

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

Л.М. Смоленская, С.Ю. Рыбина

ЭКОЛОГИЯ

Лабораторный практикум



Белгород
2013

УДК 628.3
ББК 38.761.2
С 51

Рецензенты:

Кандидат технических наук, старший преподаватель ФГА ОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»
(НИУ «БелГУ») *С.Н. Дудина*

Кандидат химических наук, профессор Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова *И. В. Тикунова*

Смоленская, Л.М. Экология: лабораторный практикум /
С 51 Л. М. Смоленская, С. Ю. Рыбина.– Белгород: Изд-во БГТУ,
2013. – 91 с.

В лабораторном практикуме представлены лабораторные работы, позволяющие оценить качество окружающей среды и выявить влияние антропогенного фактора на состояние экологических систем.

Лабораторный практикум предназначен для всех специальностей и направлений подготовки, изучающих дисциплину «Экология».

Издание публикуется в авторской редакции.

УДК 628.3
ББК 38.761.2

© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В. Г. Шухова, 2013

Введение

Экология как интегрированная наука изучает всесторонние взаимодействия организмов с окружающей средой и вызывает все возрастающий интерес по причине ее тесной связи с важнейшими проблемами современного мира: угрозой истощения природных ресурсов, загрязнения и отравления среды промышленными отходами, разрушением естественных сообществ.

Рационально расходовать минеральные ресурсы, сберечь и защитить растительный и животный мир, сохранить и улучшить среду обитания – важнейшие задачи, стоящие перед человечеством.

В современном обществе под влиянием средств массовой информации, экология часто трактуется как сугубо прикладное знание о состоянии среды обитания человека, и даже – как само это состояние (отсюда такие выражения как «плохая экология» того или иного района, «экологически чистые» продукты или товары). Хотя проблемы качества среды для человека, безусловно, имеют очень важное практическое значение, а решение их невозможно без знания экологии, круг задач этой науки гораздо более широкий.

Экология как наука основана на разных разделах биологии и связана с другими науками (например, с физикой, химией, географией, психологией, педагогикой, правом). Только на основе интеграции этих дисциплин возможно преодолеть технократическую парадигму мышления, выработать новый тип экологического сознания, мышление, коренным образом меняющее поведение людей по отношению к природе.

Данный лабораторный практикум охватывает основные разделы экологии, позволяет студентам ориентироваться в вопросах живого облика биосферы, который тесно связан с неживым.

В лабораторном практикуме дисциплины «Экология» к каждой лабораторной работе приводится теоретическое обоснование, а также даны контрольные вопросы для самостоятельной проверки усвоения теоретического материала.

Лабораторная работа № 1

Определение содержания нитратов в растительных объектах

Цель работы: углубить представления о миграции азота в биосфере, определить содержание нитратного азота в растениях.

Теоретическое обоснование

Движение азота представляет собой достаточно сложный процесс, так как включает в себя газообразную и минеральную фазу. В газообразной форме молекулярный азот (N_2) довольно инертен, его содержание в атмосфере составляет 78%. При всей огромной значимости азота для жизнедеятельности живых организмов они не могут непосредственно потреблять этот газ из атмосферы, растения усваивают ионы аммония (NH_4^+) или нитрата (NO_3^-). Для того чтобы азот преобразовался в эти формы, необходимо участие некоторых бактерий или синезеленых водорослей (цианобактерий). Процесс превращения газообразного азота (N_2) в аммонийную форму носит название азотфиксации. Важнейшую роль среди азотфиксирующих микроорганизмов играют бактерии из рода *Rhizobium*, которые образуют симбиотические связи с бобовыми растениями. Азотфиксирующие бактерии, создавая форму азота, которая усваивается растениями, за счет симбиотического взаимодействия позволяют накапливаться азоту в наземных и подземных частях растений. Сами азотфиксирующие микроорганизмы, среди которых есть виды, синтезирующие сложные протеины, отмирая, обогащают почву органическим азотом (рис. 1).

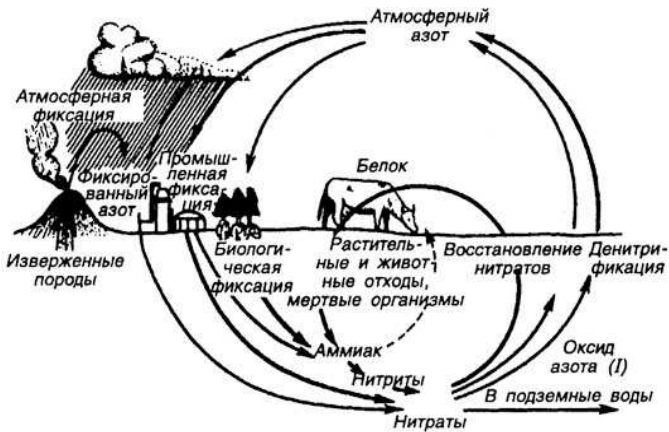
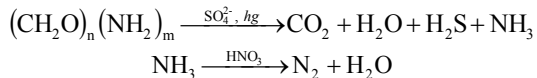


Рис. 1. Круговорот азота в биосфере

В природе есть также микроорганизмы, которые обладают симбиотическими связями не только с бобовыми, но и с другими растениями. В водной среде и на переувлажненных почвах азотфиксацию осуществляют сине-зеленые водоросли (способные одновременно и к фотосинтезу).

Азот после потребления его растениями участвует в синтезе протеинов, которые, сосредоточиваясь в листьях растений, затем обеспечивают азотное питание фитофагов. Мертвые организмы и отходы жизнедеятельности (экскременты) являются средой обитания и служат пищей для сапрофагов, которые постепенно разлагают органические азотосодержащие соединения до неорганических. Конечным звеном в этой цепи оказываются аммонифицирующие организмы, образующие аммиак (NH_3), который, может быть вовлечен в цикл нитрификации. *Nitrosomonas* окисляют аммиак в нитриты, а *Nitrobacter* окисляют нитриты в нитраты и таким образом круговорот азота может быть продолжен. Параллельно происходит постоянное возвращение азота в атмосферу за счет деятельности бактерий – денитрификаторов, способных разлагать нитраты и в азот (N_2). Денитрификация происходит только в анаэробных условиях, когда бактерии используют нитрат как окислитель, заменяющий кислород в реакциях окисления органических веществ. Сам нитрат при этом восстанавливается до молекулярного азота. Если израсходованы нитрат-ионы, то для окислительных процессов используется кислород сульфат-ионов:



Кроме указанных процессов азотфиксации в природной среде возможно образование оксидов азота при электрических грозовых разрядах. Эти оксиды затем в виде селитры или азотной кислоты при смешивании с атмосферными осадками попадают в почву. Имеет место и фотохимическая фиксация азота.

В последнее время применение удобрений, увеличение объемов производств, сопровождающихся образованием азотсодержащих отходов, и другие причины привели к тому, что в почвах, воде, и как следствие – в живых организмах накапливается избыточное количество нитратов. Легкорастворимые нитраты при выпадении большого количества осадков вымываются в глубокие горизонты и могут проникать в грунтовые воды. Накопленные в почве нитраты интенсивно всасываются растениями, что приводит к избыточному содержанию нитратов и в растительных тканях.

Избыток содержания нитратов в воде и пищевых продуктах вредит здоровью людей, так как появление в организме нитрита, восстано-

ленного из нитрата, служит причиной образования метгемоглобина, в котором кислород прочно связан с гемоглобином, что снижает способность эритроцитов переносить кислород. Повышенное содержание нитратов в водных объектах вызывает бурный рост фитопланктона, приводящий к эвтрофикации водоемов.

Оборудование и реактивы: иономер И 160 МИ; электроды хлор-серебряный и нитратселективный; гомогенизатор; 0,1 н раствор KNO_3 ; 1% раствор алюмокалиевых квасцов.

Порядок выполнения работы

Пробу растительного материала в количестве 0,25-0,5 кг сначала отмыть и просушить фильтровальной бумагой, а затем измельчить. 20 г пробы взвесить с точностью до первого десятичного знака и поместить в стакан гомогенизатора. Прилить в стакан 100 мл 1 % раствора алюмокалиевых квасцов и гомогенизировать смесь в течение 1-2 мин.

Погрузить в гомогенизированную массу электроды и определить содержание нитратов в исследуемых растительных тканях, мг/кг.

Полученные значения сравнить с санитарно-гигиеническими нормами содержания нитратов в растительных продуктах (табл. 1) и сделать вывод о содержании нитратов в растениях и почвах в месте произрастания растений, а также оценить безопасный уровень потребления анализируемого растительного объекта.

Таблица 1

Санитарно-гигиенические нормы и допустимые уровни нитратов в растительных продуктах

Продукт	Допустимые уровни, мг/кг	Продукт	Допустимые уровни, мг/кг
Картофель	250	Редис, редька	1200
Морковь ранняя	400	Огурцы	150
поздняя	250	Кабачки	400
Свекла столовая	1400	Баклажаны	300
Лук репчатый	80	Яблоки	60
Перец сладкий	200	Груши	60
Зеленый горошек	112	Арбузы	60
Помидоры	150	Дыни	90
Капуста ранняя	900	Персик	60
поздняя	500	Виноград	60
Тыква	200	Слива	60

Всемирная организация здравоохранения рекомендует общую норму поступления нитратов в организм с пищей и водой не более 3,7 мг на 1 кг массы тела (т.е. человек весом в 70 кг может употреблять в сутки до 250 мг нитратов).

Требования к отчету

В отчете представить краткое описание работы; результаты анализа растительных объектов; вывод о соответствии содержания нитратов в растительной ткани допустимым уровням.

Задания для самоподготовки

1. Биогенные элементы, их характеристики.
2. Способы фиксации атмосферного азота.
3. Круговорот азота в природе. Процессы нитрификации и денитрификации в рамках круговорота азота.
4. Аэробные и анаэробные условия функционирования микроорганизмов.
5. В чем опасность увеличения содержания нитратов в растительных пищевых объектах? в поверхностных водоемах?

Лабораторная работа № 2

Изучение процесса фотосинтеза.

Продукты фотосинтетических реакций.

Цель работы: ознакомиться с процессом фотосинтетического образования углеводов в растительных тканях.

Теоретическое обоснование

Фотосинтез – это процесс, при котором энергия солнечного света превращается в химическую энергию. Фотосинтез протекает в две фазы: световую, идущую только на свету, и темновую, которая идет как в темноте, так и на свету.

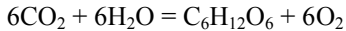
Световая фаза фотосинтеза осуществляется в хлоропластах, где на мембранах расположены молекулы хлорофилла. Хлорофилл поглощает энергию солнечного света. Под влиянием этой энергии молекула хлорофилла возбуждается, и один из ее электронов переходит на более высокий энергетический уровень. Богатый энергией электрон участвует в окислительно-восстановительных реакциях и отдает избыточную энергию, проходя по цепи переносчиков электронов. Эта цепь образована различными белками, встроенными во внутреннюю мембрану хлоропласта. Отдаваемая электроном энергия используется на синтез молекул аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Таким образом, энергия солнечного света необходима для перемещения электронов по цепи переносчиков электронов. При этом световая энергия преобразуется в химическую, и запасается в молекулах АТФ.

Молекулы хлорофилла, потерявшие электроны, присоединяют электроны, образуящиеся при расщеплении молекулы воды: $2\text{H}_2\text{O} = 4\text{H}^+ + \text{O}_2 + 4\text{e}^-$. Процесс расщепления молекул воды под влиянием солнечной энергии называют *фотолизом*.

В результате световой фазы фотосинтеза протоны H^+ соединяются с никотинамидадениндинуклеотидфосфатом (НАДФ) – переносчиком ионов водорода и электронов, и восстанавливают его, образуя НАДФ-Н, синтезируется АТФ из АДФ и фосфорной кислоты, в окружающую среду выделяется молекулярный кислород.

В темновой стадии с участием АТФ и НАДФ-Н происходит восстановление CO_2 до глюкозы ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$). Хотя свет не требуется для осуществления данного процесса, он участвует в его регуляции.

В целом, химический баланс фотосинтеза может быть представлен в виде простого уравнения:



Глюкоза под действием ферментов превращается в полисахариды. Основным структурным компонентом растений является *целлюлоза*, представляющая собой совокупность длинных неразветвленных цепей. Второй важнейший природный полисахарид – *крахмал*, имеет разветвленную структуру. Биологическая роль крахмала состоит в том, что он является запасным питательным веществом.

Способность использовать свет как источник энергии, необходимой для роста, присуща некоторым группам бактерий. В отличие от высших растений, пурпурные водоросли при фотосинтезе не выделяют кислород, т.к. для фотовосстановления CO_2 используют в качестве донора водорода не воду, а сероводород, тиосульфат, молекулярный водород или органические соединения. Некоторые пурпурные бактерии, окисляя сероводород и тиосульфат, накапливают в клетках серу:



где $[\text{CH}_2\text{O}]_n$ – условное обозначение образующихся органических веществ.

