\Delta A_i}{C_i}, \quad (2)$$

где  $\Delta A_i$  – среднеарифметическое значение оптической плотности  $i$ -го градуировочного раствора за вычетом среднеарифметического значения оптической плотности холостой пробы для градуировки;  $C_i$  – массовая концентрация хрома в  $i$ -м градуировочном растворе,  $\text{мг}/\text{дм}^3$ .

Результаты контроля признают удовлетворительными при выполнении условия

$$\frac{b_1 - b}{b} \leq 0,07, \quad (3)$$

где  $b$  – значение углового коэффициента (наклон) градуировочной характеристики, рассчитанное по формуле (1),  $\text{дм}^3/\text{мг}$ .

Если условие (3) не выполняется, то градуировку прибора повторяют.

### ***3.10. Подготовка холостой пробы для определения хрома***

Холостую пробу для определения хрома готовят отдельно для определения хрома (VI) и общего хрома, используя те же реактивы и в тех же количествах, как при отборе и подготовке пробы анализируемой воды, но заменяя пробу анализируемой воды на дистиллированную.

### ***3.11. Подготовка пробы анализируемой воды***

В мерную колбу вместимостью  $100 \text{ см}^3$  вносят аликвоту пробы анализируемой воды. Затем в колбу вносят  $1 \text{ см}^3$  раствора серной кислоты,  $0,3 \text{ см}^3$  ортофосфорной кислоты,  $2 \text{ см}^3$  раствора 1,5-дифенилкарбазида массовой концентрации  $5 \text{ г}/\text{дм}^3$ , доводят до метки дистиллированной водой и перемешивают.

## **4. Порядок проведения измерений**

Анализируют не менее двух аликвотных проб анализируемой воды ( $V_{\text{пр}}$ ,  $\text{см}^3$ ).

Выдерживают подготовленные для измерений пробы анализируемой воды, холостую пробу для определения хрома в течение 15 мин после их подготовки, после чего не менее двух раз измеряют значения

оптической плотности пробы анализируемой воды  $A_s$  и холостой пробы для определения хрома  $A_b$  в диапазоне длин волн от 540 до 550 нм (540 нм – при использовании спектрофотометра) в кюветах с толщиной поглощающего слоя от 25 до 40 мм. В качестве раствора сравнения используют дистиллированную воду.

#### **4.1. Обработка результатов измерений**

При наличии компьютерной (микропроцессорной) системы сбора и обработки информации порядок обработки результатов измерений определяется руководством (инструкцией) по эксплуатации.

При отсутствии компьютерной (микропроцессорной) системы сбора и обработки информации значение оптической плотности для хрома (VI) или общего хрома  $A_x$  рассчитывают по формуле

$$A_x = A_s - A_b, \quad (4)$$

где  $A_s$  – среднеарифметическое значение из измеренных значений оптической плотности пробы анализируемой воды;  $A_b$  – среднеарифметическое значение из измеренных значений оптической плотности холостой пробы для определения хрома.

Массовую концентрацию хрома (VI)  $C_{xp}$ , мг/дм<sup>3</sup>, в аликвоте пробы анализируемой воды определяют по соответствующей градуировочной характеристике, используя значение  $A_x$ , рассчитанное по формуле (4), либо определяют следующим образом:

$$C_{xp} = \frac{A_x}{b}, \quad (5)$$

где  $b$  – угловой коэффициент (наклон) градуировочной характеристики, рассчитанный по формуле (1), дм<sup>3</sup>/мг.

Если полученное значение массовой концентрации хрома (VI) превышает верхнюю границу диапазона градуировочной характеристики, то пробу анализируемой воды разбавляют так, чтобы значение массовой концентрации хрома в разбавленной пробе воды укладывалось в диапазон градуировочной характеристики, либо анализируют меньший объем пробы.

При разбавлении отбирают аликвоту пробы анализируемой воды ( $V_a$ , см<sup>3</sup>), помещают ее в мерную колбу ( $V_k$ , см<sup>3</sup>) и доводят до метки дистиллированной водой, затем подготавливают разбавленную пробу и проводят измерения оптической плотности.

Массовую концентрацию хрома (VI) в пробе анализируемой воды  $X$ , мг/дм<sup>3</sup>, рассчитывают по формуле

$$X = \frac{C_{\text{хр}} V_{\text{м.к}} f}{V_{\text{пр}}}, \quad (6)$$

где  $C_{\text{хр}}$  – массовая концентрация хрома (VI), мг/дм<sup>3</sup>;  $V_{\text{м.к}}$  – вместимость мерной колбы, использованной для подготовки пробы анализируемой воды (как правило 100 см<sup>3</sup>), см<sup>3</sup>;  $V_{\text{пр}}$  – объем аликвоты пробы анализируемой воды (исходной или разбавленной), см<sup>3</sup>;  $f$  – коэффициент разбавления пробы анализируемой воды, при этом если пробу не разбавляли, то  $f$  принимают равным 1, если разбавляли, то  $f$  рассчитывают по формуле

$$f = \frac{V_k}{V_a}, \quad (7)$$

где  $V_k$  – вместимость мерной колбы, использованной при разбавлении пробы анализируемой воды, см<sup>3</sup>;  $V_a$  – объем аликвоты пробы анализируемой воды, взятый для разбавления, см<sup>3</sup>.

За результат измерений массовой концентрации хрома (VI) принимают среднеарифметическое значение  $X$ , мг/дм<sup>3</sup>, результатов двух параллельных определений  $X_1$  и  $X_2$  при выполнении условия

$$|X_1 - X_2| \leq r,$$

где  $r$  – значение предела повторяемости (см. табл. ниже), мг/дм<sup>3</sup>.

#### 4.2. Метрологические характеристики

Метод обеспечивает получение результатов измерения с метрологическими характеристиками, не превышающими значений, приведенных в табл. 8.1, при доверительной вероятности  $P = 0,95$ .

Таблица 8.1

Массовая доля хрома (мг/дм<sup>3</sup>)

Диапазон измерений массовой концентрации хрома, мг/дм <sup>3</sup>	Предел повторяемости (значение допускаемого расхождения между результатами параллельных определений при $P = 0,95$ ) $r$ , мг/дм <sup>3</sup>	Предел воспроизводимости (значение допустимого расхождения между двумя результатами определений, полученными в условиях воспроизводимости) $R$ , мг/дм <sup>3</sup>	Показатель точности (границы допускаемой абсолютной погрешности при дополнительной вероятности $P = 0,95$ ) $\pm \Delta$ , мг/дм <sup>3</sup>
Сточные и очищенные сточные воды, хром (VI), общий хром			
От 0,025 до 25 включительно	0,005 + 0,15X	0,011 + 0,28X	0,008 + 0,2X

## Контрольные вопросы

1. В чем сущность методов определения содержания хрома (VI), общего хрома и хрома (III)?
2. Какой химический элемент мешает определить хром (VI) и общий хром?
3. В чем различие в подготовке холостой пробы для определения хрома от определения хрома (VI) и общего хрома?
4. Какова формула расчета массовой концентрации хрома (VI)?

## Лабораторная работа 9

### ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

#### 1. Радиоактивность и виды ионизирующих излучений

*Радиоактивность* – это способность ядер некоторых химических элементов самопроизвольно распадаться с образованием ядер новых химических элементов и испусканием ионизирующего излучения.

В настоящее время известно 106 химических элементов. Каждый элемент может иметь несколько изотопов, которые содержат в ядре одинаковое количество протонов, но различное число нейтронов, и одинаковое число электронов в атомной оболочке. Изотопы занимают одно и то же место в периодической системе элементов. Различают стабильные (устойчивые) и нестабильные (радиоактивные) изотопы. Химические элементы, занимающие в периодической системе места с 1-го по 83-е, имеют как стабильные, так и радиоактивные изотопы; например, водород состоит из трех изотопов: двух стабильных ( $^1\text{H}$  протий,  $^2\text{H}$  дейтерий) и одного радиоактивного ( $^3\text{H}$  тритий). Самый тяжелый элемент, имеющий стабильный изотоп, – это висмут (Bi,  $z = 83$ ). Элементы, стоящие в периодической системе после висмута, стабильных изотопов не имеют, например уран состоит из трех радиоактивных изотопов  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ .

Скорость распада радиоактивного изотопа характеризуется *периодом полураспада* ( $T_{1/2}$ ) – это время, за которое распадается половина радиоактивного вещества. Период полураспада не зависит от ко-

личества вещества и всегда постоянен (период полураспада радона  $^{222}\text{Rn}$  3,8 сут, урана  $^{235}\text{U}$  ...  $7 \cdot 10^8$  лет,  $^{238}\text{U}$  –  $4,5 \cdot 10^9$  лет).

Радиоактивный распад имеет статистическую природу; атомные ядра превращаются независимо друг от друга; каждый радионуклид имеет характерную для него вероятность распада. Для отдельного атома нестабильного нуклида нельзя предсказать момент его превращения. Вероятность распада обусловлена свойствами данного вида ядер, т. е. она не зависит от химического и физического состояний радионуклида.

Ионизирующими называют такие излучения, которые, проходя через среду, вызывают ее ионизацию. Помимо ионизации излучения могут вызывать возбуждение молекул среды. Энергию ионизирующего излучения измеряют во внесистемных единицах электронвольтах (эВ),  $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж. Ультрафиолетовое излучение и видимый свет не относят к ионизирующим.

По своей природе *ионизирующее излучение* бывает фотонным и корпускулярным. Фотонное излучение включает  $\gamma$ -излучение и рентгеновское излучение.

*$\gamma$ -излучение* – это фотонное излучение, возникающее при изменении энергетического состояния атомных ядер или аннигиляции частиц (например, электрона и позитрона). Оно обладает высокой проникающей способностью (средний пробег фотонов в воздухе составляет около 100 м, а в биологической ткани – до 10 – 15 см), представляет основную опасность как источник внешнего облучения.

*Рентгеновское излучение* – это фотонное излучение, состоящее из тормозного или характеристического излучения. Под тормозным понимают излучение, возникающее при уменьшении кинетической энергии заряженных частиц, а под характеристическим – возникающее при изменении энергетического состояния электронов атома.

*Корпускулярное излучение* – это ионизирующее излучение, состоящее из частиц с массой, отличной от нуля. Оно бывает следующих видов:

-  *$\beta$ -излучение*, состоящее из электронов или позитронов, испускается при ядерных превращениях. Бета-частицы обладают малым пробегом (несколько метров в воздухе и несколько сантиметров в биологической ткани). Бета-излучатели опасны при проникновении в легкие и желудочно-кишечный тракт как внутренние облучатели;

- *α-излучение*, состоящее из частиц, имеющих строение, аналогичное ядру атома гелия, т. е. из двух протонов и двух нейтронов. Альфа-частицы обладают очень малым пробегом (не более нескольких сантиметров в воздухе и не более 0,1 мм в биологической ткани). Альфа-излучатели опасны при проникновении внутрь организма как источники внутреннего облучения;

- *протонное излучение*, состоящее из протонов;

- *нейтронное излучение*, состоящее из нейтронов.

## 2. Единицы измерения ионизирующих излучений

Активность источника радиационного излучения характеризуется числом ядерных превращений в единицу времени и выражается в беккерелях (Бк): 1 Бк = 1 распад в секунду (внесистемная единица Кюри – Ки =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк).

Поле, создаваемое источником ионизирующего излучения, имеет следующие характеристики:

1. Экспозиционная доза рентгеновского и гамма-излучения  $D_0$  определяется по ионизации воздуха. Она представляет собой отношение суммарного заряда  $dQ$  всех ионов одного знака, созданных в воздухе, когда все электроны и позитроны, освобожденные фотонами в элементарном объеме воздуха массой  $dm$ , полностью остановились, к массе воздуха в указанном объеме:

$$D_0 = dQ/dm,$$

где единица измерения – кулон на килограмм, Кл/кг. Используется и внесистемная единица измерения – рентген, Р (1 Р =  $2,25 \cdot 10^{-4}$  Кл/кг).

2. *Мощность экспозиционной дозы*  $P_0$  – приращение экспозиционной дозы в единицу времени:

$$P_0 = Dd_0/dt,$$

где единица измерения – ампер на килограмм, А/кг. Внесистемная единица – Р/с (1 А/кг = 3,88 Р/с).

