

Лабораторная работа

Определение рН кислотных осадков

Определение рН кислотных осадков

Для охраны окружающей среды имеет большое значение 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 (табл.1). При отсутствии источников загрязнения диоксид серы (SO_2) встречается в атмосфере в виде ничтожных следов. Единственным крупным естественным источником диоксида серы является 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, а природный газ находится на третьем месте. Наиболее распространенными соединениями серы, поступающими в атмосферу, являются диоксид серы (SO_2), сульфиты (SO_3), сероуглерод (CS_2) и сероводород (H_2S).

Таблица 1 Природные и антропогенные источники загрязнений атмосферы соединениями серы

Источники	Количество выбросов в год	
	млн т.	%
Природные		29-39
Процессы разрушения биосферы	30-40	2
Вулканическая деятельность	2	—
Поверхность океанов	30 - 200	60-70
Антропогенные		59-69

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.

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 приведены в табл.2.

Таблица 2. 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

Основными источниками образования SO_2 является также металлургическая промышленность (переработка сульфидных руд меди, свинца и цинка), а также предприятия по производству серной кислоты и переработке нефти.

Основной вред окружающей среде наносит не столько сам диоксид серы, сколько продукт его окисления - SO_3 . Процесс окисления осуществляется под действием кислорода на пылеобразных частицах оксидов металлов в качестве катализаторов, в атмосферной влаге или под действием солнечного света.

Газообразный SO_3 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_2 в воздухе (табл.3)

Таблица 3. Соединения азота и их концентрации в приземном слое атмосферы

Соединение	Концентрация азота, мкг/м ³		
	загрязненный район	отдаленный район	океан
NO	5 - 50	0.05 - 0.5	0.05
NO_2	5-50	0,2 - 2,0	0,2
HNO_3	2	0.2- 2	0.2
NH_3	-	0.1 - 10	0.3
NO_3	2	0.1 - 0.4	0.02
NH_4	-	1,0 - 2,0	0.4

Основными антропогенными источниками поступления оксидов азота в атмосферу является сжигание всех видов природного топлива (12 млн.т./год), транспорт (8 млн.т./год) и промышленность (1 млн.т./год).

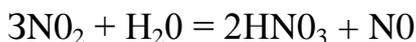
Моноксид азота NO образуется в малых количествах в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания при прямом взаимодействии кислорода с азотом. В среднем выделение NO автомобилем составляет 1 - 2 грамма на 1 км пробега.

Одним из важных свойств NO является его способность реагировать с кислородом с образованием NO₂:



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 H₂SO₄ и HNO₃, 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 является концентрация ионов водорода [H⁺], выраженная в моль/л. 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 °С составляют 10⁻⁷ моль/л. Растворы с одинаковыми концентрациями ионов водорода и гидроксид-ионов называются нейтральными:

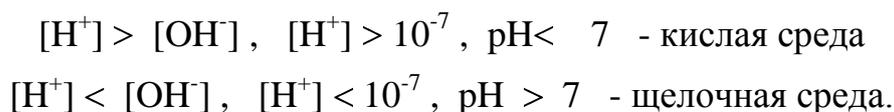
$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7} \text{ моль/л} .$$

Обычно кислотность раствора выражают другим способом. Вместо концентрации ионов водорода указывают ее десятичный логарифм, взятый с обратным знаком. Эта величина называется водородный показатель и обозначается pH

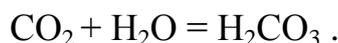
$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+].$$

pH любых растворов измеряется от 0 до 14.

Так как $-\lg 10^{-7} = 7$, значит, $\text{pH}=7$ характеризует нейтральные растворы. В кислой среде концентрация $[\text{H}^+]$ больше $[\text{OH}^-]$, а в щелочных, наоборот, концентрация гидроксид-ионов больше, чем ионов водорода:



Чистая дождевая вода не является нейтральной. В отсутствие любых загрязнителей у дождевой воды обычно слабокислая реакция ($\text{pH}=5,6$), поскольку в ней легко растворяется углекислый газ из воздуха с образованием слабой угольной кислоты (содержание углекислого газа в воздухе примерно 0,032% по объему или 0,046% по массе). В результате образуется слабая угольная кислота:



Таким образом, кислотными точнее называть осадки с pH 5,5 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.

Влияние кислотных осадков на экосистемы

Уже более ста лет кислотные осадки признаются 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 в повышенной кислотности воды, и связали ее с ненормально низкими значениями pH осадков. С тех пор выяснились различные пути разрушительного влияния кислотных осадков на экосистемы:

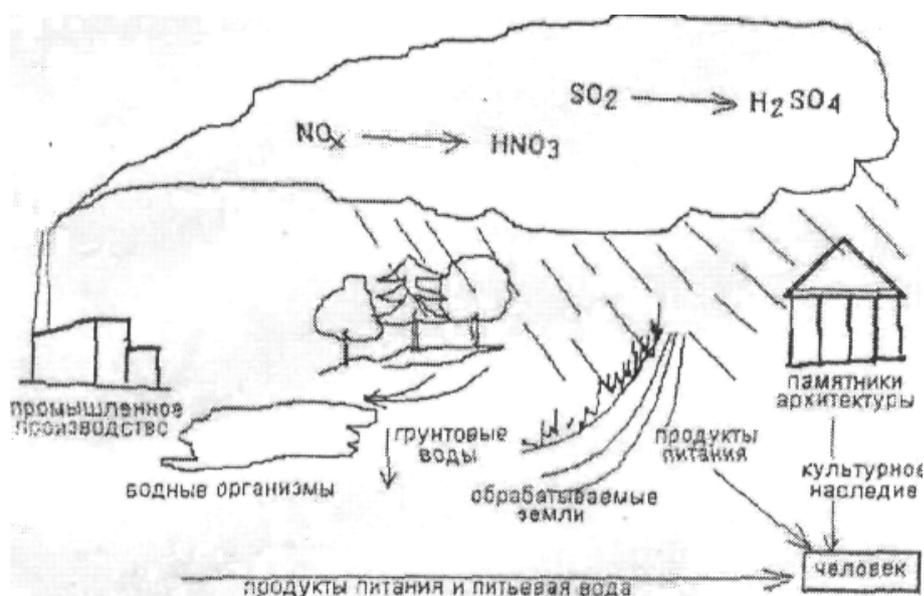


Схема возможных направлений влияния кислотных осадков на окружающую среду и человека.

Влияние на водные экосистемы. Значение рН среды чрезвычайно важно, т.к. 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 оптимумом 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 числе из-за повышенной кислотности воды в этих озерах. На самом деле сильно закисленные воды не позволяют рыбе нормально размножаться. Самки могут оказаться не способными выметать икру в кислой воде, если же икра все-таки попадает в воду, то 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 гибели 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 воды дренирующих различные природные уголья при неодинаковых условиях показал, что кислотные осадки значительно увеличивают выщелачивание биогенов. Ионы водорода легко вытесняют их ионы 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 засух.

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 является элементом, токсичным 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 не растворимы, т.е. присутствует 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 может 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 (CaCO₃). Озера, в подстилающих породах которых присутствует известняк (осадочная порода, состоящая из карбоната кальция CaCO₃), “сопротивляются” закислению воды в них, поскольку карбонат кальция нейтрализует кислоту:



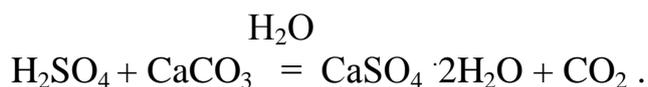
Фермеры давно используют известь для нейтрализации кислых почв. Садовники охотно применяют для тех же целей яичную скорлупу, раковины устриц, также состоящие из карбоната кальция.

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 ёмкости 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 ёмкостью, а те, у которых она действительно высока, не страдают.

Влияние на людей и изделия. Одно из наиболее ощутимых последствий кислотных осадков - разрушение произведений искусства. 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. Кислотные осадки разрушают строительные материалы, образованные карбонатом кальция (мрамор, известняк и др.). При взаимодействии с серной кислотой карбонат кальция превращается в гипс (CaSO₄·2H₂O), 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 показано недавно, алюминий способен вызывать болезнь Альцгеймера, разновидность преждевременного старения.