Хемосинтез – тип питания, свойственный некоторым бактериям, способным усваивать CO_2 как единственный источник углерода за счёт энергии окисления неорганических соединений. В отличие от фотосинтеза, при хемосинтезе используется не энергия света, а энергия, получаемая при окислительно-восстановительных реакциях, которая должна быть достаточна для синтеза (АТФ) и превышать 10 ккал/моль.

Водородные бактерии – наиболее многочисленная и разнообразная группа хемосинтезирующих организмов; осуществляют реакцию $6\text{H}_2 + 2\text{O}_2 + \text{CO}_2 = [\text{CH}_2\text{O}]_n + 5\text{H}_2\text{O}$. По сравнению с другими авто-

трофными микроорганизмами характеризуются высокой скоростью роста и могут давать большую биомассу.

Одним из принципиальных отличий клеток растительного происхождения (КРП) от клеток животного происхождения (КЖП) является то, что протоплазма первых состоит главным образом из хлорофилла, а протоплазма вторых – из гемоглобина. Хлорофилл КРП отличается от гемоглобина КЖП только тем, что в состав хлорофилла входит магний, а в состав гемоглобина – двухвалентное железо. Поэтому хлорофилл зеленый, а гемоглобин красный.

Оборудование и реактивы: стакан (0,25 л); стеклянный колпак; лампа настольная; электроплитка; спирт этиловый; раствор йода в йодиде калия.

Порядок выполнения работы

Комнатное растение поместить на сутки в темноту. За это время в растении почти полностью расходуется крахмал, переходя под действием ферментов в сахар, который окисляется в результате клеточного дыхания до углекислого газа и воды.

Через сутки вынести растение на свет, срезать с него лист. На лист прикрепить полоску темной бумаги, согнутую пополам так, чтобы она закрывала часть листа с двух сторон. Лист поместить в стакан с водой. Накрыть лист стеклянным колпаком и в течение 2-3 ч освещать светом настольной лампы, ориентируя ее так, чтобы лучи падали на лист перпендикулярно его поверхности.

Выдержанный на свету лист после снятия бумаги поместить в чашку с 90 %-ным этанолом и кипятить в течение 5-10 мин, затем перенести лист в чашку с водой и выдерживать на водяной бане до полного обесцвечивания. Вынуть лист, расправить в чашке Петри и нанести на него раствор йода в йодиде калия. Отметить реакцию на крахмал, сделать вывод о протекании процесса и о продуктах фотосинтеза.

Требования к отчету

В отчете привести название и краткое описание работы, основные реакции фотосинтеза органических соединений в исследуемых тканях, объяснить наблюдаемые в работе явления.

Задания для самоподготовки

1. Особенности световой и темновой фаз фотосинтеза.
2. Первичные продукты фотосинтеза, их дальнейшие превращения.
3. Роль фотосинтеза в жизнедеятельности биосферы.

4. Отличительная особенность фотосинтеза у хлорофиллсодержащих и безхлорофильных растений.
5. Как образуется биомасса при хемосинтезе.

Лабораторная работа № 3

Определение содержания углекислого газа в воздухе рабочей зоны

Цель работы. Методом химического анализа определить содержание углекислого газа в воздухе рабочей зоны.

Теоретическое обоснование

Атмосфера – газовая оболочка Земли, простирающаяся более чем на 1500 км от ее поверхности. Суммарная масса воздуха, т.е. смеси газов, составляющих атмосферу, $5,1-5,3 \cdot 10^{15}$ т. Молекулярная масса чистого сухого воздуха – 28,966.

Для атмосферы характерен постоянный обмен веществом, энергией с гидросферой, литосферой, живыми организмами, а также с космическим пространством. Атмосферу в порядке удаления от поверхности Земли делят на тропосферу (до высоты 11 км), стратосферу (до высоты 50 км), мезосферу (50-85 км), ионосферу (от 85 до 500 км), экзосферу (свыше 500 км). Состав атмосферы – результат длительных эволюционных процессов в недрах Земли и на ее поверхности, где решающим фактором была деятельность зеленых растений, животных и микроорганизмов. Данные о составе атмосферы приведены в табл. 2.

Концентрация газов, составляющих атмосферу, практически постоянна, за исключением воды (H_2O) и углекислого газа (CO_2).

Кроме указанных в таблице газов, в атмосфере содержатся SO_2 , NH_3 , CO , углеводороды, HCl , HF , пары Hg , I_2 , а также NO и многие другие газы в незначительных количествах. В тропосфере постоянно находится большое количество взвешенных твердых и жидких частиц (аэрозоль).

Верхняя граница тропосферы находится на высоте 8-10 км в полярных, 10-12 км в умеренных и 16-18 км в тропических широтах; зимой ниже, чем летом. Нижний, основной слой атмосферы содержит более 80 % всей массы атмосферного воздуха и около 90 % всего имеющегося в атмосфере водяного пара. В тропосфере сильно развиты турбулентность и конвекция, возникают облака, развиваются циклоны и антициклоны. Температура убывает с ростом высоты со средним вертикальным градиентом $0,6-0,65^\circ/100$ м.

Таблица 2

Состав атмосферного воздуха вблизи земной поверхности

Элемент и газ	Содержание в нижних слоях атмосферы, %	
	По объёму	По массе
Азот	78,08	75,5
Кислород	20,95	23,14
Аргон	0,934	1,28
Неон	0,0018	0,0012
Гелий	0,000524	0,00007
Криптон	0,000114	0,0003
Водород	0,00005	$5 \cdot 10^{-6}$
Углекислый газ (в среднем)	0,034	0,0466
Водяной пар (в среднем):		
в полярных широтах	0,2	
у экватора	2,6	
Озон:		
в тропосфере	10^{-6}	
в стратосфере	$10^{-3} \dots 10^{-4}$	
Метан	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$0,9 \cdot 10^{-4}$
Оксид азота (IV)	10^{-6}	$0,3 \cdot 10^{-6}$
Оксид углерода	Следы	
в атмосфере городов	$0,8 \cdot 10^{-5}$	$7,8 \cdot 10^{-6}$

Тропауза – переходный слой от тропосферы к стратосфере, в котором прекращается снижение температуры с высотой.

От стратосферы к ионосфере плотность газов уменьшается, в стратосфере находится около 20% массы всех газов, в остальных слоях – всего около 0,5 %. Самый важный компонент стратосферы и ионосферы – озон (O_3), образующийся в результате фотохимических реакций. Максимальная концентрация озона зафиксирована на высоте 25-30 км. Озоновый слой поглощает губительное для жизни УФ-излучение Солнца. В стратосфере и более высоких слоях под воздействием солнечной радиации молекулы газов диссоциируют на атомы (на высоте более 80 км диссоциируют H_2 и CO_2 , выше 150 км – O_2 , выше 300 км – N_2). На высоте 100 – 400 км в ионосфере происходит также ионизация газов. На высоте 320 км концентрация заряженных частиц (O_2^+ , O_2^- , N_2^+) составляет ~1/300 от концентрации нейтральных частиц. В верхних слоях атмосферы появляются свободные радикалы – OH^- , HO_2^- и др.

До высоты 100 км атмосфера представляет собой гомогенную хорошо перемешанную смесь газов. В более высоких слоях распределение газов по высоте зависит от их молекулярных масс, концентрация более тяжёлых газов убывает быстрее по мере удаления от поверхности Земли. Вследствие уменьшения плотности газов температура понижается от $0^\circ C$ в стратосфере (на высоте ~ 50 – 55 км) до $-110^\circ C$ в

мезосфере (~ 80 – 85 км). Однако кинетическая энергия отдельных частиц на высотах 200-250 км соответствует температуре ~150°C. Выше 200 км наблюдаются значительные флуктуации температуры и плотности газов во времени и пространстве.

Выше мезопаузы до высоты 500 км температура монотонно повышается до 1000-1500°C, после чего остаётся почти постоянной до больших высот. Под действием ультрафиолетовой и рентгеновской солнечной радиации и космического излучения происходит ионизация воздуха («полярные сияния») – основные области ионосферы лежат внутри термосферы. На высотах свыше 300 км преобладает атомарный кислород. Верхний предел термосферы в значительной степени определяется текущей активностью Солнца.

Область атмосферы, прилегающая сверху к термосфере – термопауза. В этой области поглощение солнечного излучения незначительно и температура фактически не меняется с высотой. Выше термопаузы находится экзосфера, для нее характерна относительно постоянная высокая температура. Экзосфера – зона рассеяния, внешняя часть термосферы, расположенная выше 700 км. Газ в экзосфере сильно разрежён, и отсюда идёт утечка его частиц в межпланетное пространство (диссипация). Самые высокие слои состоят из H_2 и He, которые медленно рассеиваются в мировое пространство.

Оборудование и реактивы: колба коническая объемом на 50 мл, шприцы, лист белой бумаги, поглотительный раствор.

Порядок выполнения работы

1. Определение содержания углекислого газа в рабочей зоне

На первом этапе необходимо провести исследование воздуха открытой атмосферы (вне помещений). Для этого набрать шприцем 10 мл поглотительного раствора; перемещая поршень, заполнить воздухом свободное пространство. Не отпуская поршня, энергично встряхивать шприц до поглощения углекислого газа из воздуха в объёме шприца поглотительным раствором. С помощью поршня удалить воздух из шприца, стараясь сохранить в нем исходное количество поглотительного раствора. Эту процедуру повторить несколько раз до полного обесцвечивания раствора. Объём воздуха, пошедший на обесцвечивание раствора, можно рассчитать, зная количество ходов поршня шприца при заборе воздуха и объём шприца, занимаемый воздухом. После проведенного исследования освободить шприц от использованного раствора и ополоснуть дистиллированной водой. Вновь, наполнив шприц 10 мл поглотительного раствора, повторить эксперимент с воздухом зоны, где требуется определить концентрацию углекислого газа.

Расчет содержания CO_2 (%) проводят по следующей формуле:

$$X = \frac{0,04 \cdot V}{V_1},$$

где V – объем воздуха открытой атмосферы, пошедший на обесцвечивание поглотительного раствора, м^3 ; V_1 – объем воздуха исследуемой зоны, пошедший на обесцвечивание поглотительного раствора, м^3 ; 0,04 – содержание углекислого газа в воздухе, %.

2. Определение вентиляционного объема воздуха

Расчет необходимого вентиляционного объема воздуха ($\text{м}^3/\text{ч}$), т.е. объема свежего воздуха, который надо подавать в помещение на одного человека, чтобы содержание CO_2 не превысило допустимого уровня (0,1 %), произвести по следующему соотношению:

$$L = \frac{K}{p - X},$$

где K – количество литров CO_2 , выдыхаемое одним человеком за один астрономический час при спокойной сидячей работе (для взрослого, в среднем – 22,6 л/ч); p – предельно допустимое содержание CO_2 в воздухе учебного помещения (0,1 %, или 1 л/ м^3); X – концентрация CO_2 в исследуемой зоне (л/ м^3).

Зная вентиляционный объем воздуха, рассчитать коэффициент вентиляции (W), который показывает, сколько раз в течение 1 часа воздух помещения должен смениться, чтобы содержание CO_2 не превысило допустимого уровня:

$$W = \frac{L}{V_{в.к}} - 2.$$

Воздушный куб рассчитать по формуле

$$V_{в.к} = \frac{V_n}{n} - 2,$$

где $V_{в.к}$ – воздушный куб (м^3), приходящийся на одного человека (физиологическая норма на человека в час – 15-20 м^3 , гигиеническая норма – 4,5-5 м^3 на одного человека); V_n – объем исследуемой зоны (учебного помещения), м^3 ; n – количество человек, находящихся в зоне.

Требования к отчету

В отчете привести название, цель и сущность работы, результаты расчетов содержания углекислого газа, объема вентиляционного воздуха, коэффициента вентиляции. Обосновать полученные данные.

Задания для самоподготовки

1. Строение атмосферы.

2. Состав атмосферного воздуха.
3. Характеристики атмосферных слоев.
4. Озоновый слой планеты.
5. Роль углекислого газа в окружающей среде.

Лабораторная работа № 4

Оценка качества атмосферного воздуха методом лишеноиндикации

Цель работы: освоить метод лишеноиндикации, научиться определять качество атмосферного воздуха.

Теоретическое обоснование

Каждая природная система имеет свою реакцию на естественные, антропогенно-модифицированные и антропогенные факторы окружающей среды, которая отражается в пространстве и во времени. Время и пространство ответной реакции зависят и от реагирующей, и от индуцирующей систем. Поэтому правомерно все природные системы называть природными индикаторами.

Существуют различные виды природной индикации:

- фитоиндикация – в роли индикаторов выступают высшие растения;
- педоиндикация – индикация загрязнения окружающей среды по составу почвы;
- индикация по снежному покрову;
- лишеноиндикация – индикация состояния окружающей среды по видовому и качественному составу лишайников.