Поглощение энергии излучения объектами неживой природы характеризуется следующими параметрами:

1. *Поглощенная доза излучения*  $D$  – это энергия ионизирующего излучения  $dE$ , поглощенная облучаемым веществом и рассчитанная на единицу его массы:

$$D = dE/dm,$$

где единица измерения поглощенной дозы – грей, Гр. Внесистемная единица – рад, 1 Гр = 100 рад = 1 Дж/кг.

2. *Мощность поглощенной дозы*  $P$  – приращение поглощенной дозы излучения  $dD$  в единицу времени:

$$P = dD/dt.$$

При характеристике поглощения облучения биологическими объектами используют следующие понятия:

1. *Эквивалентная доза*  $H$  – основная дозиметрическая величина в области радиационной безопасности, введенная для оценки возможного ущерба здоровью человека от хронического воздействия ионизирующего излучения произвольного состава.

Эквивалентная доза равна произведению поглощенной дозы на средний коэффициент качества  $k$ , учитывающий биологическую эффективность разных видов ионизирующих излучений. Измеряется в зивертах, Зв, внесистемная единица – бэр,  $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$ .

2. *Мощность эквивалентной дозы* – приращение эквивалентной дозы в единицу времени. Единица мощности эквивалентной дозы – Зиверт в секунду, Зв/с,  $1 \text{ Зв/с} = 100 \text{ бэр/с}$ .

3. *Эффективная эквивалентная доза (ЭЭД)*  $H_e$  – сумма произведений эквивалентной дозы, полученной каждым органом  $H_T$ , на соответствующий весовой коэффициент  $W_T$ , учитывающий различную чувствительность органов к излучению. ЭЭД обеспечивает сравнимость и приведение неравномерного облучения тела к такой же оценке его последствий, как и при равномерном облучении:

$$H_e = \sum_{i=1}^T H_T W_T.$$

Эта величина измеряется в зивертах, Зв. Например, доза облучения легких  $1 \text{ мЗв}$  соответствует ЭЭД =  $0,12 \text{ мЗв}$ , т. е. показывает, что при равномерном облучении всего тела дозой  $0,12 \text{ мЗв}$  вероятность риска от облучения такая же, что и при облучении дозой  $1 \text{ мЗв}$  только легких.

### **3. Естественные и антропогенные источники ионизирующих излучений**

Во всех естественных биотопах всегда наблюдается определенный естественный уровень радиации, даже при отсутствии каких-либо технических источников.

Земная поверхность служит источником многих видов излучения, так как она содержит различные природные радиоактивные эле-



менты: уран, торий, радий, актиний и т. д. Кроме того, в почве и воде встречаются два радиоактивных изотопа  $^{40}\text{K}$  и  $^{14}\text{C}$ , которые активно внедряются в живой организм. В результате распада природного урана в атмосферу выделяется промежуточный продукт распада – радиоактивный инертный газ радон  $^{222}\text{Rn}$  и  $^{219}\text{Rn}$ .

Вся биосфера подвергается также воздействию излучений, проходящих из космоса. В состав космического излучения входят протоны (более 90 %),  $\alpha$ -частицы (7 %), ядра тяжелых элементов (1 %). Подавляющая его часть имеет галактическое происхождение, лишь небольшая часть связана с активностью Солнца. Частицы, составляющие галактическое излучение, имеют огромные энергии и, следовательно, обладают большой проникающей способностью. Мощность поглощенной дозы, создаваемая этими частицами, невелика: в космосе она не превышает 0,2 Гр/год, после прохождения через атмосферу снижается до  $3 \cdot 10^{-4}$  Гр/год. Космическое излучение вызывает различные радиационно-химические процессы в верхних слоях атмосферы. По мере приближения к поверхности Земли его роль становится пренебрежительно малой вследствие уменьшения интенсивности излучения.

Антропогенное изменение радиационной обстановки в биосфере связано в основном с ядерными испытаниями, местами захоронения ядерных отходов и объектами ядерной энергетики. В результате антропогенных процессов в биосфере усилились потоки естественных и искусственных радионуклидов, увеличился естественный фон ионизирующих излучений, возросло число зон повышенного радиационного воздействия.

#### **4. Уровни облучения человека в различных условиях**

Человек в нормальных условиях подвергается облучению от малоинтенсивных естественных и техногенных фоновых источников излучения, которые воздействуют извне и изнутри.

На открытой местности на уровне моря и для средних широт среднегодовая ЭЭД, обусловленная внешним космическим излучением, составляет около 0,37 мЗв. ЭЭД от внешних бета- и гамма-источников облучения, содержащихся в земной коре, достигает 0,3 мЗв. Среднегодовая ЭЭД от внутренних бета-, гамма- и альфа-источников облучения естественного происхождения, находящихся в теле чело-

века (в основном радионуклид  $^{40}\text{K}$ , присутствующий в мышечной ткани) и поступающих в организм с воздухом, водой и пищей, равна 0,4 мЗв.

Наиболее значительным источником облучения предстает  $^{222}\text{Rn}$ , относящийся к инертным газам и представляющий собой короткоживущий продукт распада  $^{238}\text{U}$ . Основную часть ЭЭД от радона, равную 1,3 мЗв, человек получает, находясь в закрытом, непроветриваемом помещении. Радон проникает в здания из грунта или выделяется строительными материалами минерального происхождения, содержащими незначительные количества  $^{238}\text{U}$  (гранит, кирпич и т. д.), и в результате улучшившейся изоляции помещений накапливается в них.

Таким образом, средняя эффективная эквивалентная доза, которую человек получает ежегодно от естественных источников излучения различных видов, составляет примерно 2,4 мЗв (рис. 9.1). Значения естественного радиационного фона (мощность эквивалентной дозы) колеблются в зависимости от местности в пределах 0,05 – 0,2 мкЗв/ч. В аномальных местах, где близко к поверхности подходят гранитные массивы или грунты, содержащие повышенные концентрации естественных радионуклидов, вблизи домов, облицованных гранитом, фон достигает 0,4 мкЗв/ч и более высоких уровней.

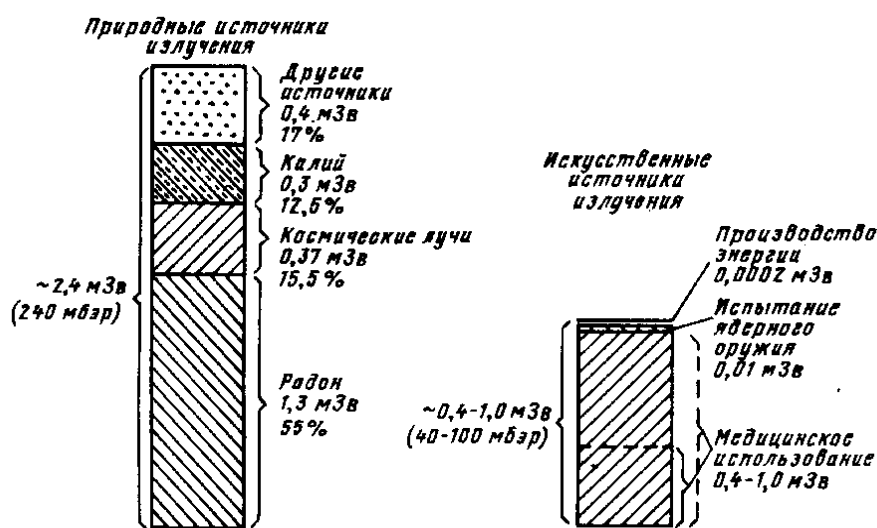


Рис. 9.1. Средние значения эффективных эквивалентных доз облучения, получаемых ежегодно отдельными лицами от природных источников излучения в районах с нормальным фоном и от искусственных источников излучения (по данным Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ))

Радиационный уровень, соответствующий естественному фону 0,1 – 0,2 мкЗв/ч, признано считать нормальным, уровень 0,2 – 0,6 мкЗв/ч считают допустимым, а уровень свыше 0,6 – 1,2 мкЗв/ч с учетом коэффициента экранирования – повышенным.

Пребывание в помещении приводит к ослаблению уровня внешнего облучения. Коэффициент экранирования для каменных домов равен 10, а для деревянных – 2. С другой стороны, здания увеличивают дозы облучения за счет радионуклидов, находящихся в строительных материалах, из которых они построены. Например, в кирпичных и панельных домах мощность дозы в 2 – 3 раза больше, чем в деревянных.

Внешний радиационный фон может быть увеличен в результате научно-технической деятельности человека.

В процессе жизни (во время отдыха, перелетов на самолетах, при медицинских обследованиях) отдельные лица подвергаются или могут подвергаться дополнительному облучению. Значения ЭЭД для различных видов возможного облучения приведены в табл. 9.1 и на рис. 9.1.

*Таблица 9.1*

Эффективные эквивалентные дозы облучения  
от различных источников излучения

Вид облучения	ЭЭД
Просмотр кинофильма по цветному телевизору на расстоянии 2 м от экрана	0,01 мкЗв
Полет в течение 1 ч на самолете, летящем со скоростью ниже скорости звука	4 – 7 мкЗв
Полет в течение 1 ч на сверхзвуковом самолете	10 – 30 мкЗв
Флюорография	0,1 – 0,5 мЗв

Вклад в годовую эффективную эквивалентную дозу облучения радиоактивных выпадений в результате ядерных испытаний не превышает 1 %, от атомной энергетики – менее 0,1 % от естественного фонового облучения.

Таким образом, за всю жизнь (в среднем 70 лет) человек может без большого риска набрать радиацию в 35 бэр.

## 5. Воздействие ионизирующих излучений на живые организмы

Все воздействия ионизирующей радиации на живые организмы можно разбить на две группы: соматические и зародышевые (генетические). Воздействия первой группы затрагивают физиологию особи, подвергшейся облучению, и вызывают различные нарушения, начиная от значительного снижения средней возможности выжить и кончая мгновенной гибелью. Воздействия второй группы влияют на гаметогенез. Многие исследования показали, что клетки в мейозе обладают повышенной чувствительностью к ионизирующей радиации. Это, в частности, объясняет мутагенное воздействие радиации.

В последовательности событий, следующих за облучением биологического материала, можно выделить четыре этапа. *Физический этап* характеризуется фактическим поглощением энергии излучения тканью. Продолжительность физического этапа  $10^{-13}$  с; в течение этого времени энергия передается атомам ткани.

Основная радиохимическая реакция происходит на *втором этапе*, занимающем  $10^{-11} \dots 10^{-9}$  с. За счет энергии излучения в тканях живых организмов образуются ионы и радикалы, обладающие значительной окислительно-восстановительной активностью. В биологических системах это в основном радикалы и ионы, возникающие из молекул воды:  $H^+$ ,  $OH^-$ ,  $HO_2$ . На *третьем этапе*, который длится от  $10^{-6}$  с до нескольких секунд, они взаимодействуют друг с другом и с другими молекулами, находящимися в растворе. Этот процесс можно представить как цепь химических реакций, во время которых повреждаются важные для организма молекулы (белки, нуклеиновые кислоты и т. д.) и образуются биологически вредные продукты реакций.

*Последний (четвертый) этап* занимает от нескольких секунд до нескольких поколений. В этот период активно развивается биологическое повреждение. У человека этот этап связан с ослаблением иммунной системы организма, возникновением лучевой болезни, раковых заболеваний, нарушениями генетического материала, передающимися по наследству.

Таким образом, ясно, что предотвратить биохимическое повреждение возможно лишь в течение очень короткого времени. С помощью различных лекарств и видоизменения физиологического состояния (например, кислородного голодания) у некоторых млекопитающих добились повышенной толерантности к излучениям. Однако не-

редко сами эти лекарства и состояния приводят к повреждениям, и в любом случае используемое средство должно присутствовать в организме в момент облучения. Последующее лечение (в настоящее время) не помогает при радиационном повреждении, если не считать поддерживающей терапии.