Однако если выпадение кислотных осадков будет и в дальнейшем продолжаться 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. Очевидно, что отсутствие приемлемой стратегии борьбы с этими осадками подрывает основы устойчивого развития общества.

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

Ход работы

Оборудование и реактивы.

Бюретка на 25 мл.

Мерный цилиндр на 25 мл.

Колбы конические на 250 мл – 3 шт.

Мерный стакан и воронка.

Раствор КОН.

Индикатор фенолфталеин.

Ход выполнения.

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, исчезающей в течение 20 сек. Результаты титрования записывают в журнал, находят среднее арифметическое из трех определений и полученный результат подставляют в формулу, рассчитывая значение концентрации $[\text{H}^+]$:

$$C_{\text{H}^+} = \frac{C_{\text{ОН}^-} \cdot V_{\text{ОН}^-}}{V_{\text{H}^+}}, \text{ где}$$

– $C_{\text{ОН}^-}$ – концентрация КОН, (г экв/л);

– $V_{\text{ОН}^-}$ – объем раствора КОН, пошедший на титрование, мл;

– V_{H^+} – объем кислотных осадков взятый для определения, мл.

Вычисляют значение рН по формуле:

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

Вывод.

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

Лабораторная работа

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

Введение

Автомобильный транспорт относится к основным источникам загрязнения окружающей среды. В крупных городах на долю автотранспорта приходится более половины объема вредных выбросов в атмосферу. В мегаполисах эта величина еще больше: Санкт-Петербург – 71%, Москва – 88 %. Уровни загрязнения воздуха оксидами азота и углерода, углеводородами и другими вредными веществами на большинстве автомагистралей в 5-10 раз превышают предельно допустимые концентрации.

Большинство сортов применяемого ныне бензина содержит в качестве антидетонационной присадки тетраэтилсвинец (0,41 – 0,82 г/л). Бензин с такой присадкой называют этилированным. Применение этой присадки позволяет сократить потребление топлива, но загрязняет атмосферу соединениями свинца.

Низкий технический уровень отечественных автомобилей и эксплуатацию, не соответствующую требованиям национальных стандартов, подтвердили результаты операции «Чистый воздух», проведенной в 1997 году. Практически во всех субъектах РФ 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 %.

ВЛИЯНИЕ НА ЧЕЛОВЕКА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЕЙ

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 ЦНС, поражения дыхательной системы, снижение остроты зрения. Увеличенные среднесуточные концентрации оксида углерода способствуют возрастанию смертности лиц с сердечно – сосудистыми заболеваниями.

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 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 сердечно – сосудистых заболеваний, способствует возникновению бронхитов, астмы и других респираторных заболеваний.

Углеводороды в результате фотохимических реакций с оксидами азота образуют смог. Бенз(а) пирен, попадая в организм человека, постепенно накапливается до критических концентраций и стимулирует образование злокачественных опухолей.

Сажа не представляет непосредственной опасности для человека. Сажа является адсорбентом канцерогенных веществ и 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 кроветворные 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 SO_2 являются причиной выпадения сернокислотных осадков, способствующих закислению почвы, воды и разрушению облицовки зданий. Возрастание концентрации оксида углерода опасно возникновением парникового эффекта, который приводит к возрастанию температуры воздуха у поверхности Земли.

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.

Основной частью пыли является 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 явиться причиной возникновения злокачественных опухолей.

Первый вариант

ХОД РАБОТЫ

Выберите участок автотрассы вблизи учебного заведения (места жительства, отдыха) длиной 0,5 – 1 км, имеющий хороший обзор (из окна, из парка, с прилегающей территории).

Измерьте шагами длину участка (в м), предварительно определив среднюю длину своего шага. Определите число единиц автотранспорта, проходящего по участку в течение 20 минут, 1 часа. При этом заполняйте таблицу:

Тип автотранспорта	Всего за 20 мин	За 1 час, N _j	Общий путь за 1 час, L, км
Легковые автомобили			
Грузовые автомобили			
Автобусы			
Дизельные грузовые автомобили			
Газели			

Количество выбросов вредных веществ, поступающих от автотранспорта в атмосферу, может быть оценено расчетным методом. Исходными данными для расчета количества выбросов являются:

- 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 таблице).

Нормы расхода топлива

Тип автотранспорта	Средние нормы расхода топлива (л на 100 км)	Удельный расход топлива Y _j (л на 1 км)
Легковые автомобили	11 – 13	0,11 – 0,13

Грузовые автомобили	29 – 33	0,29 – 0,33
Автобусы	41 – 44	0,41 – 0,44
Дизельные грузовые автомобили	31 – 34	0,31 – 0,34
Газели	8 - 10	0,08 – 0,10

Значения эмпирических коэффициентов (К), определяющих выброс вредных веществ от автотранспорта в зависимости от вида горючего, приведены в таблице:

Коэффициенты выброса

Вид топлива	Значение коэффициента (К)		
	Угарный газ	Углеводороды	Диоксид азота
Бензин	0,6	0,1	0,04
Дизельное топливо	0,1	0,03	0,04

Коэффициент К 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 час (L, км), по формуле:

$$L_j = N_j * L, \text{ где}$$

j – обозначение типа автотранспорта;

L – длина участка, км;

N_j – число автомобилей каждого типа за 1 час.

Рассчитайте количество топлива (Q_j , л) разного вида, сжигаемого при этом двигателями автомашин, по формуле:

$$Q_j = L_j * Y_j.$$

Расход топлива

Тип автомобиля	L_j	Q_j	
		бензин	Дизельное топливо
1. Легковые автомобили			
2. грузовые автомобили			
3. Автобусы			
4. Дизельные грузовые автомобили			
Всего	ΣQ		

Рассчитайте объем выделившихся вредных веществ в литрах (KQ) при нормальных условиях по каждому виду топлива и всего, занесите результат в таблицу:

Объем выбросов

Вид топлива	ΣQ , 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:

$$m = \frac{V \cdot M}{22,4}$$

где M – молекулярная масса.

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

Результаты запишите в таблицу:

Вид вредного вещества	Кол-во, л (объем)	Масса, г	Объем воздуха для разбавления, м ³	Значение ПДК, мг/м ³
Угарный газ				
Углеводороды				
Диоксид азота				

Сопоставьте полученные результаты с количеством выбросов вредных веществ, производимых находящимися в вашем районе заводами, фабриками, котельными, автопредприятиями и другими загрязнителями воздуха. При этом пользуйтесь соответствующими данными по экологической оценке качества выбросов от этих предприятий (такие данные можно получить, например, в районном или городском комитете по экологии и т. д.).

Принимая во внимание близость к автомагистрали жилых и общественных зданий, сделайте вывод об экологической обстановке в районе исследованного вами участка автомагистрали.

Второй вариант

Ход работы

Для проведения работы выбираем участок вблизи учебного заведения, имеющий хороший обзор с прилегающей территории. В течение 20 минут определяем число единиц автотранспорта, при этом заполняем таблицу 1.

Таблица 1

Тип транспорта	Количество автомобилей 20 минут в одном направлении	Интенсивность движение за 1 час, Nj	Средний эксплуатационный расход топлива, л/км, G
Легковые автомобили			0.12
Грузовые автомобили (бензин)			0.33
Автобусы бензиновые			0.37
Дизельные грузовые автомобили			0.34
Автобусы дизельные			0.28

Количество выбросов вредных веществ, поступающих от автотранспорта в атмосферу, может быть оценено расчетным методом. Исходными данными для расчета количества выбросов являются:

- 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);
- средняя скорость движения транспортного потока.

Рассчитываем мощность эмиссии q (количество выбросов) CO , C_xH_x, NO_2 , в обрабатывавших газах для каждого из газообразных веществ по формуле

$$q = 2.06 * 10^{-4} * m * [\sum(G_{ik} * N_{ik} * K_k) + \sum(G_{id} * N_{id} * K_d)], \text{ г/с*м}$$

m -поправочный коэффициент зависящий от средней скорости транспортного потока (рис. 1).

G_{ik}, G_{id} - средний эксплуатационный расход топлива для данного типа карбюраторных и дизельных автомобилей соответственно, л/км: таблица 1

N_{ik}, N_{id} - интенсивность движения каждого о выделенного типа карбюраторных и дизельных автомобилей соответственно, авт/ час.