Лишайник – организм, тело которого постоянно состоит из двух компонентов – автотрофного фикобионта (водоросли) и гетеротрофного микобионта (гриба), образующих единое симбиотическое сожительство, отличающееся особыми морфологическими типами и особыми физико-биохимическими процессами. Растут лишайники практически на любой твердой поверхности: живых и мертвых деревьях, камнях, бетонных конструкциях, предпочитая слабощелочной субстрат. Для пассивной лишеноиндикации чаще всего используются эпифитные лишайники, то есть растущие на коре деревьев, как наиболее распространенные и доступные для наблюдения и изучения.

В лишеноиндикационных исследованиях в качестве субстрата используются различные деревья. Для оценки загрязнения атмосферы города, районного центра, поселка выбирается вид дерева, который наиболее распространен на исследуемой территории.

Природа лишайников позволяет им получать питание не только из почвы, но и из воздуха, атмосферных осадков, влаги росы и туманов, частиц пыли, оседающей на поверхности слоевища. Лишайники реагируют на загрязнение иначе, чем высшие растения. Долговременное воздействие низких концентраций загрязняющих веществ вызывает у лишайников такие повреждения, которые не исчезают вплоть до гибели их слоевищ.

Известно, что с помощью лишайников можно получить достоверные данные об уровне загрязнения воздуха. Этот метод получил название лихеноиндикация. Многие лишайники обладают сверхповышенной чувствительностью к некоторым химическим веществам: оксидам сера и азота, тяжелым металлам и другим.

По внешнему виду лишайники делят на накипные (корковые), листоватые, кустистые (рис. 2).

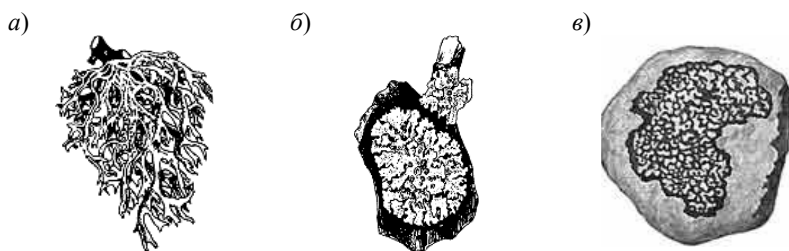


Рис. 2. Классификация лишайников: а) кустистые, б) листоватые, в) накипные

Накипные – имеют слоевище в виде тонкой (гладкой или зернистой, бугорчатой) корочки и очень плотно срастаются с субстратом (корой; камнем, почвой) – отделить их без повреждений от субстрата нельзя.

Листоватые – имеют вид мелких чешуек или пластинок прикрепляются пучками грибных гиф (ризоидами) и легко отделяются от субстрата.

Кустистые – имеют вид тонких нитей или более толстых ветвящихся кустиков, прикрепляющихся к субстрату своими основаниями.

По отношению к загрязнению воздуха виды лишайников можно разделить на три категории: 1) самые чувствительные, исчезающие при первых симптомах загрязнения; 2) среднечувствительные, приходящие на смену погибшим чувствительным видам, с которыми они не могли конкурировать, пока воздух был чистым; 3) самые выносливые, толерантные к загрязнению.

При повышении степени загрязненности воздуха первыми исчезают кустистые лишайники, за ними – листоватые и последними – накипные, т. к. наиболее устойчивыми к загрязнителям являются накипные лишайники, среднеустойчивы – листоватые, слабоустойчивые – кустистые лишайники.

Повышенная чувствительность лишайников к загрязнению природной среды по сравнению с другими растениями объясняется рядом причин. Во-первых, у лишайников отсутствует непроницаемая кутикула (оболочка), вследствие чего обмен газов происходит свободно через всю поверхность. Во-вторых, большинство токсичных газов абсорбируется в дождевой воде, а лишайники впитывают дождевую воду всей поверхностью в отличие, например, от цветковых растений, которые поглощают воду в основном из почвы. В-третьих, в отличие от тех же цветковых растений некоторые лишайники активны и в зимнее время при отрицательных температурах. В-четвертых, лишайники не способны избавляться от пораженных ядовитыми для них веществами частей своего тела каждый год, как это происходит у покрытосеменных в виде сброса листьев и плодов. Перечисленные причины высокой чувствительности лишайников к загрязняющим веществам позволяют понять, почему данные представители растительного мира редко встречаются или вообще отсутствуют в пределах городской черты.

Видовой состав лишайников в разных районах города очень разнообразен. Есть территории (наиболее загрязненные), на которых они практически отсутствуют – лишайниковые «пустыни». Часть города (средняя степень загрязненности), где лишайники с пониженной жизнеспособностью, их малое видовое разнообразие – зона «соревнования». Периферийные зоны города, где встречаются многие виды лишайников, – «нормальная» зона.

Считается, что наибольшее влияние на жизнедеятельность лишайников оказывают диоксид серы, диоксид азота, фториды, озон, тяжелые металлы; причем SO_2 является доминирующим фактором. Именно SO_2 определяет распространенность многих эпифитных лишайников. Установлено, что диоксид серы в концентрации 0,08-0,1 мг/м³ вызывает нарушение процесса фотосинтеза, появление бурых пятен в хлоропластах лишайниковых водорослей, деградацию хлорофилла, угнетение роста слоевищ. При низких значениях pH атмосферной влаги (3,2-3,4) хлорофилл необратимо окисляется, а при pH равном 2-3 он превращается в феофитин и расщепляется далее. Повышение влажности приводит к усилению растворения SO_2 и подкислению среды. По этой причине лишайники очень неустойчивы к фитотоксиканту при высокой влажности, но могут успешно выживать при достаточно

С помощью табл. 4 оценить качество воздуха, используя средние значения числа видов лишайников, степени покрытия и общего количества лишайников на всех 10-и исследуемых деревьях.

Таблица 4



Шкала качества воздуха по проективному покрытию лишайниками стволов деревьев

Степень покрытия	Число видов	Степень загрязнения		Средняя концентрация SO ₂ , мг/м ³
Более 20 %	Более 5	6 зона	<i>Очень чистый воздух</i>	< 0,005
	3-5	5 зона	<i>Чистый воздух</i>	0,005-0,009
	2-5	4 зона	<i>Относительно чистый воздух</i>	0,01-0,05
10-20 %	Более 5	3 зона	<i>Умеренное загрязнение</i>	0,05-0,1
0-10 %	Более 2	3 зона	<i>Умеренное загрязнение</i>	0,05-0,1
	3-5	2 зона	<i>Сильное загрязнение</i>	0,1-0,3
	0-2	1 зона	<i>Очень сильное загрязнение</i>	0,3-0,5

Среднюю концентрацию SO₂ (мг/м³) в воздухе определить по уравнению:

$$C(\text{SO}_2) = 18,72 - 3,94 Q - 0,15 h - 2,38 p,$$

где Q – освещенность на высоте 1,5 м; лк; h – средняя высота мха на стволе, м; p – степень покрытия древесной растительности лишайниками.

Освещенность измерять с использованием прибора Testo 540 2. Для включения прибора нажать кнопку , затем с помощью кнопки  выбрать режим измерения (лк). Расположить прибор горизонтально таким образом, чтобы световой сенсор был направлен вверх, и выполнить измерение.

Для каждой площади описания и для каждого типа роста лишайников – накипных, листоватых и кустистых – выставить баллы встречаемости и покрытия.

Оценку частоты встречаемости и степени покрытия осуществить по пятибалльной шкале (табл. 5).

Таблица 5

Шкала частоты встречаемости и степени покрытия

Частота встречаемости (в %)		Степень покрытия		Балл оценки
Очень редко	Менее 5%	Очень низкая	Менее 5%	1
Редко	5-20%	Низкая	5-20%	2
Редко	20-40%	Средняя	20-40%	3
Часто	40-60%	Высокая	40-60%	4
Очень часто	60-100%	Очень высокая	60-100%	5

После проведения исследований сделать расчет средних баллов встречаемости и покрытия для каждого типа роста лишайников – на-

кипных (Н), листоватых (Л) и кустистых (К). Зная баллы средней встречаемости и Н, Л, К, рассчитать показатель относительной чистоты атмосферы (ОЧА) по формуле:

$$\text{ОЧА} = (\text{Н} + 2\text{Л} + 3\text{К})/30$$

Чем ближе показатель ОЧА к единице, тем чище воздух местообитания.

Требования к отчету

В отчете привести краткое описание работы, полученные результаты, дать обобщающий ответ о качестве атмосферного воздуха по индикаторным видам лишайников и проективному покрытию ими стволов деревьев, а также определить содержание диоксида серы. По полученным данным сделать вывод о степени загрязнения воздуха на изучаемой территории.

Задания для самоподготовки

1. Особенности лишайников как тест-объектов.
2. Виды лишайников, применяемых при биотестировании.
3. Устойчивость лишайников к загрязнениям.
4. Как осуществляется оценка качества воздуха лишеноиндикацией?
5. С какой целью выставляются баллы встречаемости и покрытия?

Лабораторная работа № 5

Определение содержания аммиака в воздухе

Цель работы: освоить методику определения аммиака и выявить его присутствие в воздухе рабочей зоны.

Теоретическое обоснование

Процессы, происходящие в атмосфере, возникают и развиваются в основном в результате превращений энергии, поступающей к ней от Солнца. В атмосфере постоянно осуществляется преобразование лучистой энергии; происходит круговорот тепла, влаги и различных примесей; развиваются оптические, электрические и многие другие явления.

Присутствие газов с высокой прозрачностью в видимом диапазоне и с высоким поглощением в дальнем инфракрасном диапазоне в атмосфере планеты приводит к появлению *парникового эффекта*. Основными парниковыми газами, в порядке их оцениваемого воздействия на тепловой баланс Земли, являются водяной пар, углекислый газ, метан, озон, хлорфторуглероды, гемиксид азота. Парниковая активность метана примерно в 21 раз выше, чем у углекислого газа.

Атмосферный воздух содержит разнообразные загрязнения как естественные (природные), так и искусственные (антропогенные).

В местах поступления в атмосферу загрязнителей антропогенного характера концентрация их может быть весьма значительной. В воздушной среде, преимущественно в нижних приземных слоях тропосферы, образуются очаги сильно загрязненного воздуха, оказывающие в локальных масштабах большое влияние на природную среду.

Основными источниками очаговых загрязнений атмосферы являются газопылевые выбросы предприятий химической, металлургической и машиностроительной промышленности, тепловых электростанций и транспортных машин. Эти загрязнения наиболее характерны для городов, промышленных районов и автомобильных магистралей.

По характеру загрязнителя загрязнение атмосферы бывает трех видов:

– *физическое* – механическое (пыль, твердые частицы), радиоактивное (радиоактивное излучение и изотопы), электромагнитное (различные виды электромагнитных волн, в том числе радиоволны), шумовое и тепловое загрязнение;

– *химическое* – загрязнение газообразными веществами и аэрозолями. На сегодняшний день основные химические загрязнители атмосферного воздуха: оксид углерода (IV), оксиды азота, диоксид серы, углеводороды, альдегиды, тяжёлые металлы (Pb, Cu, Zn, Cd, Cr), аммиак, атмосферная пыль и радиоактивные изотопы;

– *биологическое* – в основном загрязнение микробной природы. Например, загрязнение воздуха вегетативными формами и спорами бактерий и грибов, вирусами, а также их токсинами и продуктами жизнедеятельности.

Атмосферные загрязнители делятся на первичные, поступающие непосредственно в атмосферу, и вторичные, являющиеся результатом превращений последних.

Загрязнение атмосферы приводит к появлению смога – аэрозоля, состоящего из дыма, тумана и пыли. Выделяют три типа смога: *ледяной смог* (аляскинского типа); *влажный смог* (лондонского типа); *сухой*, или *фотохимический смог* (лос-анджелесского типа).

Ледяной смог возникает при очень низких температурах и антициклоне. В этом случае выбросы даже небольшого количества загрязняющих веществ приводят к возникновению густого тумана, состоящего из мельчайших кристалликов льда и, например, серной кислоты.

Различия между «влажным смогом», вызванным сжиганием угля в Лондоне, и «сухими смогом», обусловленным автомобильными выхлопами в Лос-Анджелесе, приведены в табл. 6.

Таблица 6

Сравнение смогов Лос-Анджелеса и Лондона

Характеристика	Лос-Анджелес	Лондон
Температура воздуха	От 24 до 32°C	От -1 до 4°C
Относительная влажность	<70%	85% (+ туман)
Инверсия температуры	На высоте 1000 м	На высоте нескольких сотен метров
Скорость ветра	< 3м/с	Безветренно
Видимость	<0,8–1,6 км	<30 м
Месяцы наиболее частого появления	Август – сентябрь	Декабрь – январь
Основные топлива	Бензин	Уголь (и бензин)
Основные составляющие	O ₃ , NO, NO ₂ , CO, органические вещества	Мелкие частицы, CO, соединения серы
Тип химических реакций	Окисление	Восстановление
Время максимального сгущения	Полдень	Раннее утро
Основное воздействие на здоровье	Раздражение глаз, нарушение дыхание	Раздражение дыхательных путей
Наиболее повреждаемые материалы	Резина	Железо, бетон

Образовавшийся смог любого типа гораздо более вреден для здоровья, чем набор всех его компонентов по отдельности. Особенно опасен смог в период температурных инверсий.