## 6. Чувствительность живых организмов к радиации

Сильные дозы радиации вызывают гибель облученных особей. Кривая зависимости числа погибших особей от доз радиации для популяции, подвергшейся экспериментальному облучению, имеет сигмовидную форму (рис. 9.2). Именно по этому графику определяется ЛД<sub>50</sub> – теоретическая доза в радах или бэрах, которая вызывает гибель 50 % особей рассматриваемой популяции через определенный промежуток времени.

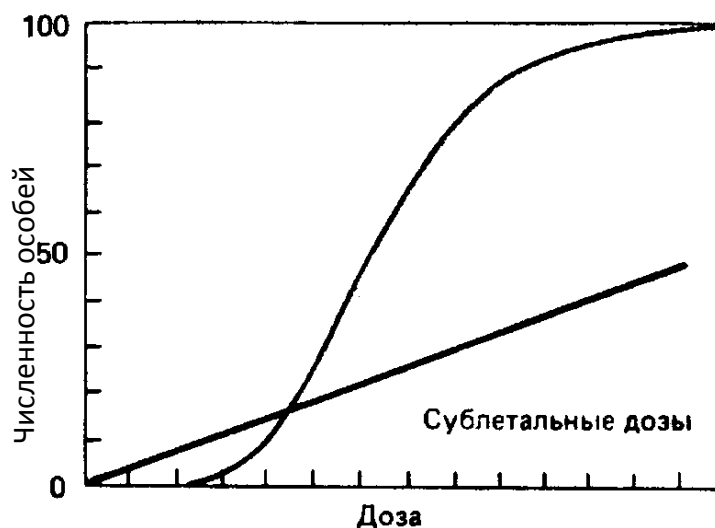


Рис. 9.2. Кривые зависимости «доза – воздействие»

Изучение зависимости числа погибших особей от полученной дозы радиации показывает, что существует порог, ниже которого особи кажутся не пострадавшими. Дозы ниже этого порога называются сублетальными (см. рис. 9.2), однако их нельзя считать безвредными.

Сублетальные дозы оказывают очень значительные соматические и генетические воздействия. В этом смысле в радиобиологии принято различать воздействия сильного, но кратковременного облучения и воздействия длительного или даже постоянного облучения слабыми дозами. Последний случай представляет предмет изучения

экологов, поскольку со слабым облучением связана чаще всего опасность радиоактивного заражения окружающей среды.

Облучение сублетальными дозами ионизирующей радиации имеет такие последствия:

- 1) ослабляет облученный организм, уменьшает его жизнедеятельность (замедление роста, снижение иммунитета организма);
- 2) влияет на демоэкологические характеристики популяции (снижает долголетие и прирост популяции);
- 3) различными способами поражает гены;
- 4) частично оказывает кумулятивное действие, вызывая необратимые эффекты.

Экспериментальное облучение многочисленных видов растений и животных организмов обнаружило большие вариации значений ЛД<sub>50</sub> и огромные колебания чувствительности организмов к облучению. Часовая доза радиации, смертельная для 50 % организмов, составляет 400 бэр для человека, 1000 – 2000 бэр для рыб и птиц, 1000 – 150 тыс. бэр для растений и 100 тыс. бэр для насекомых.

Чувствительность организмов к облучению тем больше, чем выше их организация. Следовательно, наиболее подвержен воздействию радиации человек.

Воздействие радиации на человека зависит от многих факторов: от дозы и ее мощности, т. е. одна и та же доза, но растянутая во времени, оказывает меньшее повреждающее действие, чем единовременная мощная доза; возраста (наиболее подвержены воздействию радиации люди в возрасте до 25 лет); чувствительности к радиации различных органов человеческого тела (наибольшей восприимчивостью обладают кроветворные органы, эпителий кишечника, кожи и сперматогенный эпителий, менее чувствительны мышечная и костная ткани) и т. д.

## **7. Экологические последствия радиационного загрязнения окружающей среды**

Экологическое значение изотопов различно. Радиоактивные вещества с коротким периодом полураспада (менее двух суток) не представляют большой опасности для биотопов (за исключением взрывов), так как сохраняют высокий уровень радиации непродолжительное время. С другой стороны, вещества с очень длинным периодом полураспада (<sup>238</sup>U) также не очень опасны, поскольку они в единицу времени испускают очень слабое излучение.

Таким образом, наиболее опасными радиоактивными элементами считают те, у которых период полураспада изменяется от нескольких недель до нескольких лет. Этого времени достаточно для того, чтобы упомянутые элементы смогли проникнуть в различные организмы и накопиться в пищевых цепях.

Следует отметить, что при одинаковом уровне загрязнения экосистемы радиоактивными веществами более опасными для биоценоза считаются изотопы элементов, которые представляют собой основные составляющие живого вещества (С-14, Р-326, Са-45, J-131 и т. д.). Менее опасны редко встречающиеся радиоактивные вещества, которые слабо или совсем не поглощаются живыми организмами (например, инертный газ радон).

Большую опасность представляют изотопы, по своим химическим свойствам похожие на элементы, активно поглощаемые живыми организмами. Например,  $^{90}\text{Sr}$  (похож на кальций) и  $^{137}\text{Cs}$  (похож на калий) – наиболее опасные изотопы, которые могут отравить окружающую среду, попав в нее в виде отходов атомной промышленности или при выпадении радиоактивных осадков, последовавших за ядерным взрывом в атмосфере. Стронций из-за сходства с кальцием легко проникает в костную ткань позвоночных, тогда как цезий накапливается в мускулах, замещая калий. Так как периоды полураспада этих элементов соответственно равны 28 и 33 годам, они остаются в зараженном организме и могут накапливаться в количествах, способных причинить ущерб здоровью.

Поскольку не существует каких-либо биологических или химических способов ускорить процесс радиоактивного распада, борьба с радиационным загрязнением должна носить предупредительный характер.

## 8. Задания

1. Определить мощность полевой эквивалентной дозы гамма-излучения с помощью дозиметра АНРИ-01-02. Порядок работы с прибором изучить по инструкции. Трижды провести измерения в помещении и на улице (в каждой точке замеры проводят как минимум три раза) и вычислить в обоих случаях среднее арифметическое значение. Исходя из полученных данных, рассчитать, какую дозу получит человек за всю жизнь (за 70 лет, в бэрах), соответствует ли она допустимым нормам.

2. Согласно инструкции к дозиметру измерить загрязненность поверхностей бета-излучающими радионуклидами образцов химических солей, содержащих  $K^+$ , выданных преподавателем. Рассчитать процентное содержание калия в них. Построить график зависимости плотности потока бета-частиц от процентного содержания калия. Объяснить полученные результаты.

## 9. Порядок работы прибора

*1. Измерение мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения.*

Плотно закройте заднюю крышку прибора.

Переведите переключатель режима работы прибора МД в крайнее левое положение.

Включите прибор, нажав кнопку «Пуск/стоп». При этом на цифровом табло должны появиться точки после каждого разряда: 0.0.0.0.

Через несколько секунд измерение закончится, что будет сопровождаться звуковым сигналом, а на цифровом табло фиксируется число с одной запятой, например 0,012.

Это показание прибора будет соответствовать мощности экспозиционной дозы гамма-излучения, измеренной в миллирентгенах в час (мР/ч) (в пересчете на мощность полевой эквивалентной дозы гамма-излучения 0,12 мкЗв/ч).

Для снижения погрешности измерения снятие показаний прибора необходимо произвести в 3 – 5-кратной повторности. Для этого, не выключая прибор, нажмите кнопку «Пуск/стоп».

Все снятые показания записывают в тетрадь. Для получения конечного результата находят среднее арифметическое значение снятых показаний.

Исходя из полученного значения сделать расчет мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения, которую может получить человек в среднем за 70 лет жизни. Сравнить это значение с допустимой величиной, приведенной в теоретической части, и сделать вывод.

*2. Измерение плотности потока бета-излучения с загрязненной поверхности.*

Плотно закройте заднюю крышку прибора.

Переведите переключатель режима работы прибора МД в крайнее левое положение.



Положите прибор плоскостью задней крышки к исследуемой поверхности (на стол без исследуемых солей) и нажмите кнопку «Пуск/стоп». Выполнить измерения и записать показания прибора в тетрадь ( $\varphi_{\text{ф}}$  – фоновое значение).

Откройте заднюю крышку прибора.

Выполните измерение с открытой задней крышкой аналогично предыдущему. Запишите показания прибора ( $\varphi_{\text{ф}} + \varphi_{\text{с}}$ ) – значение плотности потока бета-излучения соли в сумме с фоновым значением.

Для снижения погрешности измерения снятие показаний прибора необходимо произвести в 3 – 5-кратной повторности. Для этого, не выключая прибор, нажмите кнопку «пуск/стоп».

Для получения конечного результата находят среднее арифметическое значение снятых показаний (фоновое значения и соли).

Закройте заднюю крышку прибора, выключите прибор.

Величину плотности потока бета-излучения с поверхности вычислите по формуле

$$\varphi_{\text{с}} = K_{\text{с}} ((\varphi_{\text{ф}} + \varphi_{\text{с}}) - (\varphi_{\text{ф}})), \text{ 1/см}^2 \cdot \text{мин},$$

где  $K_{\text{с}}$  – коэффициент счета прибора,  $K_{\text{с}} = 1$ .

По полученным данным построить график зависимости плотности потока бета-излучения от процентного содержания калия в исследуемых солях. На основании построенного графика сделать вывод.

### Контрольные вопросы

1. Что такое радиоактивность и ионизирующее излучение?
2. Как подразделяют ионизирующие излучения по природе образования?
3. Какие излучения относятся к фотонным и корпускулярным?
4. Что означает понятие «период полураспада»?
5. В чем различие между эффективной и эквивалентной дозами излучений?
6. Каковы естественные и антропогенные источники ионизирующих излучений?
7. Как подразделяют уровни облучения человека в различных условиях?
8. На какие группы можно подразделить воздействия ионизирующей радиации на живые организмы?
9. Что означают понятия «летальная доза», «сублетальная доза» и «ЛД<sub>50</sub>»?

10. Какое воздействие на окружающую среду оказывает радиационное загрязнение?

11. Какие изотопы, поглощаемые из окружающей среды, представляют наибольшую опасность для живых организмов?

## Лабораторная работа 10

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИИ ПОЧВЕННОГО РАСТВОРА

#### 1. Общие теоретические сведения

*Почва* – это поверхностный слой земной коры, который образуется и развивается в результате взаимодействия растений, животных, микроорганизмов, горных пород и является самостоятельной экосистемой.

Почва характеризуется разнообразием биохимических и геохимических процессов. В почве содержатся химические элементы, характерные для геологического развития данного района. Под влиянием жизнедеятельности животных и растительных организмов эти химические элементы энергично перераспределяются. В результате почва представляет собой сложную, многофазную и многокомпонентную систему, содержащую в тех или иных количествах все химические элементы таблицы Д. И. Менделеева (табл. 10.1).

Таблица 10.1

Средний состав литосферы и почв (в процентах)

Элементы	Содержание в литосфере, % (А. П. Виноградов, 1962)	Содержание в почве, % (А. П. Виноградов, 1957)
O	47,00	49,00
Si	29,50	33,00
Al	8,05	7,13
Na	2,50	0,63
Fe	4,65	3,80
Ca	2,96	1,37
Mg	1,87	0,60
K	2,50	1,36
Ti	0,45	0,46

Элементы	Содержание в литосфере, % (А. П. Виноградов, 1962)	Содержание в почве, % (А. П. Виноградов, 1957)
C	0,0023	2,00
P	0,093	0,09
N	0,0019	0,10
Mn	0,10	0,085
S	0,047	0,085
F	0,065	0,02
Cl	0,017	0,01
Ba	0,065	0,05
Sr	0,034	0,03
Cr	0,0083	0,02
V, Zr	0,0017	0,03
Ni, Cu, Li, Zn, Ce, Nb, Co, Y, La, Pb, Th	Содержатся в количестве тысячных долей процента каждый	
Остальные химические элементы	Содержатся в количестве меньше тысячной доли процента каждый	

Различные химические элементы неодинаково ведут себя при почвообразовании. Так, например, кальций и калий, содержание которых в почвах планеты в целом примерно одинаково, обнаруживают различную подвижность в процессе почвообразования. Бóльшая часть кальция активно участвует в почвообразовании, в то время как калий активного участия в этом процессе не принимает.