K_k, K_d - Коэффициенты принимаемые для данного компонента загрязнения, для карбюраторных и дизельных типов соответственно (таблица 2)

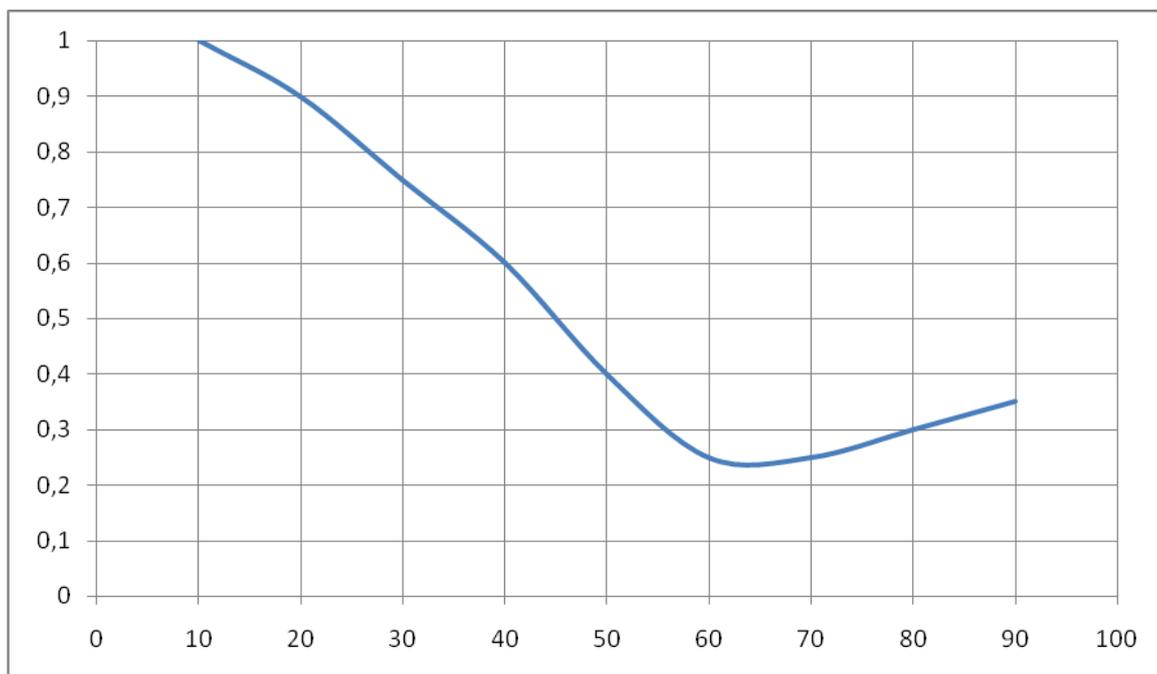


Рис.1 Зависимость поправочного коэффициента m от средней скорости транспортного потока.

Тип автотранспорта	K_k, K_d для компонентов p_k загрязнений			
	CO	C_xH_y	NO_2	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	0,037	0,015	
Автобусы дизельные	0,6	0,06	0,06	

Мощность эмиссии свинца в обработавших газах карбюраторных двигателей рассчитываемых по формуле:

$$Q_{pb} = 2.06 * 10^{-7} * T_p * K_0 * [\sum G_{ik} * N_{ik} * p_k], \frac{\text{г}}{\text{м}^3 \cdot \text{с}} \quad (2)$$

T_p - коэффициент зависящий от скорости транспортного потока. Для скорости равной 80 км/час ($T_p = 1$).

K_0 - коэффициент учитывающий оседание свинца в системе выпуска отработавших газов (на деталях двигателя) ($K_0 = 0,8$).

K_r - коэффициент учитывающий долю обрабатываемого свинца в виде аэрозолей в общем виде выбросов ($K_r = 0,2$).

P_k - содержание добавки свинца в топливе, применяемом в автомобиле данного типа. Для бензина марки АИ-76=0,17 г/кг, а для АИ-93=0,37 г/кг.

Рассчитываем концентрацию загрязнения атмосферного воздуха различными компонентами в зависимости от расстояния кромки дороги по формуле:

$$C = \frac{0.45 * q}{\delta * V * \sin \varphi} + F, \text{ г/м}^3 \quad (3)$$

q - мощность эмиссии различных компонентов загрязнения, рассчитанная ранее.

δ - значение стандартного Гауссова рассеяния в вертикальном направлении, зависит от расстояния дороги и уровня радиации (таблица 3).

V - скорость ветра, преобладающая расчетный периода месяца = 3м/с.

$\sin \varphi$ - угол составляющий направление ветра к трассе = 30^0 .

F - фоновая концентрация загрязнений (г/м^3).

Таблица 3

Приходящая солнечная радиация	Значение δ при удалении кромки проезжей части (м).									
	0	0	0	0	0	0	00	50	00	50
Сильная	0					0	3	9	4	0
Слабая	,1						0	4	8	2

Предельные допустимые концентрации токсичных составляющих отработавших газов в воздухе населенных мест сведены в таблицу 4.

Таблица 4

Виды выбросов	Среднесуточный ПДК. мг/м ³	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 строим график зависимости концентраций выбрасываемых веществ (мг/м³) от расстояния от проезжей части (м). На них по значениям ПДК для соответствующих выбросов определяем безопасные расстояния от кромки дороги. По результатам работы оцениваем экологическую ситуацию на данном участке дороги и разрабатываем мероприятия по уменьшению количества выбросов и по защите от их воздействия.

Лабораторная работа

Определение органолептических свойств и жесткости воды

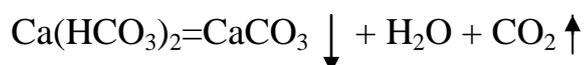
1. Понятие о жесткости воды.

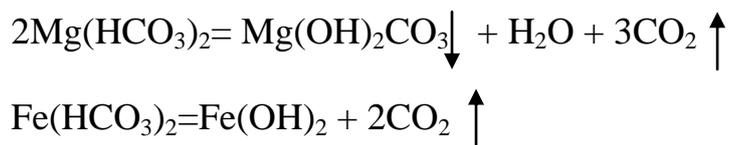
Жесткость воды зависит от присутствия в ней растворимых солей кальция, в некоторых случаях – солей магния и железа. Жесткая вода при кипячении образует накипь вследствие оседания карбонатов и оксикарбонатов кальция, магния и железа. Мыло в жесткой воде не мылится (не вспенивается), так как образуются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

Жесткая вода не пригодна для питания паровых котлов и для применения в химической технологии. 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. Он участвует в образовании костей и зубов, в процессе свертывания крови, регулирует возбудимость нервно-мышечного аппарата, повышает тонус сердечной мышцы. Поэтому неблагоприятен как дефицит, так и его избыток в организме.

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

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



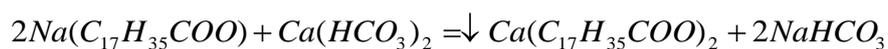


Постоянная жесткость воды обусловлена присутствием в ней преимущественно сульфатов и хлоридов кальция и магния и не устраняется кипячением. Сумма временной (устраненной) и постоянной жесткости составляет общую жесткость воды.

Проявление жесткости воды.

На внутренних стенках паровых котлов и трубопроводов из жесткой воды осаждаются нерастворимые соли в основном CaCO_3 по реакции $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = \downarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$. Она снижают теплопроводность стенок, вызывает затем местный перегрев их и коррозию металла. Случайное отделение накипи от раскаленной стенки может вызвать быстрое испарение воды и взрыв котла. Жесткой водой нельзя пользоваться при проведении некоторых технологических процессов, например, крашение тканей.

При стирке в жесткой воде повышается расход моющих средств. Это обусловлено образованием солей органических кислот Ca^{2+} и Mg^{2+} .



Кроме того, при стирке в жесткой воде те же соли осаждаются на ткани, ухудшая ее свойства (белые ткани приобретают стойкий желтоватый цвет).

Синтетические моющие средства обеспечивают эффективный и экономичный процесс стирки в мягкой и жесткой воде, так как они не образуют нерастворимых солей.

В жесткой воде плохо развариваются овощи, особенно стручковые, так как содержащиеся в них пектины образуют на стенках клеток нерастворимые соединения с ионами кальция и магния.