Инверсия – явление увеличения температуры воздуха с высотой вместо обычного для тропосферы ее убывания на 0,6°C на каждые 100 м. Чаще всего инверсии наблюдаются в самом нижнем слое воздуха по ночам. Они связаны с сильным охлаждением воздуха от земной поверхности. В этом случае более холодный слой воздуха оказывается «прижатым к земле». Инверсия затрудняет вертикальный воздухообмен. Если повышение температуры наблюдается непосредственно у земной поверхности, то такую инверсию называют приземной, а в случае повышения температуры на некоторой высоте от земной поверхности – приподнятой. Если явление инверсии происходит над источником выброса, то это, как правило, затрудняет подъем отходящих газов и способствует накоплению загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы.

В определенных условиях (аварии, связанные с выбросом значительных количеств аммиака на предприятиях; усугубляющие ситуацию температурные инверсии; неисправности в системе вентиляции на рабочих местах) такое газообразное соединение, как аммиак (NH₃), может являться загрязнителем атмосферы.

Аммиак – токсичный газ с душливым запахом. Он вызывает острое раздражение слизистых оболочек, слезотечение, расстройство кровообращения, кроме того, этот газ взрывоопасен. Содержание аммиака в воздухе рабочей зоны не должно превышать 20 мг/м³. В атмосферном воздухе населённых пунктов и в жилых помещениях среднесуточ-

ная концентрация аммиака (ПДК_{с.с.}) не должна превышать 0,04 мг/м³. Максимальная разовая концентрация в атмосфере – 0,2 мг/м³. Таким образом, ощущение запаха аммиака свидетельствует о превышении допустимых норм.

Оборудование и реактивы: емкость объемом 50 мл; шприцы с иглой; лист белой бумаги; поглотительный раствор на аммиак.

Порядок выполнения работы

Набрать в шприц воздух и под давлением ввести через иглу в ёмкость с поглотительным раствором. Воздух пропускать до изменения окраски раствора. Определить объем воздуха, израсходованного на изменение окраски раствора, зная число потребовавшихся при этом ходов поршня и заполняемый воздухом объем шприца.

Расчет концентрации аммиака (мг/м³) провести по формуле:

$$C_{NH_3} = \frac{1020 \cdot V_1}{V_2 \cdot 1000},$$

где 1020 – масса аммиака, мг в 1 л раствора; V_1 – объем поглотительного раствора, мл; V_2 – объем анализируемого воздуха, мл.

Требования к отчету

В отчете привести название и краткое описание работы, результаты расчетов содержания аммиака в воздухе. Обосновать полученные данные.

Задания для самоподготовки

1. Причины появления парникового эффекта.
2. Парниковые газы.
3. Виды загрязнений атмосферного воздуха.
4. Виды смогов и их особенности.
5. Температурная инверсия. Условия возникновения.

Лабораторная работа № 6

Определение органолептических показателей и взвешенных веществ в воде

Цель работы: научиться определять качество воды по органолептическим показателям, освоить методику определения взвешенных веществ.

Теоретическое обоснование

Качество питьевой воды оценивается, прежде всего, по органолептическим показателям (температура, прозрачность, запах, привкус, цветность и мутность).

Мутность определяется присутствием в воде взвешенных веществ.

По мутности воды подразделяются на следующие классы: маломутные – до 50 мг/л взвесей; среднемутные – от 50 до 250 мг/л; мутные – от 250 до 2500 мг/л; высокомутные – более 2500 мг/л.

В соответствии с гигиеническими требованиями к качеству питьевой воды мутность не должна превышать 1,5 мг/л.

Мутность в значительной степени зависит от сезона года и может повыситься в несколько раз, например, в период сильных дождей.

Мутность можно рассматривать как характеристику относительной прозрачности воды. Измерение мутности – это не прямое определение количества взвеси в жидкости, а измерение величины рассеяния света на взвешенных частицах.

Прозрачность (способность воды пропускать лучи света) зависит от мутности примерно в обратной пропорциональности. Она определяется путём просматривания через слой воды, налитой в стеклянный цилиндр, стандартный шрифт или чёрный крест с толщиной линий 1 мм на белом фоне. Прозрачность выражается в сантиметрах, через которые читается шрифт или различаются линии креста.

Стандарт допускает прозрачность более 30 см по шрифту и более 300 см по кресту. Примерные соотношения между прозрачностью и мутностью приведены в табл. 7, 8.

Таблица 7

Соотношение между прозрачностью по шрифту и мутностью

Прозрачность по шрифту Снеллена, см	Мутность, мг/л
>20	<15
>30	<10
>40	<5

Таблица 8

Соотношение между прозрачностью по «кресту» и мутностью

Прозрачность, см	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
Мутность, мг/л	270	235	205	185	170	155	142	130	122	114	108
Прозрачность, см	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0
Мутность, мг/л	102	97	92	87	83	79	76	73	70	67,5	65
Прозрачность, см	14,5	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,5	24,0
Мутность, мг/л	63	61	56,4	53,1	50,4	48	45,5	43,3	41,4	39,6	38
Прозрачность, см	25,0	26,0	27,0	28,0	29,0	30,0	31,0	32,0	33,0	34,0	35,0
Мутность, мг/л	36,5	35,1	33,8	32,6	31,5	30,5	29,5	28,6	27,7	26,9	26,1
Прозрачность, см	36,0	37,0	38,0	39,0	40,0	41,0	42,0	43,0	44,0	45,0	46,0
Мутность, мг/л	25,4	24,8	24,2	23,6	23,0	22,4	21,8	21,2	20,7	20,2	19,7

Речные воды могут иметь низкую прозрачность 2-5 см из-за присутствия в них частиц глины, песка, водорослей и других веществ минерального и органического происхождения.

Запах оценивается по интенсивности в баллах по 5 балльной шкале. Различают природные (естественного происхождения) запахи и запахи искусственного происхождения (табл. 9).

Таблица 9

Классификация запаха

Сокращение	Классификация запаха	Примеры или возможный источник происхождения запаха
A	Ароматный или пряный	Камфара, гвоздика, лаванда, лимон
Ae	Огуречный	Senura
B	Бальзамический или цветочный	Герань, ирис, ваниль
Bg	Гераниевый	Asterionella
Bn	Настурциевый	Aphanizomaenon
	Сладковатый	Coelosphaerium
	Фиалковый	Mallomonas
C	Химический	Промышленные сточные воды или химическая обработка
Co	Хлорный	Свободный хлор
Ch	Углеводородный	Стоки нефтеочистительных заводов
Cm	Лекарственный	Фенолы и иодоформ
D	Неприятный или сильно выраженный неприятный	Сероводород
Df	Рыбный	Uroglenopsis and Dinobryon
Dp	Навозный	Апобаена
Dz	Гнилостный	Застоявшиеся сточные воды
E	Землистый	Сырая земля
G	Торфяной	Торф
	Травянистый	Лежалая трава
M	Затхлый	Преющая солома
Mm	Плесневый	Сырой подвал
V	Овощной	Корни овощей

Как правило, чистые природные воды запаха не имеют. В отдельных случаях глубокие подземные воды характеризуются значительным естественным запахом за счет сероводорода.

Запах воды вызывают летучие пахнущие вещества, поступающие в воду в результате процессов жизнедеятельности водных организмов, при биохимическом разложении органических веществ, при химическом взаимодействии содержащихся в воде компонентов, а также с промышленными, сельскохозяйственными и хозяйственно-бытовыми сточными водами. На запах воды оказывают влияние состав веществ, температура, значения pH, степень загрязненности водного объекта, биологическая обстановка, гидрологические условия и т.д.

Согласно ГОСТ 2874-82, запах воды не должен превышать 2 баллов. Специфический запах, появляющийся при хлорировании, не должен превышать 1 балла.

Вкус и привкус воды, измеряемый в баллах, определяется различными примесями природного и техногенного характера. Так присутствие солей магния вызывает горький вкус, соли железа и марганца придают воде железистый привкус, искусственные привкусы свидетельствуют о наличии загрязнений промышленного характера.

Цветность обусловлена чаще всего примесями природного происхождения, которые вымываются из почвы, гумусовыми веществами желтоватого или коричневого цвета, железистыми соединениями от желтоватых до зеленых оттенков.

Цветность измеряется в градусах платино-кобальтовой шкалы и колеблется от единиц до тысяч градусов (табл. 10).

Таблица 10

Характеристика вод по цветности

Цветность	Единица измерения, градус платино-кобальтовой шкалы
Очень малая	до 25
Малая	более 25 до 50
Средняя	более 50 до 80
Высокая	более 80 до 120
Очень высокая	более 120

Цветность природных вод колеблется от единиц до тысяч градусов. Для воды поверхностных водоемов этот показатель допускается не более 20 градусов по платиново-кобальтовой шкале.

Взвешенные вещества, присутствующие в природных водах, состоят из частиц глины, песка, ила, суспендированных органических и неорганических веществ, планктона и других микроорганизмов.

Взвешенные частицы влияют на прозрачность воды и на проникновение в нее света, на температуру, растворенные компоненты поверхностных вод, адсорбцию токсичных веществ, а также на состав и распределение отложений и на скорость осадкообразования.

В соответствии с требованиями к составу и свойствам воды водных объектов у пунктов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения содержание взвешенных веществ в результате спуска сточных вод не должно увеличиваться соответственно более чем на 0,25 мг/л и 0,75 мг/л.

Оборудование и реактивы: турбидиметр НІ; лист темной бумаги (в качестве фона); ламинированный образец шрифта (высота 3,5 мм, ширина линии 0,35 мм) или юстировочная метка; пипетка для отбора

воды; трубка для определения прозрачности (длина 600 мм; диаметр 25 мм); экран для трубки; шприц с соединительной трубкой; фотоэлектроколориметр с синим светофильтром; кюветы; калибровочный график на цветность.

Порядок выполнения работы

1. Определение взвешенных веществ

Бумажный фильтр высушить в сушильном шкафу при 105°C в течение 2 часов, после чего фильтр взвесить.

Вложить подготовленный взвешенный фильтр в стеклянную воронку и фильтровать через него отобранный объем пробы. Затем фильтр перенести в бюкс, сушить в течение 2 часов при 105°C.

Содержание взвешенных веществ (мг/л) найти по формуле:

$$C = \frac{(m_2 - m_1) \cdot 1000}{V},$$

где m_2 – масса фильтра с осадком, мг; m_1 – масса чистого фильтра, мг; V – объем анализируемой воды, мл.

2. Определение мутности

Мутность определить с использованием турбодиметра. Перед началом анализа необходимо усреднить воду перемешиванием. Затем заполнить кювету анализируемой пробой воды и тут же выполнить измерение. Значение 1 NTU численно равно 1 мг/л по каолину.

3. Определение прозрачности

Метод количественного определения прозрачности основан на определении высоты водяного столба, при которой еще можно визуально различить (прочесть) черный шрифт высотой 3,5 мм и шириной линии 0,35 мм на белом фоне или увидеть юстировочную метку (например, черный крест на белой бумаге).

Трубку для определения прозрачности закрепить в штативе. Пробу тщательно перемешать и поместить в трубку. Трубку защитить от бокового света экраном и поместить на ламинированный образец шрифта или юстировочную метку (рис. 3). Прозрачность пробы наблюдать сверху через открытое отверстие трубки при достаточном освещении от источника, расположенного сверху.

Постепенно понижать уровень пробы, отбирая пипеткой воду до тех пор, пока не станет видимым образец шрифта или юстировочная метка. Определить максимальную высоту жидкости, при которой различима метка, по делениям на трубке.

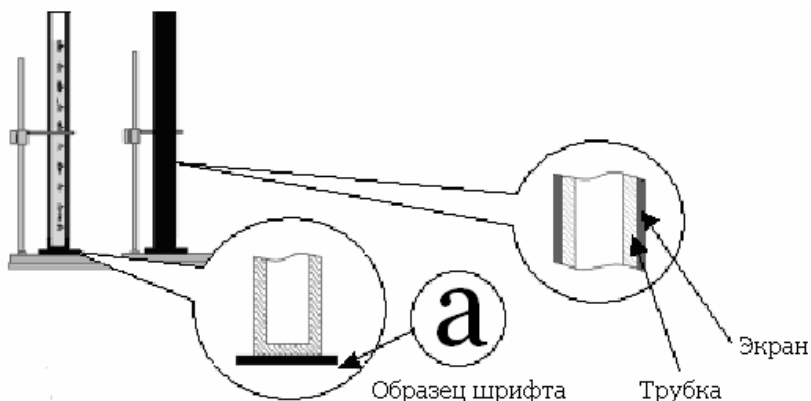


Рис. 3. Установка для определения прозрачности раствора

3. Определение цветности

При определении цветности с помощью фотоколориметра используются кюветы с толщиной поглощающего свет слоя 5-10 см. Контрольной жидкостью служит дистиллированная вода.