В качестве основных элементов питания растения поглощают из почвы азот, калий, кальций, магний, железо, серу, фосфор. При этом установлено, что растения могут нормально развиваться только при достаточном количестве всех элементов питания. Для растений имеет значение подвижная часть массы химических элементов, которая может быть ими усвоена. Содержание таких подвижных форм элементов, доступных растениям, невелико по сравнению с общим количеством элементов питания, поэтому некоторые элементы вносятся в почву дополнительно в виде удобрений для повышения урожайности культурных растений. Для нормального развития растений необходи-

мо не только достаточное количество элементов питания, но и их определенное соотношение между собой. Повышенная концентрация какого-либо элемента может нарушать развитие растений. Например, повышенная концентрация кальция ведет к заболеванию картофеля паршой, чего можно избежать, внося в почву калий.

В составе почвы можно выделить несколько групп (помимо воды) химических соединений:

- устойчивые частицы исходной почвообразующей породы – различные минералы и обломки пород;
- соединения, возникшие в процессе почвообразования (перегной, гумус и различные неорганические соединения).

Неорганические соединения представлены преимущественно солями (карбонатами, сульфатами, хлоридами, нитратами, фосфатами) кальция, натрия, калия, магния и алюминия. Кроме того, к ним относят также гидроксиды железа и марганца (отчасти кремния и алюминия) и вторичные силикаты.

В эту же группу включают химические элементы, не образующие самостоятельных соединений, а находящиеся в почве в своеобразном поглощенном состоянии.

При химическом анализе почв широко применяют различные вытяжки – кислотные, солевые и водные. Вытяжкой из почвы называют сумму соединений, растворимых в растворителе, которым воздействуют на почву. Растворителем могут служить вода, растворы щелочей, кислот и солей.

По степени растворимости можно выделить следующие группы химических соединений почвы:

1. *Легкорастворимые соединения.* Сюда относятся хлориды натрия, магния и кальция; бикарбонаты натрия, кальция и магния; карбонаты натрия; сульфаты натрия и магния; нитраты, нитриты и некоторые другие. Соединения этой группы легко растворяются в дистиллированной воде. В табл. 10.2 приведены данные о растворимости некоторых распространенных в почве солей. Кроме перечисленных минеральных солей, в воде растворяются некоторые органические соединения (водорастворимая часть гумуса).

2. *Среднерастворимые соединения* плохо растворяются в воде, но хорошо – в слабых растворах кислот. К этой группе относятся карбонаты кальция и магния, сульфаты кальция и частично гидроксиды железа. Эти соединения растворяются в воде в 1000 раз хуже легкорастворимых

соединений. Карбонаты кальция и магния и сульфат кальция хорошо растворяются в соляной кислоте (концентрация 5 – 10 %); бóльшая концентрация кислоты отрицательно сказывается на растворимости сульфата кальция. Гидроксиды железа растворяются в 5 – 10%-ной соляной кислоте с бóльшим трудом, чем карбонаты и сульфаты.

3. Некоторые химические соединения не растворяются ни в воде, ни в слабых кислотах, но хорошо растворяются в щелочах. Примеры подобных соединений – *гуминовые кислоты* и их соли, *аморфный оксид кремния* и некоторые другие образования. Эти соединения обычно растворяются 10%-ным раствором соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  или однонормальным раствором  $\text{NaOH}$  (едкого натра).

Таблица 10.2

Растворимость некоторых химических соединений

Соли	Концентрация, г/л
Легкорастворимые	
$\text{NaCl}$	264,9
$\text{MgCl}_2$	353,0
$\text{CaCl}_2$	427,0
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	161,0
$\text{MgSO}_4$	262,0
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	178,0
Среднерастворимые	
$\text{CaSO}_4$	2,0
$\text{CaCO}_3$ (в зависимости от содержания $\text{CO}_2$ в атмосфере)	0,06 – 0,09

В ряде случаев почву разлагают сплавлением небольших навесок с карбонатами, обработкой плавиковой кислотой или мокрым сожжением другими кислотами (смесью соляной и азотной кислот, смесью азотной и серной кислот).

Большинство анализов проводят с образцами почвы в воздушно-сухом состоянии, измельченными в ступке и просеянными через сито с отверстиями 1 мм в диаметре. Для этого образец почвы 500 – 1000 г распределяют тонким слоем на листе бумаги и высушивают на воздухе в чистом и сухом помещении. Крупные кусочки почвы раздавливают руками и удаляют корни, камни и др. Органические остатки удобно извлекать наэлектризованной стеклянной палочкой, к которой они прилипают. Часть образца взвешивают на технических весах для

последующего отбора средней пробы. Для некоторых видов анализа нужны образцы почвы, только что взятые в поле без предварительного подсушивания, например при определении нитратов. Среднюю пробу лучше брать квартованием. Просеянную пробу хранят в банках с притертой пробкой, картонных коробках или бумажных пакетах.

Для приготовления водной вытяжки 100 г почвы переносят в широкогорлую склянку вместимостью 750 – 1000 мл, приливают пятикратный объем дистиллированной воды, свободной от углекислого газа. Склянку закрывают пробкой и взбалтывают 5 мин. При исследовании засоленных почв проводят взбалтывание в течение двух часов с последующим отстаиванием в течение суток или только взбалтыванием в течение шести часов. Вытяжку фильтруют через воронку диаметром 15 см с помещенным в нее большим складчатым фильтром. Фильтрат должен быть прозрачным.

Водная вытяжка дает представление о содержании в почве водорастворимых органических и минеральных веществ, состоящих преимущественно из простых солей. Соли, растворимые в воде, могут быть вредны. По степени вредности их располагают в следующем порядке:  $\text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{NaHCO}_3 > \text{NaCl} > \text{CaCl}_2 > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{MgCl}_2 > \text{MgSO}_4$ . Содержание  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (даже 0,005 общей долей %) вызывает гибель растений в засоленной почве. В кислых заболоченных и торфяноболотных почвах вредно для растений избыточное содержание водорастворимых соединений железа (II), марганца, алюминия. Анализ водных вытяжек при выявлении причины засоления почв дополняют анализом грунтовых вод. В табл. 10.3 дана классификация почв по содержанию токсичных солей.

Таблица 10.3

Классификация почв по содержанию токсичных солей

Тип почв в зависимости от засоления	Степень засоления в зависимости от типа (массовые доли %)			
	Хлоридный	Сульфатно-хлоридный	Содово-хлоридный и хлоридно-содовый	Содово-сульфатный и сульфатно-содовый
Незасоленные почвы	0,03	0,05	0,1	0,15
Слабозасоленные почвы	0,10 – 0,30	0,05 – 0,12	0,10 – 0,15	0,13 – 0,20

Тип почв в зависимости от засоления	Степень засоления в зависимости от типа (массовые доли %)			
	Хлоридный	Сульфатно- хлоридный	Содово- хлоридный и хлоридно- содовый	Содово- сульфатный и сульфатно- содовый
Среднезасоленные почвы	0,10 – 0,30	0,12 – 0,35	0,15 – 0,30	0,25 – 0,35
Очень сильно засоленные почвы	0,60	0,70	0,50	0,60

Важнейшее свойство почвы – плодородие, т. е. способность обеспечивать рост и развитие растений. Это свойство представляет исключительную ценность для жизни человека и других организмов. Почва – составная часть биосферы и энергии в природе, она поддерживает газовый состав атмосферы, в ней непрерывно происходят синтез и разрушение органического вещества, круговорот элементов зольного и азотного питания растений, детоксикация поступающих вредных веществ. Основная масса почвы представлена минеральными веществами почвообразующих пород, преобразованных в результате выветривания и почвообразования. Поступающие в почву органические вещества (их источником выступают отмершие части растений, остатки животной массы и продуктов их жизнедеятельности, органические удобрения) под воздействием почвенной микрофлоры подвергаются процессам минерализации и гумификации.

*Минерализация* – окисление органического вещества до конечных продуктов разложения ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ) и простых минеральных солей.

*Гумификация* – совокупность биохимических и физико-химических процессов превращения органических остатков в гумусовые вещества – гумус.

*Гумус* – специфическое высокомолекулярное органическое вещество кислотной природы, образующееся в результате биохимического разложения растительных и животных остатков, которое накапливается в верхнем слое почвы. Гумус – главный источник питания растений. В нем также накапливаются микроэлементы. В процессе эксплуатации почв количество гумуса уменьшается, поэтому необходимо вносить в почвы различные удобрения.

К основным свойствам и режимам почв, определяющим почвенное плодородие, относят:

1) химический состав, который влияет на питательный режим и реакцию среды;

2) физические свойства (пористость, водные характеристики);

3) тепловые условия, характеризующиеся суммой температур выше 10 °С на глубине 0 – 20 см, длительностью вегетационного периода, глубиной промерзания почв;

4) биологические свойства, характеризующиеся уровнем активности микроорганизмов, участвующих в процессах гумификации.

Вода в почве представляет собой почвенный раствор, который содержит минеральные и органические соединения и участвует в процессах почвообразования, перемещения веществ по профилю, служит источником минерального питания растений, оказывает влияние на свойства почвы.

*Буферность почвы* – способность почвы противостоять резким изменениям активной реакции почвенного раствора (суглинистые, глинистые и более богатые гумусом почвы обладают большей буферностью, чем легкие и малогумусные, а внесение органических удобрений повышает буферные свойства почвы).

## 2. Порядок выполнения работы

### Вариант 1

Определите кислотность почвы с помощью биоиндикаторов по табл. 10.4.

Таблица 10.4

Биоиндикаторы кислотности почв

Почва	Биоиндикаторы
Кислые (рН < 5,0)	Белоус, щавель малый, хвощ, клюква, вереск, сфагнум, зеленые мхи, голубика
Слабокислые (рН 5,1 – 5,5)	Ромашка непахучая, манжетка, веник ланцетный, лютик едкий, погребок
Нейтральные, близкие к нейтральным (рН 5,5 – 7,0)	Овсяница луговая, борщевик сибирский, тимopheвка луговая, клевер луговой, лисохвост луговой
Щелочные рН > 7,0	Бузина сибирская, горчица, очиток едкий, бересклет бородавчатый, мать-и-мачеха



## Вариант 2

Определите кислотность почвы с помощью рН-метра или тест-индикатора:

1) небольшое количество почвы размешать с дистиллированной водой и затем провести определение величины рН при помощи универсального индикатора с точностью до 1;

2) часть почвы взболтать с 2 – 3 частями дистиллированной воды, дать смеси отстояться. К 5 см<sup>3</sup> смеси добавить 1 – 2 капли универсального индикатора; полученный цвет сравнить со шкалой.

*Примечание.* Индикатор можно приготовить самостоятельно, для чего взять 4 части 1%-ного спиртового раствора бромтимолового синего, 6 частей насыщенного спиртового раствора метилового красного. Зависимость цвета раствора от рН: рН = 4 – карминово-красный; рН = 5 – киноварно-красный; рН = 6 – жёлто-оранжевый; рН = 7 – салатно-зелёный; рН = 8 – зеленовато-синий.

### Контрольные вопросы

1. Каковы основные биоиндикаторы кислотности почв?
2. Назовите основные биоиндикаторы кислотности для кислых, слабокислых, нейтральных и щелочных почв.
3. Как определить кислотность почвы с помощью рН-метра или тест-индикатора?
4. Как качественно определить содержание карбоната кальция в почве?
5. Как количественно определить содержание карбоната кальция в почве?

### Лабораторная работа 11

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ (CaCO<sub>3</sub>) В ПОЧВЕ

*Качественное определение:* нанести небольшое количество 10%-ной соляной кислоты на почву и пронаблюдать за происходящей реакцией. Для определения содержания CaCO<sub>3</sub> в почве использовать табл. 11.1.

Определение содержания  $\text{CaCO}_3$  в почве

Почва	Содержание $\text{CaCO}_3$ , %	Звуковые эффекты	Визуальные проявления
Некарбонатная	Меньше 0,5	Нет	Нет
Очень слабокарбонатная	0,5 – 1,0	Едва слышны	Нет
Слабокарбонатная	1,0 – 2,0	Умеренно слышны	Едва видимое слабое вскипание
Умеренно карбонатная	2,0 – 5,0	Отчетливо слышны	Вскипание хорошо заметно
Карбонатная	5,0 – 10,0	Легко слышны	Умеренное вскипание, пузырьки размером 3 мм
Сильнокарбонатная	Больше 10	Легко слышны	Сильное вскипание, пузырьки легко различимы, крупные

*Количественное определение* (одним из приведенных ниже способов).