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.

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.

Характеристика жесткости воды

Виды жесткости	Соли, содержание которых обуславливает жесткость	Способы устранения
Временная (карбонатная)	Гидрокарбонаты $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	Кипячение, реагентный
Постоянная (некарбонатная)	Хлориды CaCl_2 , MgCl_2 , сульфаты CaSO_4 , MgSO_4 , нитраты $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	Реагентный, с помощью ионообменных смол, ионитов
Общая (является суммой временной и постоянной)	Гидрокарбонаты, хлориды и сульфаты, нитраты кальция и магния	Смешанный

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 Са.

Жесткость воды выражается в миллиграмм-эквивалентах ионов Ca^{2+} на 1 л. 1 мэкв жесткости соответствует содержанию $40,08/2=20,04$ мг Ca^{2+} или $24,31/2=12,16$ мг Mg^{2+} в 1 литре 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, т. е. Максимально допустимая концентрация кальция в питьевой воде равна $20,047*7=140,28$ мг/л.

Временную жесткость воды определяют титрованием стандартным раствором HCl, общую жесткость – комплексонометрически.

Российская классификация воды по степени ее жесткости

характеристика	Очень мягкая	мягкая	Средней жесткости	жесткая	Очень жесткая
Общая жесткость, моль экв/л	<1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	6,0-9,0	>9,0

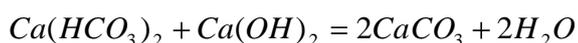
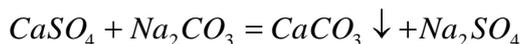
Интересно заметить, что общая жесткость воды рек и озер в тайге и тундре составляет 0,1-0,2 ммоль экв/л, морей, подземных вод – 80-100 ммоль экв/л. В поверхностных водах преобладает карбонатная жесткость, которая составляет 70-80% от общей жесткости. Максимальная жесткость природных вод обычно наблюдается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

Способы умягчения воды

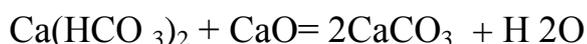
Жесткость воды устраняют физическими и химическими методами. Временная жесткость устраняется кипячением воды. При этом гидрокарбонаты переходят в нерастворимые карбонаты:



Химическое умягчение воды основано на введении в воду реагентов, обогащающих ее анионами CO_3^{2-} и OH^- , в результате чего образуются малорастворимые CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Для этого природную воду обрабатывают гашеной известью или содой:



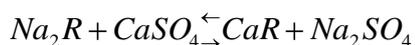
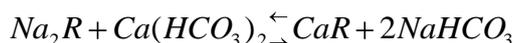
Временная жесткость может быть устранена введением негашеной извести.



Для удаления ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} можно применять также фосфат натрия Na_3PO_4 , буру $\text{Na}_4\text{B}_2\text{O}_7$, поташ K_2CO_3 и др.

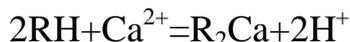
Широкое распространение в технике получил метод устранения жесткости воды путем ионного обмена. В этом методе используется способность некоторых природных и искусственных высокомолекулярных соединений – ионитов – обменивать входящие в их состав радикалы на ионы, находящиеся в растворе.

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:



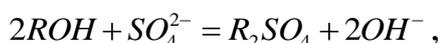
где R – сложный алюмосиликатный анион.

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 активными являются основные группы $-\text{NH}_2$, $=\text{NH}$, $\equiv\text{N}$. Обменными анионами служат 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 Ca^{2+} и 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.

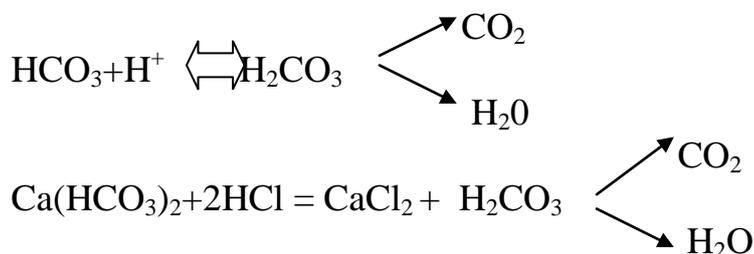
Кроме того, жесткость можно устранить вымораживанием льда, перегонкой, но в последнем случае необходимо иметь специальную установку.

Контрольные вопросы

1. Вычислите общую, карбонатную и некарбонатную жесткость 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.
2. В 10 л воды содержится 0,41 г $Ca(HCO_3)_2$ и 0,91 г $MgSO_4$. определите карбонатную, некарбонатную и общую жесткость воды.
3. Насколько понизится жесткость воды (кальциевая), если к 3 м³ ее прибавить 477 г Na_2CO_3 ?
4. Какую массу негашеной извести следует прибавить к 10 л воды для устранения временной жесткости, равной 5 ммоль экв/л? Напишите уравнение реакции.
5. Рассчитайте общую жесткость минеральной воды, содержащей 70 мг/дм³ Ca^{2+} и 36 мг/дм³ Mg^{2+} .
6. В 1 м³ воды содержится 140 г сульфата магния. Вычислите жесткость этой воды

2.Методика определения временной (карбонатной) жесткости воды.

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



В три конические колбы емкостью 250 мл отбирают пипеткой или 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 3 параллельных определений.

Жесткость исследуемой воды (Ж) определяется по формуле:

$$Ж = \frac{V_{HCl} \cdot C_{HCl} \cdot 1000}{V_{H_2O}}$$

Где V_{HCl} - средний объем из 3 определений, мл;

C_{HCl} – концентрация раствора HCl, мг*эquiv/л;

V_{H_2O} - объем анализируемой воды.

Реактивы и посуда:

Кислота хлороводородная, стандартный 0,1 н раствор.

Индикатор метиловый оранжевый, 0,2 %-ный водный раствор.

Колбы конические емкостью 250-500 мл.

Цилиндры мерные, емкостью 250-500 мл.

Бюретка на 25 мл.

3. 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.

Некарбонатная жесткость определяется как разница между общей и карбонатной жесткостью и показывает количество катионов щелочно-земельных металлов, соответствующее анионам минеральных кислот: хлорид-, сульфат-, нитрат-ионам.

Реактивы и посуда:

Буферный раствор с рН 10.

Индикатор эриохром черный Т.

Комплексон III, 0,05 М раствор.

Сущность метода. Метод основан на титровании анализируемой воды раствором динатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты (комплексона III, трилона Б) известной концентрации при рН 10 в присутствии индикатора эриохрома черного Т



В водной среде этилендиаминтетраацетат натрия образует при pH 10 прочие 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 200 мл исследуемой воды, добавляют по 10 мл аммиачного буфера и индикатор эриохром черный Т. Содержание каждой колбы титруют стандартным раствором комплексона III до перехода окраски от вишнево-красной до синей.

Общую жесткость воды рассчитывают по формуле:

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

где Ж – жесткость воды, мэкв/л;

V_K – объем израсходованного комплексона III, моль/л;

$V_{\text{воды}}$ – объем анализируемой воды, мл;

2 – коэффициент перехода от молярной концентрации (моль/л) к нормальной концентрации (экв/л).

4. Органолептическая оценка воды.

Первичную оценку качества воды проводят, определяя ее органолептические характеристики. Эти характеристики воды 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.

4.1 Определение запаха воды.

1. Заполните колбу водой на треть объема и закройте пробкой.
2. Взболтайте содержимое колбы.
3. Откройте колбу и осторожно, неглубоко вдыхая воздух, сразу же определите характер и интенсивность запаха. Если запах не ощущается или запах неотчетливый, испытание можно повторить, нагрев воду в колбе до температуры 60 °С (подержав колбу в горячей воде). Интенсивность запаха определите по 5-балльной системе согласно таблице 1.