Оптическая плотность фильтрата исследуемой пробы воды измеряется в синей части спектра со светофильтром при $\lambda = 400$ нм.

Цветность определяют по градуировочному графику и выражают в градусах цветности.

4. Определение запаха

Определение запаха при 20°C: В колбу с притертой пробкой вместимостью 250-350 мл отмерить 100 мл испытуемой воды с температурой 20°C. Колбу закрыть пробкой, содержимое колбы несколько раз перемешать вращательными движениями, после чего колбу открыть и определить характер и интенсивность запаха.

Определение запаха при 60°C: В колбу отмерить 100 мл испытуемой воды. Горлышко колбы закрыть часовым стеклом и подогреть на водяной бане до 50-60°C.

Содержимое колбы несколько раз перемешать вращательными движениями. Сдвигая стекло в сторону, быстро определить характер и интенсивность запаха.

Интенсивность запаха воды оценить по пятибалльной системе согласно требованиям табл. 11.

Таблица 11

Шкала для определения интенсивности запаха воды

Интенсивность запаха	Характер проявления запаха	Оценка интенсивности запаха, балл
Нет	Запах не ощущается	0
Очень слабая	Запах не ощущается потребителем, но обнаруживается при лабораторном исследовании	1
Слабая	Запах замечается потребителем, если обратить на это его внимание	2
Заметная	Запах легко замечается и вызывает неодобрительный отзыв о воде	3
Отчетливая	Запах обращает на себя внимание и заставляет воздержаться от питья	4
Очень сильная	Запах настолько сильный, что делает воду непригодной к употреблению	5

Требования к отчету

В отчете привести название, краткое описание работы, результаты определения всех показателей. Обосновать полученные данные и сделать вывод о качестве воды по изученным показателям.

Задания для самоподготовки

1. Какие показатели относят к органолептическими?
2. Примеси, влияющие на прозрачность и мутность воды.
3. Чем обусловлена цветность воды?
4. Какие вещества оказывают влияние на запах воды?
5. Взвешенные вещества, их влияние на качество воды.

Лабораторная работа № 7**Определение содержания растворенного кислорода в воде**

Цель работы: ознакомиться с методом определения содержания растворенного кислорода в пробе природной воды.

Теоретическое обоснование

Кислород постоянно присутствует в растворенном виде в поверхностных водах. Содержание растворенного кислорода (РК) в воде характеризует кислородный режим водоема и имеет важнейшее значение для оценки его экологического и санитарного состояния. Кислород должен содержаться в воде в достаточном количестве, обеспечивая условия для дыхания гидробионтов. Он также необходим для самоочищения водоемов, т.к. участвует в процессах окисления органических и других примесей, разложения отмерших организмов. Снижение

концентрации РК свидетельствует об изменении биологических процессов в водоеме, о загрязнении водоема биохимически интенсивно окисляющимися веществами (в первую очередь органическими). Потребление кислорода обусловлено также химическими процессами окисления содержащихся в воде примесей, а также дыханием водных организмов.

Поступление кислорода в водоем происходит путем растворения его при контакте с воздухом (абсорбции), а также в результате фотосинтеза водными растениями, т.е. в результате физико-химических и биохимических процессов. Кислород также поступает в водные объекты с дождевыми и снеговыми водами. Поэтому существует много причин, вызывающих повышение или снижение концентрации в воде растворенного кислорода.

Растворенный в воде кислород находится в виде гидратированных молекул O_2 . Содержание РК зависит от температуры, атмосферного давления, степени турбулизации воды, количества осадков, минерализации воды др. Растворимость кислорода возрастает с уменьшением температуры и минерализации и с увеличением атмосферного давления.

При 0°C нормальное содержание кислорода в пресной воде составляет 14,7 мг/л (100 % насыщение). С повышением температуры на 1°C содержание кислорода снижается примерно на 0,3 мг/л. Следовательно, зная температуру воды, можно получить приближенное представление о содержании в ней кислорода по следующей формуле:

$$O_{2e} = 14,7 - 0,3 \cdot T,$$

где O_{2e} – содержание кислорода в водоеме при данной температуре, мг/л; 14,7 – содержание кислорода при 0°C ; T – температура воды, $^\circ\text{C}$.

Относительное содержание кислорода в воде, выраженное в процентах его нормального содержания называется степенью насыщения воды кислородом, вычисляется по формуле:

$$M = \frac{O_2 \cdot 760 \cdot 100}{O_{2e} \cdot P},$$

где O_2 – концентрация кислорода, мг/л; P – атмосферное давление в данной местности, мм.рт.ст.

В поверхностных водах содержание растворенного кислорода подвержено значительным сезонным и суточным колебаниям. В эвтрофированных и сильно загрязненных органическими соединениями водных объектах может иметь место значительный дефицит кислорода. Уменьшение концентрации РК до 2 мг/л вызывает массовую гибель рыб и других гидробионтов.

В воде водоемов в любой период года до 12 часов дня концентрация РК должна быть не менее 4 мг/л.

Определение кислорода в поверхностных водах включено в программы наблюдений с целью оценки условий обитания гидробионтов, в том числе рыб, а также как косвенная характеристика оценки качества поверхностных вод и регулирования процесса очистки стоков. Она существенна для аэробного дыхания и является индикатором биологической активности (т.е. фотосинтеза) в водоеме (табл. 12).

Таблица 12

Краткая характеристика загрязненных вод

Уровень загрязненности воды и класс качества	растворенный кислород, мг/л		% насыщения
	лето	зима	
очень чистые, I	9	14-13	95
чистые, II	8	12-11	80
умеренно загрязненные, III	7-6	10-9	70
загрязненные, IV	5-4	8-6	60
грязные, V	3-2	5-1	30
очень грязные, VI	0	0	0

Оборудование и реактивы: щелочной раствор йодида калия; раствор хлорида марганца; концентрированная соляная кислота; 0,5%-ный раствор крахмала; 0,01 н раствор $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$; пипетки на 5 мл; бюретка; белая кафельная плитка; конические колбы; калиброванный сосуд с притертой пробкой.

Порядок выполнения работы

Набрать 250 (150) мл воды в калиброванный сосуд и оставить его под водой, чтобы в него не попадали пузырьки воздуха.

В пробу воды пипеткой добавить: для 250 мл 2 мл хлорида марганца и 2 мл щелочного раствора йодида калия; для 150 мл 1 мл хлорида марганца и 1 мл щелочного раствора йодида калия; конец пипетки должен касаться дна сосуда. Более тяжелый раствор солей вытеснит из сосуда равное количество воды, находящейся в верхнем слое.

Добавить 2 мл концентрированной соляной кислоты и закрыть сосуд так, чтобы в нем не было пузырьков воздуха. Хорошо перемешивать до растворения осадка гидроксида марганца, выпавшего в щелочной среде. При этом йодистые соединения окислятся, выделившийся йод окрасит раствор в желтый цвет.

Для исследования отобрать из сосуда в коническую колбу 50 мл раствора. Оттитровать пробу 0,01 н раствором тиосульфата натрия, постоянно встряхивая коническую колбу, до тех пор, пока желтый цвет не побледнеет, а затем добавить 3 капли раствора крахмала и продолжать титровать до полного обесцвечивания пробы.

Провести два параллельных опыта с 50 мл анализируемой пробы и вычислить среднеарифметическое значение объема расходуемого тиосульфата (V_0).

Рассчитать содержание кислорода в воде (мг/л), используя следующую формулу:

$$O_2 = \frac{V_0 N \cdot 8 \cdot 1000}{50 \cdot 1,4},$$

где N – концентрация тиосульфата натрия, н; 8 – эквивалент кислорода; 50 – объем аликвоты, мл, 1,4 – поправочный коэффициент пересчета объема кислорода при нормальных условиях.

1 мл израсходованного 0,01 н тиосульфата соответствует 0,056 мл или 0,08 мг кислорода в условиях нормальной температуры и давления (НТД).

Используя полученные данные, рассчитать степень насыщения воды кислородом (%).

Требования к отчету

В отчете привести краткое описание работы, данные по определению кислорода в пробе воды водоема и результаты расчета степени насыщения, дать ориентировочную оценку степени загрязненности водоема, сделать вывод о пригодности данной воды к обитанию гидробионтов.

Задания для самоподготовки

1. Пути поступления кислорода в водные объекты.
2. О чем свидетельствует снижение РК в воде.
3. От каких природных факторов зависит РК в воде.
4. Каково минимальное содержание РК в воде?
5. Почему в зимний и летний периоды в водоемах содержится различное количество растворенного кислорода?

Лабораторная работа № 8

Определение рН, кислотности и щелочности воды

Цель работы: изучить влияние примесей на кислотность и щелочность вод.

Теоретическое обоснование

Величина рН определяется количественным соотношением в воде ионов H^+ и OH^- , образующихся при диссоциации воды. Если в воде пониженное содержание свободных ионов водорода ($pH > 7$) по сравне-

нию с ионами OH^- , то вода будет иметь щелочную реакцию, а при повышенном содержании ионов H^+ ($\text{pH} < 7$) – кислотную. В идеально чистой дистиллированной воде эти ионы будут уравнивать друг друга. В таких случаях вода нейтральна и $\text{pH} = 7$. При растворении в воде различных химических веществ этот баланс может быть нарушен, что приводит к изменению уровня pH .

Величина pH обычно варьируется в широких пределах для речных вод в зимний сезон 6,8-7,4; летом – 7,4-8,2; атмосферные осадки – 4,6-6,1; океан и моря – 7,9-8,3; болота – 5,5-6,0.

Природные воды в зависимости от pH делят на семь групп (табл. 13):

Таблица 13

Классификация вод в зависимости от pH

Группа вод	Величина pH	Характеристика
1) сильнокислые воды	< 3	результат гидролиза солей тяжелых металлов (шахтные и рудничные воды)
2) кислые воды	3 – 5	поступление в воду угольной кислоты, фульвокислот и других органических кислот в результате разложения органических веществ
3) слабокислые воды	5 – 6,5	присутствие гумусовых кислот в почве и болотных водах (воды лесной зоны)
4) нейтральные воды	6,5 – 7,5	наличие в водах $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$
5) слабощелочные воды	7,5 – 8,5	то же
6) щелочные воды	8,5 – 9,5	присутствие Na_2CO_3 или NaHCO_3
7) сильнощелочные воды	> 9,5	присутствие Na_2CO_3 или NaHCO_3

Очень часто показатель pH путают с такими параметрами, как кислотность и щелочность воды. Главное отличие заключается в том, что pH – это показатель интенсивности, но не количества, т.е., pH отражает степень кислотности или щелочности среды, в то время как кислотность и щелочность характеризуют количественное содержание в воде веществ, способных нейтрализовывать соответственно щелочи и кислоты.

Кислотность обусловлена содержанием в воде веществ, способных вступать в реакцию с гидроксид-ионами (OH^-). Определяют кислотность воды количеством гидроксида, который уходит на реакцию.

В обычных природных водах кислотность в большинстве случаев зависит только от содержания свободного диоксида углерода. Естественную часть кислотности создают также слабые органические кислоты и катионы слабых оснований (ионы аммония, железа, алюминия, органических оснований). В этих случаях pH воды не бывает ниже 4,5.

В водоеме можно выделить несколько этапов процесса их закисления:

1) на первом этапе pH практически не меняется (ионы карбоната успевают полностью нейтрализовать ионы H^+). Так продолжается до

тех пор, пока общая щелочность в водоеме не упадет примерно в 10 раз до величины менее 0,1 мг-экв/л;

2) на второй стадии закисления водоема рН воды обычно не поднимается выше 5,5 в течение всего года. Такие водоемы являются умеренно кислыми. На этом этапе закисления происходят значительные изменения в видовом составе живых организмов;

3) на третьем этапе закисления рН водоемов стабилизируется на значениях $\text{pH} < 5$ (обычно $\text{pH} = 4,5$), даже если атмосферные осадки имеют более высокие значения рН. Это связано с присутствием гумусовых веществ и соединений алюминия в водоемах и почвенном слое.

В загрязненных водоемах может содержаться большое количество сильных кислот или их солей за счет сброса промышленных сточных вод. В этих случаях рН может быть ниже 4,5. Часть общей кислотности, снижающей рН до величин $< 4,5$, называется свободной.

Под щелочностью природных или очищенных вод понимают способность некоторых их компонентов связывать эквивалентное количество сильных кислот. Этот параметр также часто называют буферной емкостью воды, имея в виду способность воды нейтрализовывать коррозионное воздействие кислот.