**Первый способ.** В колбе взвесить 25 г почвы, добавить 10 г 10%-ной  $\text{HCl}$ . По окончании реакции колбу взвесить. Потеря веса относится к  $\text{CO}_2$ . Для вычисления  $\text{CaCO}_3$  полученную величину следует умножить на  $25/11 \approx 2,27$ . Результат выразить в процентах к весу почвы.

**Второй способ.** 20 – 25 г почвы и пробирку с  $10 \text{ см}^3$  10%-ной  $\text{HCl}$  поместить в плотно закрытую склянку, присоединенную к объемному газу. Реакцию вызвать путем взбалтывания. Количество  $\text{CaCO}_3$  вычисляют по объему вытесненного  $\text{CO}_2$  (по формуле газового состояния, стандартной кривой).

### Контрольные вопросы

1. Какими методами можно определить содержание карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) в почве?
2. Каковы визуальные проявления и звуковые эффекты определения содержания  $\text{CaCO}_3$  в почве?
3. Каковы количественные методы определения содержания карбоната кальция в почве?

## Лабораторная работа 12 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ

Один из способов определения плодородия почв – использование биоиндикаторов плодородия (табл. 12.1).

*Таблица 12.1*

### Биоиндикаторы луга и леса

Уровень плодородия	Биоиндикаторы	
	Луг	Лес
Очень высокий	Чина луговая, костер безостый, таволга, осока лисья	Малина, крапива, иван-чай, таволга, копытень, кислица
Средний (умеренный)	Овсяница луговая, лисохвост луговой, купальница, вероника длиннолистная	Майник двулистный, медуница, грушанка, гравилат речной
Низкий	Кошачья лапка, белоус, ситник	Сфагновые мхи, черника, брусника, наземные лишайники

### Контрольные вопросы

1. Какова функциональная роль почвы в экосистемах?
2. Каковы основные причины деградации земельных ресурсов?
3. К каким последствиям приводит загрязнение почв?
4. Каковы основные биоиндикаторы луга и леса?
5. Как определить кислотность почвы?
6. Каков средний состав литосферы и почв?
7. Какие элементы питания растений можно назвать основными?
8. Как приготовить водную вытяжку?
9. Что определяет почвенное плодородие?

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

**Задача 1.** Два цеха направляют сточные воды в общий коллектор. Первый сток ( $20 \text{ м}^3/\text{мин}$ ) содержит хлорид кальция с массовой концентрацией  $0,733 \text{ г/л}$ , а второй сток ( $10 \text{ м}^3/\text{мин}$ ) – сульфат калия с концентрацией  $1,185 \text{ г/л}$ . Определите, будет ли (да, нет) при  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  происходить засорение коллектора осадком.

**Задача 2.** Промышленные стоки некоторого предприятия содержат серебро (в виде ионов  $\text{Ag}^+$ ). Перед их сбросом проводится осаждение  $\text{AgCl}$  при  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  и концентрации ионов  $\text{Cl}$ , равной  $0,001 \text{ моль/л}$  (предельно допустимое содержание ионов  $\text{Cl}$  в пресной воде). Какая масса (г) серебра рассеивается в окружающую среду за год работы этого предприятия, если дебит сброса  $1000 \text{ л/сут}$ ? Эффективен ли данный способ очистки?

**Задача 3.** В каком объемном соотношении необходимо смешать кислотные стоки, содержащие  $4,9 \text{ кг/м}^3$  серной кислоты, и щелочные стоки объемом  $56 \text{ кг/м}^3$  для их взаимной нейтрализации?

**Задача 4.** Предприятие сбрасывает азотнокислые стоки в количестве  $150 \text{ м}^3/\text{сут}$ , содержащие  $6,3 \text{ кг/м}^3$  азотной кислоты. Какое количество извести необходимо для нейтрализации кислотных стоков? Товарный продукт содержит  $50 \%$   $\text{CaO}$ .

**Задача 5.** Сточные воды содержат  $7,4 \text{ кг/м}^3 \text{ Ca(OH)}_2$ , объем стоков составляет  $20 \text{ м}^3$ . Какой объем соляной кислоты, концентрация которой равна  $7 \text{ г/л}$ , требуется для их полной нейтрализации?

**Задача 6.** Сточные воды, содержащие хлорид железа (III), обрабатывают  $0,1 \text{ н}$  раствором  $\text{NaOH}$ . Объем щелочи равен  $50 \text{ м}^3$ . Вычислите, сколько килограммов гидроксида железа перейдет в осадок.

**Задача 7.** Сточные воды одного из цехов содержат  $12,6 \text{ кг/м}^3$  хлорида марганца. Объем стоков равен  $200 \text{ м}^3$ . Для осаждения марганца используется  $1 \text{ н}$  раствор щелочи. Определите объем раствора щелочи, необходимый для осаждения марганца.

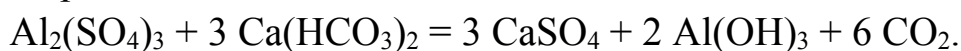
**Задача 8.** Сточные воды травильного цеха содержат  $4,9 \text{ г/л}$  серной кислоты и  $7,6 \text{ г/л}$  сульфата железа (II). Определите необходимое для нейтрализации кислоты и осаждения железа количество извести ( $\text{CaO}$ ), учитывая, что в товарном продукте содержится  $50 \%$  оксида кальция. Обработке подвергается  $400 \text{ м}^3$  сточных вод.

**Задача 9.** При анализе сточной воды к пробе объемом 100,0 мл<sup>3</sup> добавили 25,00 мл 0,02 М BaCl<sub>2</sub> ( $K = 0,9816$ ) при нагревании. Избыток хлорида бария оттитровали в присутствии аммонийного буфера, содержащего комплексонат магния и эриохром черный Т, затратив 17,00 мл 0,02 М ЭДТА ( $K = 1,018$ ). Вычислить концентрацию ионов SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (г/л).

**Задача 10.** На химкомбинате в резервуар с питьевой водой из плохо упакованного пакета высыпалось 3,5 кг гидроксида бария, полностью перешедшего в раствор. Специалисты СЭС предложили очистить питьевую воду с помощью серной кислоты. Какую массу серной кислоты необходимо взять, если имеется 60%-ный раствор?

**Задача 11.** С целью обнаружения фенола в промышленных сточных водах используют его способность образовывать окрашенные комплексные соединения с некоторыми неорганическими веществами. Назовите эти вещества. Приведите примеры производств, сбрасывающих в воду отходы, содержащие фенол. Как его можно обезвредить?

**Задача 12.** При очистке воды проводят коагуляцию коллоидных примесей добавлением к воде сульфата алюминия. Образующийся хлопьевидный гидроксид алюминия вызывает осаждение коллоидных частиц. Объясните образование гидроксида алюминия в результате реакции, происходящей в жесткой воде:



**Задача 13.** Общая жесткость волжской воды равна 6,52 ммоль/л, а временная – 3,32 ммоль/л. Какую массу Ca(OH)<sub>2</sub> и MgCO<sub>3</sub> надо взять, чтобы устранить жесткость 5 л воды?

**Задача 14.** Общие требования к составу и свойствам водных объектов хозяйственно-питьевого водопользования (ГОСТ 17.1.1.01-77) включают в себя следующие показатели качества:

- а) реакция среды не должна выходить за пределы pH 6,5 – 8,5;
- б) минеральный состав (в том числе хлоридов – не более 350 мг/л, сульфатов – не более 500 мг/л по сухому остатку);
- в) содержание взвешенных веществ, плавающих примесей и ряд других.

Освобождение воды от придающих ей мутность и окраску грубодисперсных и коллоидных примесей, физико-химические свойства которых не позволяют их удалить методом безреагентного отстаивания или фильтрования, проводят методом коагуляции. Примеси, содержащиеся в воде, коагулируют добавлением к ней минеральных солей, дающих при диссоциации катионы с большим положительным зарядом (так называемые коагулянты). Процесс, который известен под названием «коагулирование воды», состоит из трех стадий: образования разбавленных золей (коллоидных растворов) труднорастворимых соединений катионов; взаимодействия этих золей с коллоидными и взвешенными частицами самой воды; процесса хлопьеобразования и удаления из воды образовавшихся агрегатов. В качестве коагулянтов применяют в основном соли алюминия и железа. Сульфат алюминия – один из наиболее часто используемых коагулянтов, так как добывается в природе в виде глинозема сернокислого неочищенного. Однако использование его имеет ряд недостатков: наличие нерастворимых примесей и обогащение воды сульфат-ионами, которые не удаляются из нее даже при кипячении.

1. Какие труднорастворимые соединения алюминия образуют золи, если использовать в качестве коагулянта сульфат алюминия? Напишите уравнения реакций образования этих соединений.

2. Оцените, при каких значениях рН достигается полнота осаждения соединений, указанных вами в п. 1. Ответ обоснуйте.

3. Почему процесс образования труднорастворимых соединений замедляется и происходит не в полной мере?

4. Предложите не менее двух принципиально различных методов, каким образом, не отказываясь от использования для коагуляции воды ионов алюминия, избежать обогащения воды какими-либо анионами. Напишите уравнения реакций, лежащих в основе предложенных вами методов, и укажите их условия.

**Задача 15.** Оцените качество воды проб № 1340 – р. Амур и № 1341 – ГОСВ (городские очистные сооружения водопровода). Дата и время отбора: проба № 1340 – 19.05.06 г. в 10.00, проба № 1341 – 19.05.06 г. в 11.00. Дата и время доставки: проба № 1340 – в 10.30, проба № 1341 – в 11.30 (табл. 1).

## Пробы воды реки Амур

Показатель	ПДК для питьевой воды (СанПиН 2.1.4.1074-01)	Предел обнаружения	Проба № 1340 р. Амур	Проба № 1341 (после ГОСВ)
Бензол, мг/л	0,01	0,005	Меньше 0,005	0,005
Толуол, мг/л	0,5	0,005	Меньше 0,005	Меньше 0,005
Пестициды (гексахлорбензол), мг/л	0,001	0,00005	Меньше 0,00005	Меньше 0,00005
Фенолы летучие, мг/л	0,001	0,0005	0,0009	Меньше 0,0005
Железо, мг/л	0,3	ОД	2,0	Меньше 0,10
Нитраты, мг/л	45	0,1	1,5	1,4

**Задача 16.** ПДК хлора в питьевой воде 0,5 мг/л. В источнике А оказалась концентрация хлора 0,9 мг/л, а в источнике Б – 0,2 мг/л. Какую воду пить можно, а какую нельзя?

**Задача 17.** Вычислите общую, карбонатную и некарбонатную жесткости воды, если на титрование двух ее проб по 100 мл каждая израсходовано: на первую – 8,2 мл 0,05 н раствора трилона Б, на вторую – 2,8 мл 0,1 н HCl.

**Задача 18.** В 10 л воды содержится 0,41 г  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  и 0,91 г  $\text{MgSO}_4$ . Определите карбонатную, некарбонатную и общую жесткость воды.

**Задача 19.** Насколько понизится жесткость воды (кальциевая), если к 3 м<sup>3</sup> прибавить 477 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ?

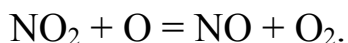
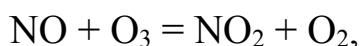
**Задача 20.** Какую массу негашеной извести следует прибавить к 10 л воды для устранения временной жесткости, равной 5 мэкв/л? Напишите уравнение реакции.

**Задача 21.** Рассчитайте общую жесткость минеральной воды, содержащей 70 мг/дм<sup>3</sup>  $\text{Ca}^{2+}$  и 36 мг/дм<sup>3</sup>  $\text{Mg}^{2+}$ .

**Задача 22.** В 1 м<sup>3</sup> воды содержится 140 г сульфата магния. Вычислите жесткость этой воды.

**Задача 23.** Космический корабль выбрасывает в атмосферу 7 т оксидов азота. Одна молекула оксида азота уничтожает десять молекул озона.