Таблица 1

Интенсивность запаха	Характер проявления запаха	Оценка интенсивности и запаха
Нет	Запах не ощущается	1
Очень слабая	Запах сразу не ощущается, но обнаруживается при тщательном исследовании (при нагревании воды)	2
Слабая	Запах замечается, если обратить на него внимание	3
Заметная	Запах легко замечается и вызывает неодобрительный отзыв о воде	4
Отчетливая	Запах обращает на себя внимание и заставляет воздержаться от питья	
Очень сильная	Запах настолько сильный, что делает воду непригодной для питья	5

Характер запаха определите по табл. 2

Таблица 2

Запах «естественного» происхождения	Запах «искусственного» происхождения
Неотчетливый (или отсутствует)	Неотчетливый (или отсутствует)
Землистый	Нефтепродуктов

	(бензиновый)
Гнилостный	Хлорный
Торфяной	Уксусный
Травянистый	
Другой (укажите, какой)	Другой (укажите, какой)

4.2. Определение цветности.

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 в табл.3

Таблица 3

Цветность воды
Слабо-желтоватая
Светло-желтоватая
Желтая
Интенсивно желтая
Коричневая
Красно-коричневая
Другая (укажите, какая)

4.3. Определение мутности.

1. Заполните колбу на две трети части водой.
3. Определите мутность воды, рассматривая колбу сверху на темном фоне при достаточном боковом освещении. Выберите нужное в табл. 4

Таблица 4

Мутность воды
Прозрачная
Слабомутная
Мутная
Очень мутная

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

1. Занесите полученные результаты в таблицу 5.
2. Сделайте выводы об экологическом состоянии источника, из которого была взята проба.

Таблица 5

Характеристика	Вывод (словесное описание)
Запах	
Цветность	
мутность	

Вывод: Сравнить полученные результаты с величиной по ГОСТу.

Лабораторная работа

**ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ
И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА**

4.1. 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) изотопы 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 (^1H протий, ^2H дейтерий) и одного радиоактивного (^3H тритий). Самым тяжелым элементом, имеющим стабильный изотоп, является висмут (Bi, $z=83$). Элементы, стоящие в периодической системе после висмута, стабильных изотопов не имеют, например, уран состоит из трех радиоактивных изотопов ^{238}U , ^{235}U , ^{234}U .

Скорость распада радиоактивного изотопа характеризуется **периодом полураспада** ($T_{1/2}$) - это время, за которое распадается половина радиоактивного вещества. Период полураспада не зависит от количества вещества и всегда постоянен (период полураспада радона ^{222}Rn 3,8 сут, урана ^{235}U $7 \cdot 10^8$ лет, ^{238}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 состояния 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 электрон-вольтах (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 γ -излучение и рентгеновское излучение. γ -излучение - это фотонное излучение, возникающее при изменении энергетического состояния атомных ядер или при аннигиляции частиц (например, электрона и позитрона). Оно обладает высокой проникающей способностью (средний пробег фотонов в воздухе составляет около ста метров, 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:

- β -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.

4.2. 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 - Кю = $3,7 \cdot 10^{10}$ 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:

$$D_0 = dQ / dm$$

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:

$$P_0 = dD_0 / dt$$

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:

$$D = dE / dm$$

Единица измерения поглощенной дозы - грей, Гр. Внесистемная единица рад, $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад} = 1 \text{ Дж/кг}$.

2. **Мощность поглощенной дозы P** - приращение поглощенной дозы излучения dD в единицу времени.

$$P = dD / dt, \text{ Гр/с.}$$

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 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 мЗв только легких.

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

Вся биосфера подвергается также воздействию излучений, приходящих из космоса. В состав космического излучения входят протоны (более 90 %), α -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.

4.4. 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 человека (в основном радионуклид калий-40, присутствующий в мышечной ткани) и поступающих в организм с воздухом, водой и пищей, равна 0,4 мЗв.

Наиболее значительным источником облучения является радон-222, относящийся к инертным газам и представляющий собой короткоживущий продукт распада урана-238. Основную часть ЭЭД от радона, равной 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 урана-238 (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. 4.1). 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.

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

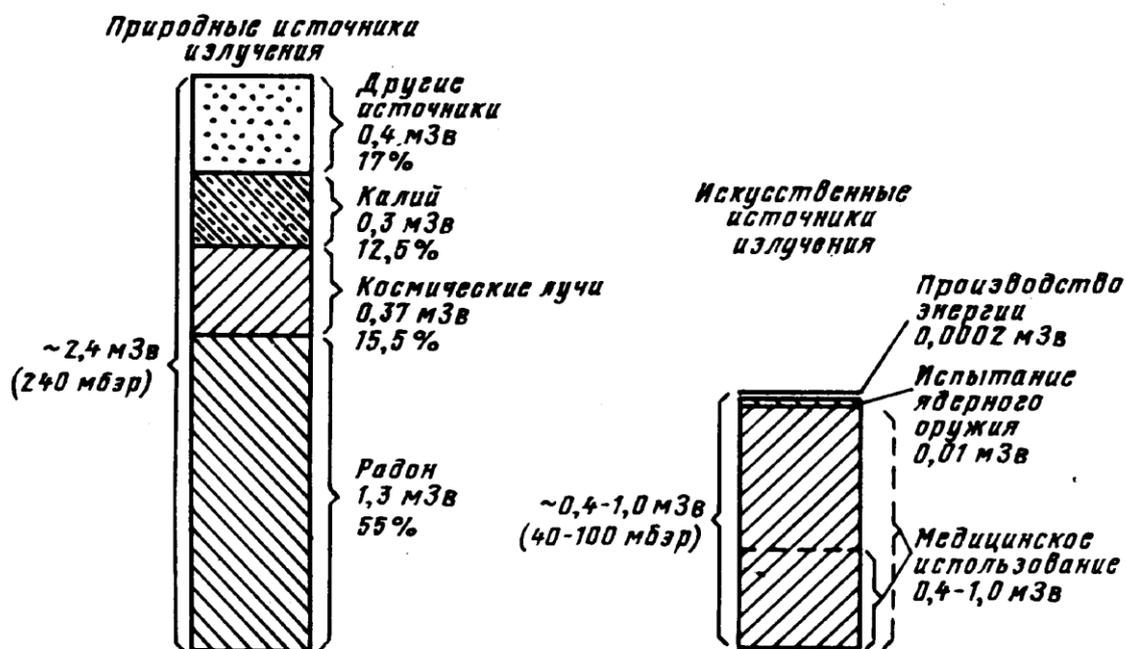


Рис. 4.1. Средние значения эффективных эквивалентных доз облучения, получаемых ежегодно отдельными лицами от природных источников излучения в районах с нормальным фоном и от искусственных источников излучения (по данным

Международного агентства по атомной энергии - МАГАТЭ) [4]

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. 4.1 и на рис. 4.1.

Т а б л и ц а 4.1

Эффективные эквивалентные дозы облучения
от различных источников излучения [4]

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 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 (70 лет) человек может без большого риска набрать радиацию в 35 бэр.

4.5. 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 исследователи 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 этого этапа 10^{-13} с ; в течение этого времени энергия передается атомам ткани.

Основная радиохимическая реакция происходит на втором этапе, занимающем $10^{-11} \dots 10^{-9}$ сек. 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} сек. 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 нередко 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.

4.6. 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. 4.2). Именно по этому графику определяется ЛД₅₀ - теоретическая доза в радах или бэрах, которая вызывает гибель 50 % особей рассматриваемой популяции через определенный промежуток времени.

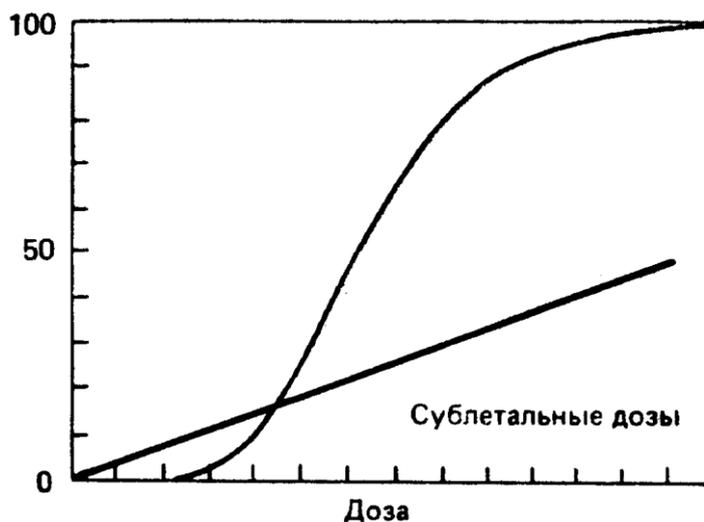


Рис. 4.2. Кривые зависимости доза - воздействие [5]

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 (рис. 4.2), 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 является предметом 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 LD_{50} и огромные колебания чувствительности организмов к облучению. Часовая доза радиации, смертельная для 50 % организмов, составляет 400 бэр для человека, 1000 - 2000 - для рыб и птиц, 1000 - 150 тыс. - 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 мощности дозы, т.е. одна и та же доза, но растянутая во времени, оказывает меньшее повреждающее действие, чем единовременная мощная доза; - от возраста (наиболее подвержены воздействию радиации люди в возрасте до 25 лет); - от 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.