Под общей щелочностью подразумевается сумма содержащихся в воде гидроксильных ионов (OH^-) и анионов слабых кислот (карбонатов, гидрокарбонатов, силикатов, боратов, сульфитов, гидросульфитов, сульфидов, гидросульфидов, анионов гуминовых кислот, фосфатов), которые в свою очередь, гидролизуясь, образуют гидроксильные ионы. Поскольку в большинстве природных вод преобладают карбонаты, то обычно различают лишь гидрокарбонатную и карбонатную щелочность. При нормальных условиях рН природных вод близко к значению 8,5. При этом значении распространен ион HCO_3^- . В этой форме углерод легко усваивается водными организмами. В редких случаях, при $\text{pH} > 8,5$ возникает гидратная щелочность.

Щелочность определяется количеством сильной кислоты, необходимой для нейтрализации 1 л воды. Щелочность большинства природных вод определяется только гидрокарбонатами кальция и магния, рН этих вод не превышает 8,3.

Определение щелочности полезно при дозировании химических веществ, необходимых при обработке вод для водоснабжения. Вместе со значениями рН, щелочность воды служит для расчета содержания карбонатов и баланса угольной кислоты в воде.

Оборудование и реактивы: рН-метр; 0,1 н раствор HCl ; растворы индикаторов метилового красного, фенофталеина и бромфенола синего; 0,1 н раствор NaOH .

Порядок выполнения работы

1. Определение pH

В стакан прилить 50 мл анализируемой воды, опустить электроды и снять показания прибора pH-метра.

2. Определение кислотности

В 2 колбы прилить 50-100 мл анализируемой воды, в одну (для определения общей кислотности) добавить 5 капель индикатора фенолфталеина, в другую (для определения свободной кислотности) 2 капли бромфенол синий, оттитровать раствором NaOH до перехода окраски индикатора (фенолфталеин – розовая окраска, бромфенол синий – желтая в синюю).

Кислотность (мг-экв/л) вычисляют по формуле

$$K = \frac{vc1000}{V},$$

где v – количество раствора щелочи, израсходованное на титрование с фенолфталеином и бромфенолом синим, мл; c – молярная концентрация раствора щелочи, мг-экв/л; V – объем пробы, взятый для определения, мл.

3. Определение щелочности

В 2 колбы прилить 50-100 мл анализируемой воды, в одну (для определения общей щелочности) добавить 5 капель индикатора метилового красного, в другую (для определения свободной щелочности) 2 капли бромфенол синий, оттитровать раствором NaOH до перехода окраски индикатора (метилорый красный – желтая в красную, бромфенол синий – синяя в желтую).

Щелочность (мг-экв/л) вычисляют по формуле

$$Щ = \frac{vc1000}{V},$$

где v – количество раствора кислоты, израсходованное на титрование с метиловым красным и бромфенолом синим, мл; c – молярная концентрация раствора соляной кислоты, мг-экв/л; V – объем пробы, взятый для определения, мл.

Требования к отчету

В отчете привести краткое описание работы, результаты измерения pH, расчета кислотности и щелочности. По результатам анализа сделать вывод о том, какие примеси присутствуют в воде.

Задания для самоподготовки

1. Водородный показатель воды pH.
2. Кислотность воды. Виды кислотности.
3. С какой целью определяется кислотность.
4. Щелочность воды. Виды щелочности.
5. С какой целью определяется щелочность.

Лабораторная работа № 9

Определение сухого и прокаленного остатков и жесткости воды

Цель работы: ознакомиться с содержанием основных групп соединений в природных водах и методами их определения.

Теоретическое обоснование

Сухой остаток характеризует содержание в воде нелетучих растворенных веществ (главным образом минеральных) и органических веществ, температура кипения которых превышает 105-110°C, нелетучих с водяным паром и не разлагающихся при указанной температуре.

Величина сухого остатка для поверхностных вод водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования не должна превышать 1000 мг/л (в отдельных случаях допускается до 1500 мг/л).

Прокаленный остаток – это масса вещества, оставшегося после прокаливания сухого остатка при температуре $\approx 600^\circ\text{C}$. Величина прокаленного остатка дает ориентировочное представление о минеральном составе воды, а потери при прокаливании – о количестве органических соединений.

Минерализация воды – количество (концентрация) растворенных в воде твердых минеральных веществ, находящихся в виде ионов, а также коллоидов.

По общей минерализации различают следующие типы вод: ультрапресные – $< 0,2$ г/л; пресные – $0,2-0,5$ г/л; с относительно повышенной минерализацией – $0,5-1,0$ г/л; солоноватые – $1,0-3,0$ г/л; соленые – $3,0-10,0$ г/л; с повышенной соленостью $10,0-35,0$ г/л; переходные к рассолам – $35,0-50,0$ г/л; рассолы – $50,0-400$ г/л.

Жесткость воды обуславливается наличием в воде ионов кальция (Ca^{2+}), магния (Mg^{2+}), стронция (Sr^{2+}), бария (Ba^{2+}), железа (Fe^{3+}), марганца (Mn^{2+}). Но общее содержание в природных водах ионов кальция и магния несравнимо больше содержания всех других перечисленных ионов – и даже их суммы. Поэтому сумма концентраций Ca^{2+} (кальциевая жесткость) и Mg^{2+} (магниевая жесткость) называется общей

жесткостью воды. Она складывается из карбонатной (временной, устраняется кипячением) и некарбонатной (постоянной) жесткости воды. Первая вызвана присутствием в воде гидрокарбонатов кальция и магния [при кипячении разлагаются на CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ с выделением CO_2], вторая – наличием сульфатов, хлоридов, силикатов, нитратов и фосфатов этих металлов. Жесткость воды выражают в мг-экв/л: карбонатная жесткость отвечает той части катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , которая эквивалентна содержащимся в воде анионам HCO_3^- , некарбонатная – анионам SO_4^{2-} , NO_3^- и др.

По величине общей жесткости воды делятся на следующие группы (мг-экв/л): очень мягкие – 1,5; мягкие – 1,5-3,0; средней жесткости – 3,0- 5,4; жесткие – 5,4-10,7; очень жесткие – >10,7.

Общая жесткость питьевой воды во избежание ухудшения ее органолептических свойств должна быть не более 7 мг-экв/л; по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы иногда допускается увеличение общей жесткости воды до 10 мг-экв/л.

С целью устранения или уменьшения жесткости воды применяют специальные методы. Из реagentных методов наиболее распространен известково-содовый, который позволяет устранить карбонатную и некарбонатную жесткость воды. С помощью ионообменных методов умягчают воду с преобладающей некарбонатной жесткостью воды (Na^+ -катионирование) или карбонатной (H^+ -катионирование); комбинированием этих методов получают глубоко умягченную воду.

Для большинства живых организмов более благоприятны воды умеренной жесткости, так как с водой в организм поступает необходимое количество кальция. В этом отношении мягкие воды менее желательны.

Оборудование и реактивы: муфельная печь; сушильный шкаф; водяная баня; аналитические весы; фарфоровые или кварцевые чашки на 50 мл; бюретки; 0,05 н раствор трилона Б; 0,1 н раствор H_2SO_4 ; аммиачная буферная смесь (рН = 10); раствор индикатора темно-синего хрома; раствор индикатора метилового красного.

Порядок выполнения работы

1. Определение сухого остатка

В прокаленную, охлажденную и взвешенную фарфоровую или кварцевую чашку поместить 30 мл профильтрованной анализируемой пробы воды. Воду выпарить на водяной бане. Затем перенести чашку с остатком в сушильный шкаф и высушить до постоянной массы при 105°C .

Содержание сухого остатка (мг/л) рассчитать по формуле

$$x = \frac{(a - b) \cdot 1000}{V},$$

где a – масса чашки с сухим остатком, мг; b – масса пустой чашки, мг; V – объем анализируемой пробы воды, мл.

2. Определение прокаленного остатка

Чашку с сухим остатком поместить в предварительно разогретую до 600°C муфельную печь и прокалить в течение 15-20 мин. Затем дать чашке немного остыть на воздухе; для дальнейшего охлаждения поместить в эксикатор. После полного охлаждения (до комнатной температуры) чашку с осадком взвесить. Произвести расчет по аналогии с расчетом сухого остатка.

3. Определение общей жесткости воды

В пробу воды объемом 100 мл добавить 5 мл аммиачного буферного раствора и 5-7 капель индикатора темно-синего хрома. Полученный раствор титровать раствором трилона Б до перехода окраски из розово-красной в сине-сиреневую.

Особенно интенсивно следует помешивать воду к концу определения, так как переход окраски наступает не мгновенно, а постепенно. Последние капли раствора нужно добавлять медленно, с некоторыми промежутками, не прекращая помешивания воды в колбе.

Общую жесткость воды (мг-экв/л) рассчитывают по формуле

$$Ж_{об} = 1000 \frac{V_1 \cdot c}{V},$$

где V_1 – объем раствора трилона Б, израсходованного на титрование, мл; c – нормальность трилона Б, мг-экв/л; V – объем воды, взятой для титрования, мл.

4. Определение карбонатной жесткости

В колбу для титрования налить 100 мл испытуемой воды и добавить 2-3 капли раствора индикатора метилового красного. Полученную пробу титровать 0,1 н раствором серной кислоты до перехода окраски из соломенно-желтой в красную.

Карбонатная жесткость (мг-экв/л) рассчитывается по формуле

$$Ж_{к} = 1000 \frac{V_1 \cdot c}{V},$$

где V_1 – объем раствора серной кислоты, израсходованного на титрование, мл; c – концентрация раствора серной кислоты, мг-экв/л; V – объем воды, взятой для титрования, мл.

5. Определение некарбонатной жесткости воды

Величину некарбонатной жесткости определяют как разность между значениями общей и карбонатной жесткости.

Требования к отчету

В отчете привести краткое описание работы, результаты определения, дать характеристику воды по общей жесткости и пригодности ее к источникам питьевого водоснабжения.

Задания для самоподготовки

1. Что характеризует сухой и прокаленный остаток?
2. Классификация вод по минерализации.
3. Виды жесткости воды.
4. Классификация вод по жесткости.
5. Методы умягчения жестких вод.

Лабораторная работа № 10

Определение содержания анионов в поверхностных водах

Цель работы: Определить содержание некоторых основных анионов в природной воде, дать характеристику исследуемой воде.

Теоретическое обоснование

В поверхностных водах содержатся анионы различной природы – HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , OH^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , HSiO_3^- и др.

По преобладающему аниону природные воды делятся на три класса: 1) гидрокарбонатные и карбонатные (большинство маломинерализованных вод рек, озер, водохранилищ и некоторые подземные воды); 2) сульфатные воды (промежуточные между гидрокарбонатными и хлоридными водами, генетически связаны с различными осадочными породами); 3) хлоридные воды (высокоминерализованные воды океана, морей, соленых озер, подземные воды закрытых структур и т.д.).

В природной воде карбонаты и гидрокарбонаты присутствуют всегда, т.к. вода в виде осадков, выпадающих на поверхности земли повсеместно, вымывает минералы, содержащие соли магния и кальция, или карбонаты, из почвы. Карбонаты кальция и магния не растворимы в воде. Однако углекислый газ, присутствующий на нашей планете повсеместно, отлично растворяется в воде. При этом углекислый газ, вода и карбонаты образуют хорошо растворимые в воде гидрокарбонаты.

Хлориды присутствуют практически во всех пресных поверхностных и грунтовых водах, а также в питьевой воде в виде солей метал-

лов. Если в воде присутствует хлорид натрия, она имеет соленый вкус уже при концентрациях свыше 250 мг/л; в случае хлоридов кальция и магния соленость воды возникает при концентрациях свыше 1000 мг/л. Именно по органолептическому показателю – вкусу установлена ПДК для питьевой воды по хлоридам (350 мг/л), лимитирующий показатель вредности – органолептический. ПДК для рыбохозяйственного водопользования – 300 мг/л.

Сульфаты присутствуют практически во всех поверхностных водах. Главным естественным источником сульфатов являются процессы химического выветривания и растворения серосодержащих минералов, в основном гипса, а также окисления сульфидов и серы. Значительные количества сульфатов поступают в водоемы в процессе отмирания живых организмов, окисления наземных и водных веществ растительного и животного происхождения.

Из антропогенных источников сульфатов в первую очередь надо упомянуть шахтные воды и промышленные стоки производств, в которых используется серная кислота. Сульфаты выносятся также со сточными водами коммунального хозяйства и сельскохозяйственного производства.

Повышенные содержания сульфатов ухудшают органолептические свойства воды и оказывают физиологическое воздействие на организм человека – они обладают слабительными свойствами.

Сульфаты в присутствии кальция способны образовывать накипь, так что их содержание строго регламентируется и в технических водах.

Сульфаты в питьевой воде не оказывают токсического воздействия на человека, однако ухудшают вкус воды: ощущение вкуса сульфатов возникает при их концентрации 250-400 мг/л.