Взаимодействие идет по реакциям



Рассчитайте, сколько тонн озона уничтожит такой выброс оксидов азота, если в реакциях участвует всё выброшенное кораблем вещество.

**Задача 24.** На нефтеперерабатывающем заводе произошёл аварийный сброс нефтепродуктов в количестве 500 кг в ближайшее озеро. Выживут ли рыбы, обитающие в озере, если известно, что примерная масса воды равна 10 000 т, а токсическая концентрация нефтепродуктов для рыб составляет 0,05 мг/л?

**Задача 25.** Самое дешёвое вещество, снижающее кислотность растворов, – известняк  $\text{CaCO}_3$ . Рассчитайте, какое минимальное его количество потребуется для обработки 1000 м<sup>3</sup> сточной воды с рН = 4, направляемой на биоочистку, если оптимальное значение рН для деятельности бактерий составляет 6 – 7 единиц.

**Задача 26.** По имеющимся данным при жарке 1 кг мяса в воздух попадает  $190 \times 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup> бенз(а)пирена; 100 г полукопченой колбасы содержит от 120 до  $450 \times 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup>, окорока – до  $3000 \times 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup>, а с одной сигаретой человек вдыхает до  $80 \times 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup> бенз(а)пирена, который всегда сопутствует копченым и жареным продуктам. Оцените объем кухни в вашем доме. Какая концентрация бенз(а)пирена может быть на кухне при жарке 1 кг мяса? Какие меры следует предпринять, чтобы уменьшить концентрацию? Какие виды кулинарной обработки продуктов более предпочтительны во избежание канцерогенной опасности? Сопоставьте ориентировочно канцерогенную опасность, связанную с поступлением бенз(а)пирена в организм при питании, курении и пребывании на перекрестке с интенсивным движением.

**Задача 27.** Вашему предприятию требуется определить класс опасности для сухих золошлаковых отходов следующего состава: породообразующие –  $\text{SiO}_2$  (63,6 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (18,6 %),  $\text{MgO}$  (2,1 %),  $\text{K}_2\text{O}$  (1,1 %),  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,5 %), ангидрит  $\text{CaSO}_4$  (2,2 %), оксиды железа (0,9 %), углерод С (10,9 %); микроэлементы – ванадий (187 мг/кг), кадмий (1,5 мг/кг), кобальт (15 мг/кг), марганец (430 мг/кг), медь (64 мг/кг), мышьяк (51 мг/кг), никель (57 мг/кг), ртуть (0,2 мг/кг), свинец (13 мг/кг),



хром (100 мг/кг), цинк (49 мг/кг). Самостоятельно найдите методики и рассчитайте.

**Задача 28.** Отходы вашего предприятия состоят из компонентов:  $\text{CuO}$  (28 %),  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (14 %),  $\text{CaSO}_4$  (58 %). Определите класс опасности на основе известных методик.

**Задача 29.** Предприятие, расположенное в Российской Федерации (табл. 2), отводит запылённые выбросы через вентиляционную шахту высотой  $H$  с диаметром устья  $D$ . Объём выбрасываемого воздуха  $V = 2000 \text{ м}^3/\text{ч} = 5,55 \text{ м}^3/\text{с}$ , предельно допустимая концентрация пыли в атмосферном воздухе составляет  $C_{\text{пдк}} = 0,5 \text{ мг}/\text{м}^3$  (пыль нетоксичная). Очистка воздуха в пылеулавливающих установках составляет менее 75 % ( $E = 3$ ). Фонового загрязнения вокруг предприятия нет. Определите величину предельно допустимого выброса в соответствующую предельно допустимую концентрацию пыли в устье выбросной шахты.

Таблица 2

Исходные данные для задания

№ п/п	Регион	Высота $H$ , м	Диаметр устья $D$ , м	Очистка, %	Объём воздуха $V$ , $\text{м}^3/\text{с}$	Концентрация пыли $C_{\text{пдк}}$ , $\text{мг}/\text{м}^3$	Концентрация фонового загрязнения $C_{\text{ф}}$ , $\text{мг}/\text{м}^3$
1	Средняя Азия	25	0,5	90	8,28	0,5	0,15
2	Казахстан	26	0,6	91	8,29	0,5	0,15
3	Нижнее Поволжье	27	0,7	92	8,30	0,5	0,15
4	Кавказ	28	0,8	93	8,31	0,5	0,15
5	Молдова	29	0,9	94	8,32	0,5	0,15
6	Украина	30	1,0	95	8,33	0,5	0,15
7	Кавказ	31	1,1	90	8,34	0,5	0,15
8	Урал	25	0,5	91	8,28	0,5	0,15
9	Среднее Поволжье	26	0,6	92	8,29	0,5	0,15

## ОБЩИЙ ТЕСТ ПО КУРСУ

1. Что понимают под термином «экология»?
  - а) степень загрязненности окружающей среды;
  - б) науку о динамическом взаимодействии живых организмов друг с другом и окружающей средой.
  
2. Когда состоялась первая конференция ООН по охране окружающей среды и развитию?
  - а) в 1967 г. в Бонне;
  - б) в 1972 г. в Стокгольме;
  - в) в 1981 г. в Мадриде;
  - г) в 1975 г. в Осло.
  
3. Основным итогом 1-й конференции ООН по охране окружающей среды и развитию считается...
  - а) констатация существования экологического кризиса;
  - б) принятие стратегии «устойчивого развития» человечества;
  - в) принятие закона об охране окружающей среды;
  - г) подписание Конвенции о предотвращении разрушения озонового слоя Земли.
  
4. Вторая конференция ООН по окружающей среде и развитию состоялась:
  - а) в 1992 г. в Рио-де-Жанейро;
  - б) в 1982 г. в Буэнос-Айресе;
  - в) в 1987 г. в Мехико;
  - г) в 1993 г. в Лиме;
  - д) в 1983 г. в Дрездене.
  
5. Основным итогом 2-й конференции ООН по охране окружающей среды и развитию считается:
  - а) констатация существования экологического кризиса;
  - б) принятие стратегии «устойчивого развития» человечества;
  - в) принятие Закона об охране окружающей среды;
  - г) подписание Конвенции о предотвращении разрушения озонового слоя Земли.
  
6. «Устойчивое развитие» человеческого общества – это:
  - а) отсутствие прогресса;
  - б) развитие без ущерба для будущих поколений;
  - в) равенство смертности и рождаемости;
  - г) компенсация роста населения за счет увеличения потребления природных ресурсов.

7. Модель «устойчивого развития» человечества предполагает равенство следующих приоритетов:

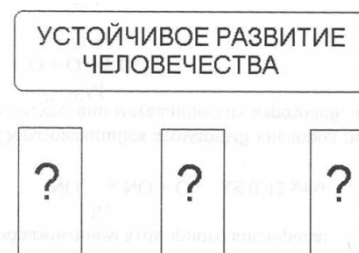
- а) экологических, политических, научных;
- б) экологических, экономических, социальных;
- в) экономических, военных, корпоративных;
- г) экономических, военно-политических, информационных.

8. Каков признак «неустойчивости» современной модели развития человечества?

- а) деградация свойств окружающей среды;
- б) неадекватность экономической системы целям устойчивого развития человечества;
- в) несправедливость социальных структур общества;
- г) всё перечисленное.

9. Выберите правильный вариант подписей к рисунку:

- а) обороноспособность, инвестиции, капитал;
- б) благосостояние, технологии, бизнес;
- в) экономика, экология, социология;
- г) ресурсы, политика, наука.



10. Воздействуют ли живые организмы на окружающую среду?

- а) да;
- б) нет.

11. Распространяются ли законы экологии на человеческое общество?

- а) да;
- б) нет.

12. Экология – не комплексная наука. Так ли это?

- а) да;
- б) нет.

13. Основной принцип экологии:

- а) надо заботиться о природе;
- б) надо заботиться о будущем человечества;
- в) природа – наш дом;
- г) всё связано со всем.

14. Впервые термин «экология» употребил:

- а) Ч. Дарвин в 1859 г.;
- б) В. Вернадский в 1928 г.;
- в) Э. Геккель в 1866 г.;
- г) Ж. Ламарк в 1802 г.

15. Особенность экологии среди других наук – ...
- а) забота о природе;
  - б) учёт моральных принципов общества;
  - в) системный подход;
  - г) обеспокоенность за будущее человечества.
16. Биоценоз и экосистема – тождественные понятия?
- а) да;
  - б) нет.
17. Биосфера – это...
- а) всё живое на Земле;
  - б) вся поверхность суши и водоёмы до глубины 100 м;
  - в) область распространения живых организмов на Земле;
  - г) вся поверхность Земли и окружающее космическое пространство.
18. Скопление кальция в земной коре связано с реализацией функции живого вещества:
- а) газовой;
  - б) энергетической;
  - в) концентрационной;
  - г) окислительно-восстановительной.
19. Согласно принципу эмерджентности экосистема обладает набором свойств, равным сумме свойств, входящих в неё подсистем. Так ли это?
- а) да;
  - б) нет.
20. Благодаря каким особенностям живое вещество выполняет функции регулятора биосферы?
- а) благодаря заключённой в живом веществе огромной энергии;
  - б) высокой скорости химических реакций;
  - в) способности к эволюционным изменениям;
  - г) всему перечисленному.
21. Продуценты и автотрофы – это одни и те же организмы?
- а) да;
  - б) нет.
22. Консументы существуют за счёт фотосинтеза?
- а) да;
  - б) нет.
23. Какое органическое вещество синтезируется в процессе фотосинтеза?
- а) кислород;
  - б) водород;
  - в) глюкоза;
  - г) фосфолипаза;
  - д) акролеин.

24. КПД фотосинтеза в среднем составляет ... %:
- а) около 1;
  - б) около 10;
  - в) около 20;
  - г) около 30;
  - д) около 40.
25. Редуценты – это:
- а) грибы и бактерии;
  - б) вирусы и бактерии;
  - в) грибы, бактерии и насекомые;
  - г) растения.
26. Редуценты и гетеротрофы – это одни и те же организмы?
- а) да;
  - б) нет.
27. Редуценты и сапрофиты – это одни и те же организмы?
- а) да;
  - б) нет.
28. Откуда берут энергию консументы?
- а) непосредственно из солнечной энергии;
  - б) вырабатывают сами;
  - в) из употребляемого в пищу органического вещества;
  - г) из воды и воздуха.
29. Что такое биогены?
- а) химические элементы, из которых состоят живые организмы;
  - б) отрезки молекулы ДНК, несущие наследственную информацию;
  - в) биологически активные вещества органического происхождения.
30. За счёт какого процесса клетки консументов получают энергию и биогены для жизнедеятельности?
- а) за счёт фотосинтеза;
  - б) клеточного дыхания;
  - в) ядерного деления;
  - г) термоядерного синтеза.
31. Взаимодействие продуцентов, консументов и редуцентов в рамках экосистемы обеспечивает:
- а) круговорот вещества;
  - б) круговорот вещества и энергии;
  - в) круговорот энергии;
  - г) круговорот вещества, энергии и информации.
32. Сколько трофических уровней может быть в экосистеме?
- а) четыре;
  - б) девять;
  - в) двенадцать;
  - г) пятнадцать.

33. Доминантными в экологических сообществах называются виды:

- а) редко встречающиеся в биоценозе;
- б) сохраняющиеся при смене биоценоза;
- в) высокие растения и крупные животные;
- г) самые массовые;
- д) интродуценты.

34. Биомасса каждого последующего трофического уровня в наземной экосистеме составляет от предыдущего ... %:

- а) 10;
- б) 30;
- в) 50;
- г) 60.

35. Чем сложнее трофическая сеть, тем экосистема устойчивее к воздействию возмущающих факторов. Так ли это?

- а) да;
- б) нет.

36. В пищевой цепи «растительный опад – личинка насекомого – лягушка – гадюка» детритофаг – это...

- а) растительный опад;
- б) личинка насекомого;
- в) лягушка;
- г) гадюка.

37. Какой из перечисленных видов взаимодействия организмов относится к пищевым отношениям?