4.7. 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 (уран - 238), также не очень опасны, поскольку они в единицу времени испускают очень слабое излучение.

Таким образом, наиболее опасными радиоактивными элементами являются 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 являются основными слагаемыми живого вещества ($C-14$, $P-326$, $Ca-45$, $J-131$ 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, стронций-90 (похож на кальций) и цезий-137 (похож на калий) являются наиболее опасными изотопами, 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.

4.8. Задания

1. Определить мощность полевой эквивалентной дозы гамма-излучения с помощью дозиметра РКСБ-104. Порядок работы с прибором изучить по инструкции к дозиметру. Трижды провести измерения в помещении и на улице и вычислить в обоих случаях среднее значение. Исходя из полученных данных, рассчитать какую дозу получит человек за всю жизнь (в бэрах), соответствует ли она установленным нормам.

2. Измерить мощность экспозиционной дозы гамма-излучения с помощью дозиметра РКСБ-104. Сделать по три замера в помещении и на улице и рассчитать среднее значение по каждой группе замеров.

3. Согласно инструкции к дозиметру измерить загрязненность поверхностей бета-излучающими радионуклидами образцов, выданных преподавателем. Рассчитать процентное содержание калия в них. Построить график зависимости плотности потока бета-частиц от процентного содержания калия. Объяснить полученные результаты.

4. По инструкции к дозиметру измерить удельную активность радионуклида цезия-137 в различных образцах (вода, песок, гравий, почва).

Библиографический список

1. Б о г д а н о в с к и й Г.А. Химическая экология. М.: Изд-во МГУ, 1994. 237 с.
2. Г р и н Н., С т а у т У., Т е й л о р Д. Биология / Пер. с англ. Т. 1. М.: Мир, 1990. 325 с.
3. О д у м Ю. Экология / Пер. с англ. В 2 т. М.: Мир, 1986.
4. П о л е н о в Б. В. Дозиметрические приборы для населения. М.: Энергоатомиздат, 1991. 64 с.
5. Р а м а д Ф. Основы прикладной экологии / Пер. с франц. Л.: Гидрометеозидат, 1981. 543 с.
6. Химические методы анализа объектов окружающей среды: Лаб. практикум / С.М.Чеснокова, В.Г. Амелин; Владим. гос. техн. ун-т. Владимир, 1996. 60 с.
7. Химия окружающей среды: Практикум / Т.А.Трифорова, Е.П.Гришина, Н.В. Мищенко, А.Л.Тихомиров; Владим. гос. техн. ун-т. Владимир, 1996. 56 с.
8. Ч е р н о в а Н.М. Лабораторный практикум по экологии. М.: Просвещение, 1986.

Лабораторная работа

СТРУКТУРА ЭКОСИСТЕМ

1.1. Понятие экосистемы

Экосистема - это любая совокупность взаимодействующих живых организмов и условий среды. Экосистемами являются, 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, получающие 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 понимание этой зависимости необходимо для понимания экосистем.

Гетеротрофами являются **хищники, паразиты**. К гетеротрофным организмам относится также группа **сапрофитов**, которые используют для питания органические соединения мертвых тел или выделения животных. Участвуя в минерализации органических соединений, сапрофиты составляют важное звено в биологическом круговороте. Сапрофитами являются грибы, бактерии, среди животных - некоторые насекомые (жуки-навозники), дождевые черви, некоторые млекопитающие (гиены) и птицы (грифы).

Неживой, или абиотический, компонент экосистемы в основном включает, во-первых, почву или воду, во-вторых, климат.

1.2. 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 может быть съедено другим животным, и таким путем может происходить перенос энергии через ряд организмов - каждый последующий питается предыдущим, поставляя ему

сырье и энергию. Такая последовательность называется **пищевой цепью**, а каждое ее звено - **трофическим уровнем**. При каждом очередном переносе большая часть (80 - 90 %) потенциальной энергии теряется, переходя в тепло. 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**, являющиеся автотрофами, - 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 называются **первичными консументами**, третьего - **вторичными консументами**. Все консументы относятся 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 порядка могут быть хищниками, могут питаться падалью или быть паразитами.

Существует 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 еще содержат энергию, так же как и прижизненные выделения, например моча и фекалии. Эти продукты являются первым трофическим уровнем **детритной** цепи и носят название **детрит**. 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 могут питаться организмами разных типов из одной и той же или из разных пищевых цепей.

Поэтому пищевые цепи не изолированы друг от друга, они тесно переплетаются и образуют *пищевые сети*.

1.3. 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 они 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 превращений 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. 1.1).

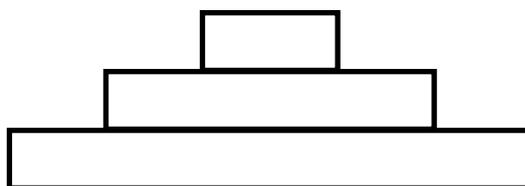
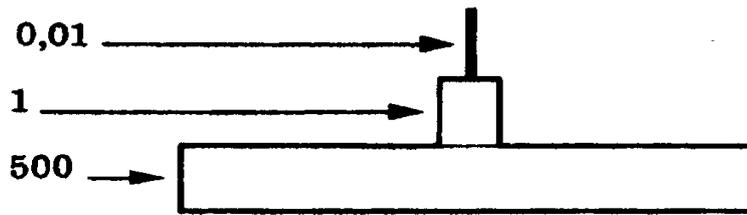


Рис. 1.1. Экологическая пирамида чисел

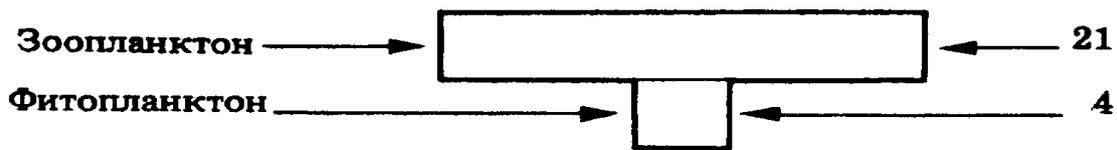
Однако в построении различных пирамид чисел наблюдается большое разнообразие: иногда они могут быть перевернутыми. Так, в лесу насчитывается значительно меньше деревьев (первичные продуценты), чем насекомых. Такая же картина наблюдается и в пищевых цепях паразитов.

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 (сухая масса) в данный момент на каждом уровне пищевой цепи (рис. 1.2).



А . Заброшенное поле (Джорджия, США)



Б . Ла-Манш

Рис. 1.2. Пирамиды биомассы. Тип А наиболее распространен. Тип Б относится к перевернутым пирамидам (см. текст). Цифры означают продукцию, выраженную в $г/м^2 [2]$

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 биомасса их может быть малой по сравнению с крупными продуцентами (деревья), 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.1.2, 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. 1.3).

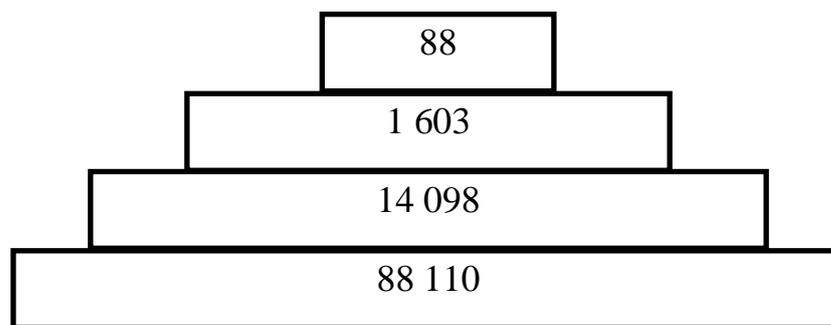


Рис. 1.3. Пирамида энергии. Цифрами обозначено количество энергии на каждом трофическом уровне в кДж/м² год [2]

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

1.4. 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 вычесть 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. Но 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 вычесть 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.