ПДК сульфатов в питьевой воде – не более 500 мг/л, для рыбохозяйственного производства – 100 мг/л.

Соединения фосфора могут поступать в водоемы в виде фосфорной кислоты и ее ионов, полифосфатов, которые входят в состав моющих средств, а также в виде разнообразных фосфорсодержащих органических соединений (включая пестициды).

Санитарная норма содержания фосфатов в питьевой воде (ПДК) – не более 3,5 мг/л, ПДК для рыбохозяйственного водопользования – 0,2 мг/л.

Присутствие ряда анионов в воде является необходимым для питания растений, нормальной жизнедеятельности плавающих форм живых организмов. Однако избыток анионов может угнетать живые организмы. Избыток нитрат- и фосфат-ионов может привести к эвтрофи-

кации водоемов. Эвтрофикация может быть результатом, как естественного старения водоёма, так и антропогенных воздействий.

Для эвтрофных водоёмов характерны богатая растительность, обильный планктон. Искусственно несбалансированная эвтрофикация может приводить к бурному развитию водорослей («цветению» вод), дефициту кислорода, замору рыб и животных. Этот процесс можно объяснить малым проникновением солнечных лучей вглубь водоёма (за счёт фитопланктона на поверхности водоёма) и, как следствие, отсутствием фотосинтеза у надонных растений, а значит и кислорода.

В донном грунте, лишенном кислорода, идет анаэробный распад отмерших организмов с образованием таких сильных ядов, как фенолы и сероводород, и столь мощного «парникового газа», как метан. В результате процесс эвтрофикации уничтожает большую часть видов флоры и фауны водоема, практически полностью разрушая или очень сильно трансформируя его экосистемы, и сильно ухудшает санитарно-гигиенические качества его воды, вплоть до ее полной непригодности для купания и питьевого водоснабжения.

Оборудование и реактивы: пенал для определения фосфатного числа; бюретка и коническая колба на 250 мл для титрования; оловянная палочка; 0,028 н раствор нитрата серебра; раствор сульфомолибдата аммония; 5 % раствор K_2CrO_4 ; электрическая плитка; 0,1 н раствор HCl; 0,05 н раствор хлорида бария; 0,1 н раствор NaOH; аммиачный буфер; эриохром черный Т; 0,05 н раствор ЭДТА.

Порядок выполнения работы

1. Определение хлоридов

В пробу воды объемом 50 мл добавить 5 капель раствора хромовокислого калия, хорошо перемешать и оттитровать раствором азотнокислого серебра. Раствор титранта добавлять до тех пор, пока в воде не появится устойчивый оранжевый оттенок.

Содержание хлоридов (мг/л) в пробе воды составит:

$$x = \frac{V_1 \cdot N \cdot 35,5 \cdot 1000}{V_2},$$

где V_1 – объем раствора нитрата серебра, пошедшего на титрование, мл; N – нормальность раствора нитрата серебра; 35,5 – миллиграмм-эквивалент хлорида; V_2 – объем исследуемой воды, мл.

2. Определение фосфатов

В мерную пробирку налить 2 мл отфильтрованной пробы воды, довести объем жидкости сульфомолибдатным раствором до 10 мл. Затем в раствор опустить очищенную наждачную бумагой и ополоснутую

дистиллированной водой оловянную палочку. Через 5 мин (за это время раствор в пробирке вместе с оловянной палочкой должен быть 2-3 раза перемешен легким встряхиванием) оловянную палочку вместе с пробкой вынуть из пробирки и сравнить окраску испытуемого раствора с окраской стандартной цветной шкалы.

Фосфатное число воды соответствует цифре, стоящей против ячейки шкалы, окраска которой совпадает с окраской раствора в пробирке или наиболее близка к ней.

3. Определение сульфатов

Перед определением сульфатов необходимо определить общую жесткость воды. Для этого в коническую колбу поместить отмеренные пипеткой 50 мл анализируемой воды, добавляют 5 мл буферной смеси, около 0,1 г сухой индикаторной смеси эриохрома черный Т и медленно, при постоянном перемешивании, титровать раствором трилона Б до перехода фиолетовой окраски раствора в чисто-синюю.

Количество пошедшего на титрование раствора трилона Б (в мл) равно жесткости воды J_0 (в мг-экв/л).

Для определения сульфатов в коническую колбу вместимостью 250 мл поместить 50 мл анализируемой воды, добавить 2 капли индикатора метилового красного и подкислить 1 мл 0,1 н соляной кислоты, прилить отмеренные пипеткой точно 15 мл раствора хлорида бария. Омыть стенки колбы из промывной склянки небольшим количеством воды и поместить на плитку. Раствор кипятить в течение 5-7 мин., охладить и нейтрализовать пробу раствором гидроксида натрия до появления желтой окраски.

К полученному раствору с осадком сульфата бария прибавить 5 мл буферной смеси, около 0,1 г сухой индикаторной смеси и медленно, при постоянном перемешивании, титровать раствором трилона Б до перехода фиолетовой окраски раствора в синюю.

Содержание сульфатов в воде (мг/л) вычисляют по формуле:

$$x = \frac{(V_1 + J_0 - V_2) \cdot 0,05 \cdot 48 \cdot 1000}{V},$$

где V_1 – количество прибавленного раствора хлористого бария, мл, V_2 – количество раствора трилона Б, пошедшего на титрование осажденной пробы, мл, V – объем пробы, взятый для анализа, мл, 48 – эквивалентная масса сульфат-иона.

Требования к отчету

В отчете привести краткое описание работы, результаты определения содержания анионов, выводы о качестве исследованной воды.

Задания для самоподготовки

1. Классификация вод по анионному составу.
2. Пути попадания анионов в поверхностные воды.
3. Классификация вод по преобладающему аниону.
4. Эвтрофикация водоема. Какие анионы оказывают влияние на эвтрофикацию.
5. Пути эвтрофикации водоемов.

Лабораторная работа № 11

Определение окисляемости природных вод

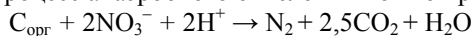
Цель работы: ознакомление со способами определения суммарного количества органических загрязнителей в воде через определение окисляемости природных вод.

Теоретическое обоснование

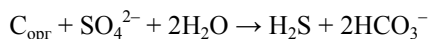
Окислительно-восстановительные процессы в природных водах представляют собой, главным образом, превращения органических соединений. Одним из неперенных условий существования водных экосистем являются процессы разложения органических соединений.

В присутствии кислорода (аэробные условия) биохимическому расщеплению подвергаются углеводы, жиры, органические кислоты, углеводороды и другие соединения. Предварительное разрушение органических соединений происходит в результате гидролиза или разложения до таких веществ, которые затем подвергаются биохимическому окислению. Пока имеется в воде свободный кислород, окисление органических соединений идет, как правило, до оксидов элементов в высшей степени окисления, в идеале до CO_2 и H_2O и различных соединений азота, фосфора, серы.

В анаэробных условиях (при недостатке или отсутствии кислорода в воде) окислительно-восстановительные процессы идут несколько иначе. Микроорганизмы для окисления органических соединений используют кислород нитратов, сульфатов и других соединений. В виде общей схемы процесс анаэробного окисления можно представить так:

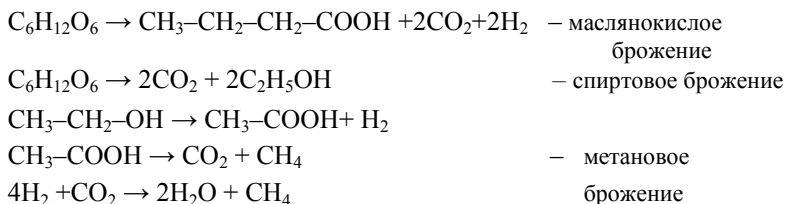


Или так:



Разложение органических веществ в анаэробных условиях осуществляется и путем брожения с образованием продуктов неполного

окисления (спиртов и альдегидов). Примером могут служить следующие реакции:



Брожение не высвобождает всю имеющуюся в молекуле энергию, поэтому промежуточные продукты брожения могут использоваться в ходе клеточного дыхания.

Реальные процессы окисления органических соединений еще сложнее и разнообразнее.

Одной из характеристик природных вод может служить их окисляемость – общее количество содержащихся в воде восстановителей (чаще органических соединений), реагирующих с сильными окислителями, например, бихроматом, перманганатом и др.

Результаты определения окисляемости выражают в миллиграммах кислорода на 1 л воды (мг О/л). По этому показателю можно предположить, какое количество органических веществ содержится в исследуемой воде. Изменение степени окисления органических веществ в пробе, а значит и их содержание в воде, можно контролировать, отбирая пробы воды и определяя величину их окисляемости через различные промежутки времени.

Перманганатная окисляемость или перманганатный индекс (ПИ) является мерой загрязнения воды органическими и окисляемыми неорганическими веществами. Он в основном предназначен для оценки качества водопроводной и природных вод, включая поверхностные воды. ПИ нельзя рассматривать как меру теоретического потребления кислорода или общего содержания органических веществ, так как многие органические соединения в этом случае окисляются лишь частично.

Наиболее полное окисление соединений достигается при использовании бихромата калия, поэтому бихроматную окисляемость нередко называют «химическим потреблением кислорода» (ХПК). Это основной метод определения окисляемости. Большинство соединений окисляется при этом на 90-100 % с образованием диоксида углерода и воды, азот выделяется в виде газа.

Есть, однако, небольшое число соединений (бензол, толуол, пирин и др.), которые совсем не окисляются бихроматом калия даже в присутствии катализатора.

ХПК применяют для характеристики состояния водотоков и водоемов, поступления бытовых и промышленных сточных вод (в том числе, и степени их очистки), а также поверхностного стока (табл. 14).

Таблица 14

Величины ХПК в водоемах с различной степенью загрязненности

Степень загрязнения (классы водоемов)	ХПК, мг О/л
Очень чистые	1
Чистые	2
Умеренно загрязненные	3
Загрязненные	4
Грязные	5÷15
Очень грязные	>15

Нормативы ХПК воды водоемов культурно-бытового водопользования составляют 30 мг О/л.

Однако представленный способ определения окисляемости природных вод недостаточно точно позволяет смоделировать процессы в водоемах. Гораздо ближе отражает естественные процессы определение количества кислорода (мг), необходимого для окисления находящихся в 1 л воды органических веществ в аэробных условиях при 20°С в результате протекающих в воде биохимических процессов за определенный период времени (5 и 21 суток). Такой показатель называют БПК – биохимическое потребление кислорода. Наиболее распространен метод установления БПК по разности содержания растворенного кислорода до и после инкубации пробы воды, с внесенными в нее микроорганизмами, при стандартных условиях (20°С, аэробные условия, без доступа воздуха и света).

Установлено, что при загрязнении водоемов преимущественно хозяйственно-бытовыми сточными водами с относительно постоянным составом и свойствами БПК₅ (пятисуточное) составляет 70 % БПК полного.

Полная биологическая потребность в кислороде БПК_{полн.} для внутренних водоемов рыбохозяйственного назначения при 20°С не должна превышать 2 мг О₂ /л.

Для водоемов с хорошо сбалансированной экосистемой показатели ХПК и БПК отличаются незначительно (на величину органических веществ, идущих на построение клеток тела микроорганизмов). Для водоемов, загрязненных химическими и незначительно биологическими отходами антропогенного характера, величина биохимической окисляемости (ХПК) гораздо выше, чем БПК.

Оборудование и реактивы: концентрированная серная кислота; N – фенилантраниловая кислота; 0,25 н раствор бихромата калия; 0,25 н раствор соли Мора.

Порядок выполнения работы

К пробе воды в объеме 100 мл добавить 5 мл 0,25 н раствора бихромата калия и при перемешивании 10 мл концентрированной серной кислоты. При этом раствор разогреется до высокой температуры. Через 2 мин к остывшей до комнатной температуры смеси добавить 5-10 капель раствора N – фенилантраниловой кислоты в качестве индикатора и оттитровать избыток бихромата раствором соли Мора до появления травянисто-зеленой окраски.

Параллельно провести холостой опыт. Для этого в качестве холостой пробы используется 100 мл дистиллированной воды, с которой проводят те же операции, что и с анализируемой пробой природной воды.

Величину ХПК (мг О/л) определяют по формуле

$$ХПК = \frac{(a - b)N \cdot 8 \cdot 1000}{V},$$

где a – объем раствора соли Мора, пошедшего на титрование холостой пробы, мл; b – объем раствора соли Мора, пошедшего на титрование анализируемой пробы, мл; N – нормальность соли Мора; V – объем анализируемой пробы, мл; 8 – эквивалент кислорода.

Требования к отчету

В отчете привести краткое описание работы, результаты определения ХПК, вывод о качестве анализируемой воды.

Задания для самоподготовки

1. Аэробные процессы в воде.
2. Анаэробные процессы. Особенности процесса брожения.
3. Сущность понятия ХПК.
4. Понятие БПК, виды БПК.
5. Отличие ХПК от БПК.