- а) комменсализм;
- б) паразитизм;
- в) конкуренция;
- г) мутуализм.

38. Совместное существование организмов двух разных видов, при котором один из партнеров или оба приобретают возможность выигрыша в борьбе за существование, называется:

- а) паразитизм;
- б) комменсализм;
- в) конкуренция;
- г) симбиоз.

39. Взаимоотношения между двумя видами, когда один вид получает преимущества за счет другого, не нанося ему никакого ущерба, называются:

- а) паразитизм;
- б) мутуализм;
- в) комменсализм;
- г) аменсализм.

40. Форма антибиоза, при которой один из совместно обитающих видов угнетает другой, не получая от этого ни вреда, ни пользы называется:

- а) паразитизм;
- б) мутуализм;
- в) комменсализм;
- г) аменсализм.

41. Взаимовыгодные отношения между видами организмов называются:

- а) паразитизмом;
- б) хищничеством;
- в) мутуализмом;
- г) нейтрализмом.

42. Относится ли конкуренция к пищевым отношениям?

- а) да;
- б) нет.

43. Как человечество воздействует на круговорот углерода?

- а) никакого воздействия не происходит;
- б) увеличивается скорость поглощения и уменьшается скорость выделения углекислого газа;
- в) увеличивается скорость выделения и уменьшается скорость поглощения углекислого газа.

44. 49,90 % глобальной азотфиксации осуществляется:

- а) в атмосфере во время грозы;
- б) почвенными бактериями и сине-зелёными водорослями;
- в) во время пожаров;
- г) на заводах по производству азотных удобрений.

45. Атмосферный азот включается в круговорот азота благодаря деятельности:

- а) нитратных бактерий;
- б) хемосинтезирующих бактерий;
- в) азотфиксирующих бактерий;
- г) денитрифицирующих бактерий.

46. Последовательная смена одного биоценоза другим на определенной территории называется:

- а) сукцессией;
- б) биоритмом;
- в) редукцией;
- г) гомеостазом.

47. Как ещё называется закон лимитирующего фактора?

- а) законом Шелфорда;
- б) законом Маковского;
- в) законом Вернадского;
- г) законом Либиха;
- д) законом Быковского.

48. Могут ли тяжелые металлы оказывать положительное действие на живые организмы?

- а) да;
- б) нет.

49. На организм действуют два фактора. Значение одного лежит в зоне комфорта, другого – в зоне стресса. Каково будет общее самочувствие организма?

- а) хорошее;
- б) среднее;
- в) плохое.

50. Совокупность всех факторов среды, в пределах которых возможно существование вида в природе, называется:

- а) биотопом;
- б) экологической нишей;
- в) биосферой;
- г) экосистемой.

51. Сохранение биоразнообразия необходимо:

- а) для повышения продуктивности сельского хозяйства;
- б) разработки методов биологической борьбы с сельскохозяйственными вредителями;
- в) поиска новых лекарственных веществ;
- г) всего перечисленного.

52. Видовой состав экосистемы в процессе сукцессии:

- а) непрерывно меняется;
- б) остаётся неизменным.

53. Чем обусловлен механизм адаптации вида к изменениям окружающей среды?

- а) выработкой новых условных рефлексов;
- б) стабильностью генофонда и изменением поведения;
- в) изменчивостью генофонда и естественным отбором.

54. Большая численность популяции – это фактор:

- а) облегчающий адаптацию организмов к изменениям окружающей среды;
- б) затрудняющий адаптацию организмов к изменениям окружающей среды;
- в) не влияющий на адаптацию организмов к изменениям окружающей среды.

55. Высокая скорость воспроизводства – это фактор:

- а) облегчающий адаптацию организмов к изменениям окружающей среды;
- б) затрудняющий адаптацию организмов к изменениям окружающей среды;
- в) не влияющий на адаптацию организмов к изменениям окружающей среды.



56. Чем могут быть обусловлены вспышки численности отдельных популяций?

- а) резким снижением сопротивления среды;
- б) резким увеличением биотического потенциала.

57. Насекомые способны быстрее адаптироваться к изменениям окружающей среды, чем млекопитающие, потому что:

- а) имеют меньшие размеры;
- б) имеют больше врагов;
- в) имеют быструю смену поколений.

58. Химические вещества, используемые для борьбы с насекомыми, называются:

- а) гербицидами;
- б) инсектицидами;
- в) фунгицидами;
- г) дератицидами.

59. Химические вещества, используемые для борьбы с растениями, называются:

- а) гербицидами;
- б) инсектицидами;
- в) фунгицидами;
- г) дератицидами.

60. Химические вещества, используемые для борьбы с грызунами, называются:

- а) гербицидами;
- б) инсектицидами;
- в) фунгицидами;
- г) дератицидами.

61. Химические вещества, используемые для борьбы с грибами, называются:

- а) гербицидами;
- б) инсектицидами;
- в) фунгицидами;
- г) дератицидами.

62. Каково принципиальное отличие хозяйственной деятельности человека от принципов функционирования экосистем?

- а) нет круговорота веществ;
- б) нестабильна популяция;
- в) неустойчивый источник энергии;
- г) всё перечисленное.

63. Время экспозиции для максимально разовой ПДК составляет:

- а) 2 – 3 с;
- б) 20 – 30 с;
- в) 20 – 30 мин;
- г) 2 – 3 ч.

64. Время экспозиции среднесуточной ПДК составляет:
- а) час;
  - б) сутки;
  - в) месяц;
  - г) год;
  - д) время средней продолжительности жизни.
65. Время экспозиции для ПДК в рабочей зоне составляет:
- а) время средней продолжительности жизни;
  - б) 41 ч в неделю в течение всего рабочего стажа;
  - в) 36 ч в неделю в течение всей жизни;
  - г) 52 ч в неделю в течение 10 лет работы.
66. Величина какого норматива, как правило, больше?
- а) ПДК максимально разовая;
  - б) ПДК среднесуточная;
  - в) ПДК среднесуточная для курортов.
67. Какой критерий лежит в основе определения ПДК на промышленной площадке?
- а) безвредность для персонала;
  - б) безвредность для окружающей среды;
  - в) безвредность для оборудования;
  - г) эффективность работы приточной вентиляции;
  - д) эффективность работы вытяжной вентиляции.
68. К какому типу нормативов относится ПДК в рабочей зоне?
- а) экологическому;
  - б) санитарному;
  - в) административному;
  - г) технологическому.
69. Пороговый уровень воздействия загрязнителя воздуха на живые организмы зависит ...
- а) от концентрации, экспозиции и индивидуальных особенностей организма;
  - б) концентрации, экспозиции и агрессивности вещества;
  - в) концентрации и экспозиции;
  - г) только концентрации.
70. Как температурная инверсия атмосферы влияет на степень загрязнения воздуха?
- а) увеличивает степень загрязнения;
  - б) уменьшает степень загрязнения;
  - в) не влияет на степень загрязнения.

71. Как называется слой воздуха, препятствующий рассеянию выбросов в атмосфере?

- а) экранирующий слой;
- б) отражающий слой;
- в) инверсионный слой;
- г) антидиссипативный слой.

72. Вторичные загрязнители воздуха образуются:

- а) в атмосфере;
- б) источнике выбросов;
- в) организме человека.

73. Норматив ПДВ загрязняющих веществ для предприятий устанавливается:

- а) на основе расчёта приземной концентрации на границе жилой зоны;
- б) основе существующих стандартов на выбросы;
- в) основе директивных указаний органов экологического контроля;
- г) основе директивных указаний органов санитарно-эпидемиологического контроля.

74. Чем обусловлен «парниковый эффект»?

- а) разрушением озонового слоя атмосферы;
- б) непрозрачностью некоторых газов для ИК-излучения;
- в) увеличением запыленности атмосферы;
- г) способностью некоторых газов отражать УФ-излучения.

75. К парниковым газам относятся:

- а) азот;
- б) кислород;
- в) углекислый газ;
- г) все перечисленные.

76. Чем определяется «парниковый потенциал» каждого «парникового газа»?

- а) способностью реагировать с озоном;
- б) размером молекулы и коэффициентом диффузии;
- в) эффективностью поглощения ИК-излучения и временем жизни в атмосфере.

77. Считается, что последствием потепления климата будет:

- а) подъем уровня мирового океана;
- б) изменение видового состава экосистем;

- в) смещение дождевых поясов;
- г) все перечисленное.

78. Где сильнее ощущается потепление климата?

- а) в полярных широтах;
- б) умеренных широтах;
- в) на экваторе.

79. Как называется документ, устанавливающий обязательства различных стран по снижению выбросов «парниковых» газов?

- а) Киотский протокол;
- б) Гаагский протокол;
- в) Монреальский протокол;
- г) Берлинский протокол;
- д) Венский протокол.

80. На сколько процентов должны быть снижены общемировые выбросы парниковых газов к 2012 г. по отношению к 1990 г. согласно Киотскому протоколу?

- а) 5;
- б) 7;
- в) 10;
- г) 12;
- д) 0.

81. Озоновый слой расположен:

- а) в нижней стратосфере;
- б) нижней тропосфере;
- в) верхней мезосфере;
- г) верхней ионосфере.

82. Как образуется озоновый слой?

- а) озон вырабатывается бактериями и поднимается с поверхности Земли;
- б) озон образуется во время грозы и затем поднимается в нижнюю стратосферу;
- в) озон образуется во время извержения вулканов и затем поднимается в нижнюю стратосферу;
- г) озон образуется непосредственно в нижней стратосфере из молекулы и атома кислорода;
- д) все варианты верны.

83. Значение озонового слоя для биосферы Земли заключается в том, что он:

- а) задерживает радиоактивные частицы;
- б) поглощает основную часть УФ-излучения;

- в) создает защитное магнитное поле;
- г) препятствует диффузии кислорода в космическое пространство.

84. К озоноразрушающим веществам относится:

- а) углекислый газ;
- б) ароматические углеводороды;
- в) метан;
- г) хлорфторуглероды.

85. Где использовались до запрещения озоноразрушающие вещества:

- а) при пожаротушении;
- б) в холодильниках и кондиционерах;
- в) при промывке электронных плат;
- г) все перечисленное.

86. Озоновые «дыры» чаще появляются:

- а) весной в приполярных областях;
- б) летом в средних широтах;
- в) зимой на экваторе;
- г) осенью в средних широтах.

## ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ

1. Загрязнение атмосферного воздуха токсичными компонентами отработанных газов транспортных двигателей.
2. Воздействие инфраструктуры дорожно-транспортного комплекса на окружающую среду.
3. Отходы предприятий транспортного комплекса и их влияние на окружающую среду.
4. Экологические проблемы, связанные с эксплуатацией автотранспорта.
5. Воздействие транспортного шума на здоровье населения.
6. Физические факторы воздействия на человека и окружающую среду.
7. Загрязнение окружающей среды АЗС г. Владимира.
8. Проблемы загрязнения почв и водотоков нефтепродуктами.
9. Влияние дорожно-транспортного комплекса на экологические системы.
10. Воздействие газовых выбросов автотранспорта на здоровье человека.
11. Защита окружающей среды от загрязнений, связанных с дорожно-транспортным комплексом.
12. Альтернативное топливо для автомобильного транспорта.
13. Современные методы и системы очистки отработавших газов автомобильных двигателей.
14. Основные методы очистки поверхностных и сточных вод от нефтепродуктов.
15. Экологическая политика в регионе по снижению вредного воздействия автотранспорта на окружающую среду.
16. Защита селитебной части города Владимира от вредного воздействия автотранспорта.
17. Контроль загрязнения атмосферного воздуха в городах.
18. Стандартизация в области защиты окружающей среды от загрязнений, связанных с транспортными средствами.
19. Загрязнение окружающей среды предприятиями машиностроения и металлообработки.
20. Тяжелые металлы в окружающей среде и здоровье населения.
21. Шум как негативный экологический фактор.
22. Сочетание действий вредных факторов.
23. Электрический ток как негативный фактор воздействия на человека.