1.5. Универсальная модель потока энергии

Модель потока энергии, представленную на рис. 1.4, 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 - это 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 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 у животных, 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 продукция. Компонент P - это энергия,

доступная следующему трофическому уровню, в противоположность компоненту NU , который доступен на данном трофическом уровне.

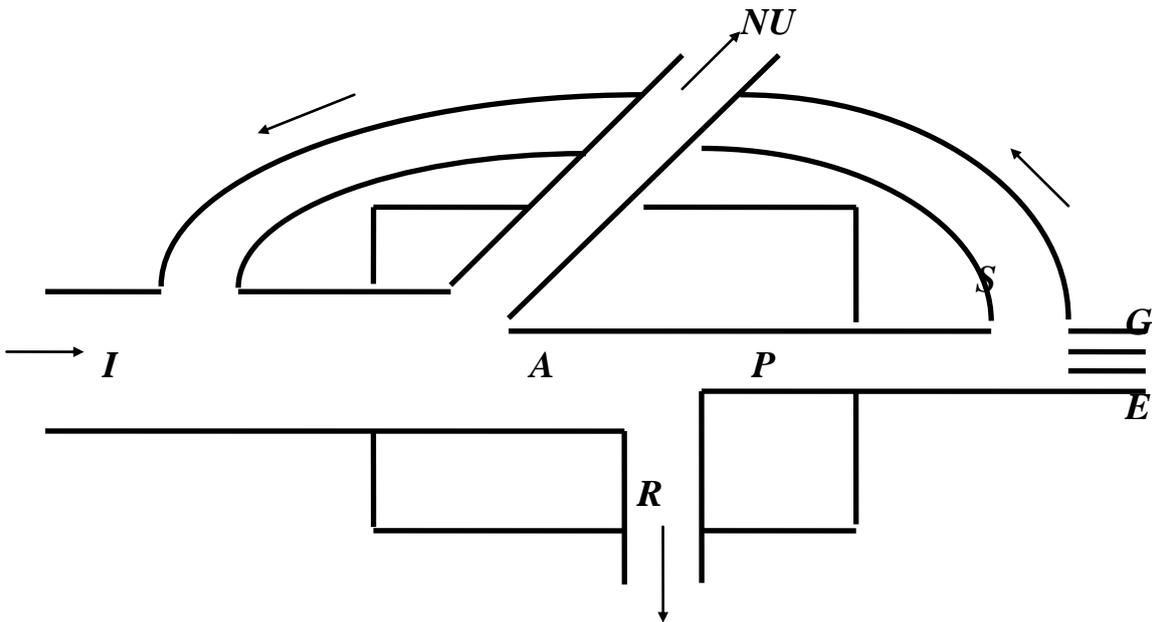


Рис.1.4. Универсальная модель потока энергии

Отношения P/R и биомасса/ 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 сообществах, в системах, получающих энергетические дотации. Продукция может принимать различные формы. Три ее типа указаны на рисунке: 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).

1.6. 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, паук, нектар, сова, муха;
- ж) скворец, личинка мухи, пищевые отходы, ястреб-перепелятник;
- з) землеройка, дождевой червь, опавшая листва;
- и) паук, сок розового куста, хищная птица, насекомоядная птица, тля;
- к) рыжая полевка, обыкновенная неясить, ежевика;
- л) сельдь, диатомовые водоросли, веслоногие рачки;
- м) пухоед, хвоя сосны, большая синица, сосновый шелкопряд;
- н) паук, нектар цветов, муха, синица, ястреб;
- о) короед, дятел, древесина;
- п) кузнечик, уж, цапля, лягушка, трава;
- р) мышь, аист, семена, гадюка;
- с) гусеница, листья, кукушка;
- т) личинка ручейника, зоопланктон, бокоплав, полярная тресочка, тюлень (кит, полярный медведь), фитопланктон;
- у) личинки насекомых, торф, хариус, белый медведь;
- ф) утка-морянка, фитопланктон, бокоплав.

2. На рис. 1.5 показаны потоки энергии, проходящей через небольшую 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;
- з) какие организмы являются вторичными консументами;
- и) какие организмы относятся к автотрофам, гетеротрофам?

3. Для экосистем, указанных в табл. 1.1 рассчитать чистую первичную продукцию, продуктивность сообщества. Сравнить экосистемы. Какие сообщества являются стабильными?

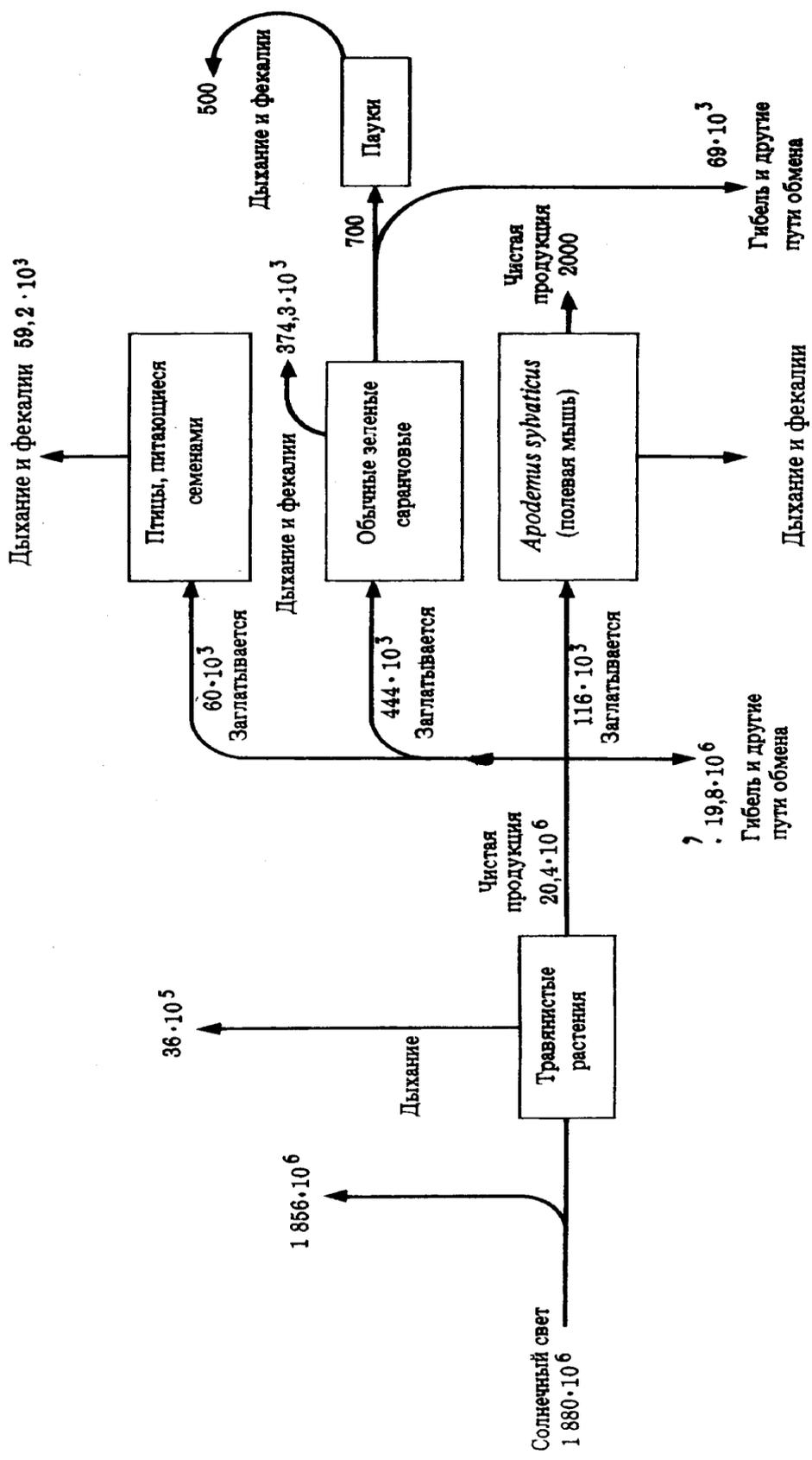


Рис. 1.5. Поток энергии через небольшую часть луговой экосистемы ($\text{кДж} / \text{м}^2 \cdot \text{год}$) [2]

Т а б л и ц а 1.1

Годовая продукция в экосистемах, ккал/ м² в год [3]

Показатели потока энергии в экосистемах	Экосистемы					
	Поле люцерны	Посадки сосны	Сосновый лес	Большой ручей	Дождевой лес	Прибрежный пролив
Валовая первичная продукция	24400	12200	11500	20800	45000	5700
Дыхание автотрофов	9200	4700	6500	12000	32000	3200
Дыхание гетеротрофов	800	4600	3000	6800	13000	2500

4. С помощью рис. 1.6 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 в одной блохе. Постройте пирамиду численности на основе следующей пищевой цепи: трава - травоядное млекопитающее - блоха - *Leptomonas*.