24. Электромагнитное излучение как негативный фактор воздействия на человека и окружающую среду.
25. Новые ресурсосберегающие технологии.
26. Вибрация и акустические колебания, их негативное воздействие на человека и техносферу.
27. Защита атмосферного воздуха от промышленного воздействия.
28. Энергетические загрязнения техносферы.
29. Сбор и утилизация промышленных отходов во Владимирском регионе.
30. Основные методы очистки газовоздушных выбросов от котельных и ТЭЦ.
31. Региональная политика в области возмещения ущерба окружающей среде в результате техногенного воздействия.
32. Влияние теплоэнергетического комплекса на состояние окружающей среды Российской Федерации.
33. Характеристика антропогенных изменений в районах промышленного освоения территорий.
34. Методы восстановления нарушенных территорий.
35. Локальные и глобальные проблемы экологии.
36. Экологизация экономики.
37. Воздействие мегаполиса на здоровье населения.
38. Преобразование и сохранение естественной среды обитания человека.
39. Влияние деятельности человека на биосферу. Проблема городских отходов.
40. Изменение климата.
41. Региональный экологический анализ.
42. Экологические проблемы народонаселения.
43. Гармонизация взаимоотношений человека и природы.
44. История «покорения» природы человеком.
45. Проблемы экологии. Возможные пути их решения.
46. Использование материалов экологического аудита для экологического обучения и повышения квалификации персонала.
47. Влияние промышленности и сельского хозяйства на окружающую среду Владимирской области.
48. Экология города, в котором я живу.
49. Проблемы защиты окружающей среды Владимирской области.
50. Виды стихийных бедствий и методы борьбы с ними.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экология в настоящее время приобретает особое значение как наука, помогающая найти пути выхода из возникающего кризиса, а экологическое образование формирует экологическую культуру и ответственность личности и общества, обеспечивая его выживание и развитие.

Именно экология служит теоретической основой для разработки основных направлений по восстановлению нарушенных природных экосистем, снижению антропогенного воздействия на окружающую среду.

Лабораторный практикум апробирован в различных вариантах на аудиторных занятиях и в полевых исследованиях. Работы были подготовлены для студентов различных специальностей и направлений Владимирского государственного университета. Предложенные методики анализа используются для выполнения выпускных квалификационных работ и магистерских диссертаций.

В практикум включены десять работ, которые рассчитаны на два академических часа занятий и освещают следующие темы и разделы: мониторинг состояния окружающей среды, атмосферного воздуха, анализ природных и сточных вод и почвенного покрова.

Тематика работ охватывает как локальные, так и глобальные проблемы экологии, решением которых необходимо заниматься выпускникам вузов в конкретной профессиональной деятельности.

Для углубленного изучения вопросов экологии студентам следует ознакомиться с библиографическим списком, включающим нормативные документы, основную и рекомендательную литературу.



## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 17.0.0.01-76. Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов. Основные положения [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 11.05.2014).

2. ГОСТ 17.2.1.01-76. Охрана природы. Атмосфера. Классификация выбросов по составу [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 11.05.2014).

3. ГОСТ 17.2.1.03-84. Охрана природы. Атмосфера. Термины и определения контроля загрязнения [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 11.05.2014).

4. ГОСТ 17.2.1.04-77. Охрана природы. Атмосфера. Источники и метеорологические факторы загрязнения, промышленные выбросы. Термины и определения [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 11.05.2014).

5. ГОСТ 17.1.1.01-77. Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 11.05.2014).

6. ГОСТ 17.1.1.02-77. Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 11.05.2014).

7. ГОСТ 17.1.1.03-86. Охрана природы. Гидросфера. Классификация водопользователей [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 11.05.2014).

8. ГОСТ 17.1.1.04-80. Охрана природы. Гидросфера. Классификация подземных вод по целям водопользования [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 11.05.2014).

9. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнений [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 11.05.2014).

10. ГОСТ 17.4.2.01-81. Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей санитарного состояния [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 11.05.2014).

11. ГОСТ 10398-76. Реактивы и особо чистые вещества. Комплексонометрический метод определения содержания основного вещества

[Электронный ресурс]. – URL: <http://www.docs.cntd.ru/document/gost-10398-76> (дата обращения: 15.03.2017).

12. ГОСТ 31956-2012. Вода. Методы определения содержания хрома (VI) и общего хрома [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.docs.cntd.ru/document/gost-31956-2012> (дата обращения: 15.03.2017).

13. Водный кодекс Российской Федерации : федер. закон : [принят Гос. Думой 28 сент. 2001 г. : ред. от 27 дек. 2009 : с изм. и доп. с 01 апр. 2010 г.] [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 11.05.2014).

14. Земельный кодекс Российской Федерации : федер. закон : [принят Гос. Думой 28 сент. 2001 : ред. от 22 июля 2010 г.] [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 11.05.2014).

15. Методика определения массы выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух. – М. : НИИАТ, 1993.

16. Об охране окружающей среды : федер. закон : [принят Гос. Думой 20 дек. 2009 г. : ред. от 27 дек. 2009 г.] [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 11.05.2014).

17. Об отходах производства и потребления : федер. закон : [принят Гос. Думой 22 мая 1998 г.: ред. от 30 дек. 2008 г. : с изм. и доп., вступающими в силу с 01 янв. 2010 г.] [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 11.05.2014).

18. Об охране атмосферного воздуха : федер. закон : [принят Гос. Думой 02 апр. 1999 г. : ред. от 27 дек. 2009 г.] [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 11.05.2014).

19. Вернадский, В. И. Биосфера и ноосфера / В. И. Вернадский. – М. : Наука, 1989. – 267 с.

20. Коробкин, В. И. Экология : учеб. для студентов вузов / В. И. Коробкин, Л. В. Передельский. – 12-е изд., доп. и перераб. – Ростов н/Д. : Феникс, 2007. – 602 с. – ISBN 978-5-222-19822-3.

21. Пехов, А. П. Биология с основами экологии : учеб. для студентов вузов / А. П. Пехов. – 7-е изд., стер. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2007. – ISBN 5-8114-0219-8.

22. Никаноров, А. М. Экология / А. М. Никаноров, Т. М. Хоружая. – М. : ПРИОР, 1999. – 304 с. – ISBN 5-7990-0373-7.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимова, Т. А. Экология. Природа – Человек – Техника : учеб. для вузов / Т. А. Акимова, А. П. Кузьмин, В. В. Хаскин. – М. : ЮНИТИ – ДАНА, 2001. – 343 с. – ISBN 5-238-00191-6.
2. Богдановский, Г. А. Химическая экология / Г. А. Богдановский. – М. : Изд-во МГУ, 1994. – 237 с. – ISBN 5-211-01636-10.
3. Горелов, А. А. Экология : учеб. пособие / А. А. Горелов. – М. : Центр, 2000. – 240 с. – ISBN 5-88860-040-7.
4. Экология и экономика природопользования : учеб. для вузов / Э. В. Гирусов [и др.]. – М. : Закон и право : ЮНИТИ, 1998. – 455 с. – ISBN 5-238-00326-5.
5. Луканин, В. Н. Промышленно-транспортная экология : учеб. для вузов / В. Н. Луканин, Ю. В. Трофименко ; под ред. В. Н. Луканина. – М. : Высш. шк., 2001. – 273 с. – ISBN 5-06-003957-9.
6. Химия окружающей среды : практикум / Т. А. Трифонова [и др.] ; Владим. гос. техн. ун-т. – Владимир, 1996. – 56 с. – ISBN 978-5-8291-0837-3.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
Лабораторная работа 1	
<b>Определение рН кислотных осадков</b> .....	5
1. Процессы образования .....	5
2. Влияние кислотных осадков на экосистемы .....	9
3. Ход выполнения работы.....	13
<i>Контрольные вопросы</i> .....	13
Лабораторная работа 2	
<b>Техногенное загрязнение окружающей среды</b> .....	14
1. Факторы воздействия на окружающую среду.....	14
2. Отходы производства и потребления.....	16
3. Задания.....	17
4. Ход выполнения работы.....	17
<i>Контрольные вопросы</i> .....	18
Лабораторная работа 3	
<b>Определение количества антропогенных загрязнений, попадающих в окружающую среду в результате работы автотранспорта</b> .....	18
1. Влияние на человека отработавших газов автомобилей .....	19
2. Влияние пыли на здоровье человека .....	22
3. Ход выполнения работы.....	26
<i>Задачи к лабораторной работе</i> .....	37
<i>Контрольные вопросы</i> .....	42
Лабораторная работа 4	
<b>Структура экосистем</b> .....	42
1. Понятие экосистемы .....	42
2. Пищевые цепи и трофические уровни .....	43
3. Экологические пирамиды.....	45
4. Продуктивность экосистемы.....	47
5. Универсальная модель потока энергии.....	48
6. Задания.....	50
<i>Контрольные вопросы</i> .....	57
Лабораторная работа 5	
<b>Определение жесткости воды</b> .....	57
1. Отбор проб.....	58

2. Предварительная обработка, хранение и консервация проб....	59
3. Температура.....	60
4. Понятие о жесткости воды.....	60
5. Влияние жесткости воды на организм человека .....	62
6. Способы умягчения воды.....	63
7. Методика определения временной (карбонатной) жесткости воды .....	65
8. Комплексонометрическое определение общей жесткости воды .....	66
<i>Контрольные вопросы</i> .....	67
<b>Лабораторная работа 6</b>	
<b>Определение органолептических свойств воды</b> .....	68
1. Прозрачность.....	68
2. Цветность.....	68
3. Запах воды .....	70
4. Определение интенсивности запаха воды .....	71
<i>Контрольные вопросы</i> .....	72
<b>Лабораторная работа 7</b>	
<b>Комплексонометрический метод определения содержания основного вещества</b> .....	72
1. Общие требования .....	72
2. Реактивы и растворы .....	74
3. Подготовка к анализу .....	74
4. Проведение анализа соединений никеля .....	75
5. Обработка результатов .....	75
<i>Контрольные вопросы</i> .....	76
<b>Лабораторная работа 8</b>	
<b>Методы определения содержания хрома (VI) и общего хрома в воде</b> .....	77
1. Область применения.....	77
2. Фотометрический метод определения содержания хрома (VI), общего хрома и хрома (III).....	77
3. Подготовка к проведению измерений.....	78
4. Порядок проведения измерений .....	82
<i>Контрольные вопросы</i> .....	85

Лабораторная работа 9	
<b>Ионизирующие излучения и окружающая среда</b> .....	85
1. Радиоактивность и виды ионизирующих излучений .....	85
2. Единицы измерения ионизирующих излучений .....	87
3. Естественные и антропогенные источники ионизирующих излучений .....	88
4. Уровни облучения человека в различных условиях .....	89
5. Воздействие ионизирующих излучений на живые организмы .....	92
6. Чувствительность живых организмов к радиации .....	93
7. Экологические последствия радиационного загрязнения окружающей среды .....	94
8. Задания .....	95
9. Порядок работы прибора .....	96
<i>Контрольные вопросы</i> .....	97
Лабораторная работа 10	
<b>Определение реакции почвенного раствора</b> .....	98
1. Общие теоретические сведения .....	98
2. Порядок выполнения работы .....	104
<i>Контрольные вопросы</i> .....	105
Лабораторная работа 11	
<b>Определение содержания карбоната кальция (CaCO<sub>3</sub>) в почве</b> .....	105
<i>Контрольные вопросы</i> .....	106
Лабораторная работа 12	
<b>Определение плодородия почв</b> .....	107
<i>Контрольные вопросы</i> .....	107
<b>ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ</b> .....	108
<b>ОБЩИЙ ТЕСТ ПО КУРСУ</b> .....	114
<b>ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ</b> .....	126
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	128
<b>СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	129
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	131

*Учебное издание*

ТРИФОНОВА Татьяна Анатольевна  
ФЕОКТИСТОВА Ирина Дмитриевна  
ЧУГАЙ Наталья Валерьевна

ОБЩАЯ ЭКОЛОГИЯ

Лабораторный практикум

2-е издание, исправленное и дополненное

Редактор Е. С. Глазкова  
Технический редактор С. Ш. Абдуллаева  
Корректор Н. В. Пустовойтова  
Компьютерная верстка Е. А. Кузьминой  
Выпускающий редактор А. А. Амирсейидова

Подписано в печать 25.09.19.  
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 7,91. Тираж 50 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.  
600000, Владимир, ул. Горького, 87.