в) Дайте объяснение различия между пирамидами А и В.

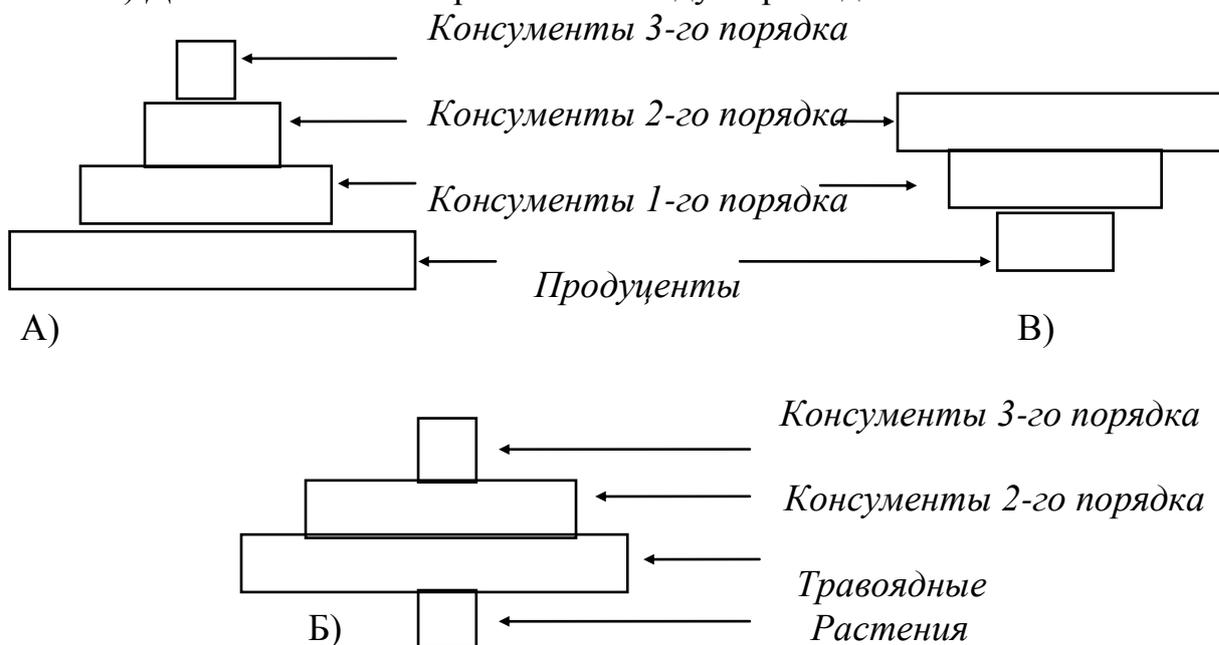


Рис. 1.6. Экологические пирамиды численности

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, донной растительности 1000 г/м² в год (в пересчете на сухое вещество).

6. По данным, приведенным в табл. 1.2 определить, какой из видов более эффективно использует энергию пищи на рост и накопление жировых запасов.

Т а б л и ц а 1.2

Продукция, тыс. кал/ га [8]

Вид	Корм		Вторичная продукция
	потребленный	усвоенный	
Малый суслик	535	427	40
Степной суслик	278	206	54

7. По данным табл. 1.3 рассчитать количество усвоенной пищи и ту часть усвоенной пищи, которая идет на метаболизм и на прирост биомассы. На что расходуется большая часть энергии пищи?

Т а б л и ц а 1.3

Показатели трофической деятельности сусликов в полупустыне Прикаспия, кг/га сухой массы [8]

Год	Урожай растений	Изъято сусликами	Кормовые остатки	Экскременты	Прирост биомассы популяции
1971	1150	240	121	24	4,2
1972	590	180	101	16	3,0
1973	1940	340	247	13	2,0

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*.

- 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, который поглощает многочисленные пищевые объекты, как правило, растительного происхождения, на которых 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, неспособные убежать и сопротивляться пищевые объекты.

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

- 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;
- и) 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) жук 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:

- 1) Волк;
- 2) Росянка;
- 3) Иксодовый клещ;
- 4) Слон;
- 5) Бычий цепень;
- 6) Дафния;
- 7) Кролик;
- 8) Рак;
- 9) Рысь;
- 10) Гриб трутовик;
- 11) Овца;

- 12) Подберезовик;
- 13) Палочка Коха;
- 14) Щука;
- 15) Самка комара;
- 16) Дождевой червь;
- 17) Личинка навозной мухи;
- 18) Колорадский жук;
- 19) Карп;
- 20) Клубеньковые бактерии;
- 21) Жук-скарабей.

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 (трофизм).

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 убежище другим и это не приносит хозяину ни вреда, ни пользы.
- Д. Совместное обитание двух особей, непосредственно не взаимодействующих между собой.

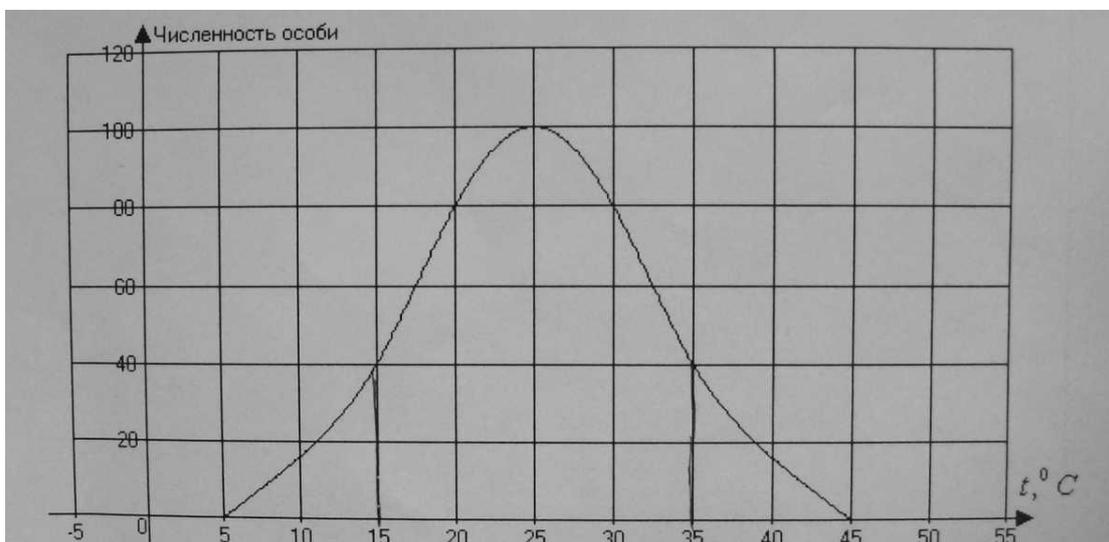
Е. Взаимодействие двух или нескольких особей, имеющих сходные потребности в одних тех же органических ресурсах, что приводит к снижению жизненных показателей взаимодействующих особей.

Ж. Взаимодействие двух или нескольких организмов, при котором одни питаются живыми тканями или клетками 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(квартиранство)соответственными парным комбинациям символов «+», «-», «0»). Приведите примеры этих взаимоотношений.

14. Рассмотрите график зависимости (рис.) 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.