Лабораторная работа № 12

Механическая очистка сточных вод

Цель работы: ознакомиться с механическими методами очистки сточных вод

Теоретическое обоснование

Механическая очистка применяется для выделения из сточных вод нерастворенных минеральных и органических примесей. Как правило, она является методом предварительной очистки и предназначена для подготовки сточных вод к биологическим или физико-химическим методам очистки. В результате механической очистки обеспечивается снижение содержания взвешенных веществ в воде на 90 %, а органических – на 20 %. Сооружения для механической очистки сточных вод представляют собой решетки, песколовки, отстойники, фильтры, нефтеловушки.

Для задержания крупных загрязнений органического и минерального происхождения применяются решётки и для более полного выделения грубодисперсных примесей – сита. Отбросы с решёток либо дробят и направляют для совместной переработки с осадками очистных сооружений, либо вывозят в места обработки твёрдых бытовых и промышленных отходов.

Затем стоки проходят через песколовки, где происходит осаждение мелких частиц (песок, шлак, бой стекла т.п.) под действием силы тяжести, и жироловки, в которых происходит удаление с поверхности воды гидрофобных веществ. Песок из песколовки обычно складировается или используется в дорожных работах.

Отстаивание – выделение в виде твердого осадка из раствора одного или нескольких компонентов; при этом частицы с плотностью, большей плотности воды, движутся вниз, с меньшей – вверх.

Отстойники – основной и наиболее распространенный тип очистных сооружений. В них оседают нерастворенные взвешенные частицы как органического, так и минерального происхождения.

По направлению движения основного потока воды в отстойниках они делятся на три основных типа: горизонтальные, вертикальные и радиальные. В горизонтальных отстойниках сточная вода движется горизонтально, в вертикальных – снизу вверх, а в радиальных – от центра к периферии.

Осаждение взвешенных частиц под действием *центробежной силы* проводят в гидроциклонах и центрифугах.

При центрифугировании суспензия разделяется на осадок и фугат (жидкую фазу). В осадительных центрифугах разделение гетерогенных систем происходит по принципу осаждения, в фильтрующих – по принципу фильтрования.

Фильтрование – процесс процеживания суспензии через пористый материал, задерживающий твердые примеси и пропускающий воду. Если размеры частиц больше размеров пор фильтрующей загрузки, то

частицы останутся на поверхности загрузки. Этот тип фильтрования называется поверхностным, осадочным или опорным. Если частицы проходят внутрь материала загрузки, то процесс называется фильтрованием в объеме, или объемным фильтрованием.

С поверхностным фильтрованием мы встречаемся при движении воды через фильтры из пористой керамики, при фильтровании под давлением или вакуумом через сетчатые и тканевые перегородки и т.д. При этом на фильтре задерживаются все частицы, размеры которых превышают размеры пор фильтрующей основы. В результате на ней формируется слой осадка, являющийся дополнительным фильтрующим слоем.

Фильтрование, так же как и отстаивание, применяют для осветления воды, т.е. для задержания находящихся в воде взвешенных веществ. Фильтрующий материал должен представлять собой пористую среду с весьма малыми порами.

Оборудование и реактивы: пипетки; тканевый, волокнистый, бумажный фильтры; фарфоровые чашки; электрическая плитка; весы.

Порядок выполнения работы

Сточную воду, содержащую нерастворимые примеси, профильтровать через бумажный, тканевый и ватный фильтры. Затем определить сухой остаток в исходной сточной воде и в фильтрате. Для этого в прокаленную, охлажденную и взвешенную фарфоровую или кварцевую чашку поместить 15 мл анализируемой пробы воды. Воду выпарить на водяной бане. Затем перенести чашку с остатком в сушильный шкаф и высушить до постоянной массы при 105°C.

Содержание сухого остатка (г/л) рассчитать по формуле

$$m = \frac{(a - b) \cdot 1000}{V},$$

где a – масса чашки с сухим остатком, г; b – масса пустой чашки, г; V – объем анализируемой пробы воды, мл.

На основании полученных значений определить степень очистки (%) для каждого из исследованных фильтров:

$$\eta = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100,$$

где m_1 – масса сухого остатка исходной сточной воды, г; m_2 – масса сухого остатка после фильтрации, г.

Требования к отчету

В отчете привести краткое описание работы, данные по степени очистки для каждого вида фильтрующего материала и оценить эффективность их использования.

Задания для самоподготовки

1. Назначение и сущность механической очистки сточных вод.
2. Сооружения, применяемые для механической очистки сточных вод.
3. Сущность процесса отстаивания.
4. Виды очистки в поле центробежных сил.
5. Особенности процесса фильтрования.

Лабораторная работа № 13

Химическая очистка сточных вод

Цель работы: изучение процесса очистки сточных вод методом нейтрализации.

Теоретическое обоснование

Одним из видов обработки сточных вод является химическая (реагентная) очистка, которая представляет собой сочетание различных типов химических реакций, приводящих к удалению из сточных вод токсичных компонентов.

К химическим методам очистки сточных вод относят нейтрализацию, окисление и восстановление, осаждение. Химическую очистку проводят иногда как предварительную перед биологической очисткой или после нее как метод доочистки сточных вод.

Химическая очистка связана с использованием различных реагентов, которые вводятся в стоки и вступают во взаимодействие с вредными примесями.

Нейтрализация сточных вод – это химическая реакция, ведущая к уничтожению кислотных свойств раствора с помощью щелочей, а щелочных свойств раствора – с помощью кислот. О степени кислотности или щелочности раствора можно судить по значению водородного показателя pH. Практически нейтральными считаются воды, имеющие $pH = 6,5-8,5$.

Нейтрализацию можно проводить различным путем: смешением кислых и щелочных сточных вод, добавлением реагентов, фильтрованием кислых вод через нейтрализующие материалы. Выбор метода нейтрализации зависит от объема и концентрации сточных вод, от ре-

жима их поступления, наличия и стоимости реагентов. В процессе нейтрализации могут образовываться осадки, количество которых зависит от концентрации и состава сточных вод, а также от вида и расхода используемых реагентов.

Для удаления из сточных вод ионов тяжелых металлов наиболее распространены реагентные методы очистки, сущность которых заключается в переводе растворимых в воде веществ в нерастворимые при добавлении различных реагентов с последующим выделением их из воды в виде осадка. В качестве реагентов для удаления из сточных вод ионов тяжелых металлов используют гидроксиды кальция и натрия, сульфид натрия, различные отходы. Процесс проводится при различных значениях рН.

Реакции окисления-восстановления – это одновременное окисление одних компонентов и восстановление других.

Для обезвреживания применяют наиболее распространенные окислители и восстановители:

- окислители – кислород или воздух, озон, хлор, гипохлорит, перманганат калия, причем окислительная способность перманганата зависит от величины кислотности раствора;

- восстановители – хлорит, сульфат железа(II), гидросульфат, оксид серы(IV), сероводород.

- пероксид водорода может быть и окислителем и восстановителем. В кислой среде более отчетливо выражена окислительная функция пероксида водорода, а в щелочной – восстановительная.

Окислительно-восстановительные реакции применяют для превращения токсичных веществ в безвредные, а также для извлечения ценных компонентов.

Методы восстановительной очистки вод применяют в тех случаях, когда сточные воды содержат легко восстанавливающиеся вещества. Эти методы широко используют для удаления из сточных вод соединений ртути, хрома, мышьяка.

Оборудование и реактивы: колбы емкостью 100 мл; бюретка для титрования; 0,1 н раствор HCl; раствор метилового красного; растворы серной, фосфорной и уксусной кислот.

Порядок выполнения работы

Для определения концентрации щелочи в исходном растворе в колбу объемом 100 мл прилить 10 мл сточной воды и титровать 0,1 н раствором HCl в присутствии индикатора метилового красного до изменения окраски раствора. Затем в 6 колб объемом 250 мл поместить по 50 мл щелочной сточной воды. В первые 2 колбы со сточной водой

добавить 0,1 н раствор нейтрализатора H_2SO_4 объемом 5 и 10 мл, в следующие 2 колбы – нейтрализатор H_3PO_4 , в последние 2 колбы – нейтрализатор CH_3COOH в таких же объемах.

Если в процессе нейтрализации образуется осадок, то его отфильтровать, а очищенную воду анализировать на остаточное содержание щелочи, титруя аликвотную часть 10 мл раствором 0,1 н HCl в присутствии индикатора метилового красного до изменения окраски раствора.

На основании полученных значений рассчитать степень очистки (%) для каждого варианта нейтрализации:

$$\eta = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \cdot 100 \text{ ,}$$

где V_1 – объем раствора HCl , пошедшего на титрование исходной сточной воды, мл; V_2 – объем раствора HCl , пошедшего на титрование очищенной сточной воды, мл.

Требования к отчету

В отчете привести краткое описание работы, результаты нейтрализации сточных вод, сделать вывод о целесообразности использования исследованных видов нейтрализаторов.

Задания для самоподготовки

1. Виды химической очистки сточных вод.
2. Особенности процесса нейтрализации.
3. Осаждение. Виды реагентов, применяемые в химической очистке сточных вод.
4. Редокс-методы в очистке сточных вод.
5. Достоинства и недостатки химической очистки.

Лабораторная работа № 14

Физико-химическая очистка сточных вод.

Коагуляция и флокуляция

Цель работы: ознакомление с коагуляцией и флокуляцией как методами очистки сточных вод.

Теоретическое обоснование

Коагуляция – это процесс укрупнения дисперсных частиц в результате их взаимодействия и объединения в агрегаты. В очистке сточных вод ее применяют для ускорения процесса осаждения тонкодисперсных примесей и эмульгированных веществ. Коагуляция может проис-

ходить самопроизвольно, под влиянием химических и физических процессов. В процессах очистки сточных вод коагуляция происходит под влиянием добавляемых к ним специальных веществ – коагулянтов. Коагулянты в воде образуют хлопья гидроксидов металлов, которые быстро оседают под действием силы тяжести. Хлопья обладают способностью улавливать коллоидные и взвешенные частицы и агрегировать их. Так как частицы имеют слабый отрицательный заряд, то между ними возникает взаимное притяжение. Коагулирующее действие есть результат гидролиза, который происходит вслед за растворением.

В качестве коагулянтов обычно используют соли алюминия, железа или их смеси. Выбор коагулянта зависит от его состава, физико-химических свойств и стоимости, концентрации примесей в воде, pH и солевого состава воды.

Весь процесс коагуляции состоит из следующих стадий:

- период скрытой коагуляции – введение коагулянта, его гидролиз с образованием мицелл, их агрегирование в золи (до 0,1 мкм), появление опалесценции;

- начало хлопьеобразования, построение цепочечных структур, образование большого числа мелких хлопьев, их агрегация (около получаса);

- период седиментации, оседание частиц (более получаса).

Флокуляция – это процесс агрегации взвешенных частиц при добавлении в сточную воду высокомолекулярных соединений, называемых флокулянтами. В отличие от коагуляции при флокуляции агрегация происходит не только при непосредственном контакте частиц, но и в результате взаимодействия молекул адсорбированного на частицах флокулянта.

Флокуляцию проводят для интенсификации процесса образования хлопьев гидроксидов алюминия и железа с целью повышения скорости их осаждения. Использование флокулянтов позволяет снизить дозы коагулянтов, уменьшить продолжительность процесса коагулирования и повысить скорость осаждения образующихся хлопьев.

Для очистки сточных вод используют природные и синтетические флокулянты. К природным флокулянтам относятся крахмал, пектин, эфиры целлюлозы и др. Активная кремневая кислота ($x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$) является наиболее распространенным неорганическим флокулянтом. Из синтетических органических флокулянтов наибольшее применение в нашей стране получил полиакриламид.

Оборудование и реактивы: 1,0 % раствор $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; 1,0 % раствор акриламида; цилиндры объемом 100 мл; весы, секундомер.

Порядок выполнения работы

В 6 цилиндров прилить по 50 мл сточной воды и внести пипеткой различные объемы растворов коагулянта и флокулянта: в первый цилиндр прилить 2 мл $Al_2(SO_4)_3$, во второй – 1,5 мл $Al_2(SO_4)_3$ и 0,5 мл акриламида, в третий – 1 мл $Al_2(SO_4)_3$ и 1 мл акриламида, в четвертый – 0,5 мл $Al_2(SO_4)_3$ и 1,5 мл акриламида, в пятый – 2 мл акриламида. Шестой цилиндр использовать в качестве контроля.

Пробы интенсивно перемешивать в течение 20-30 с. Затем цилиндры оставить в покое на 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 45 мин и наблюдать за образованием и осаждением хлопьев, измеряя в течение указанного времени высоту осадка. По полученным данным построить графики зависимости высоты образующегося осадка от времени $h=f(\tau)$.

Требования к отчету

В отчете привести краткое описание работы, полученные результаты и вывод о взаимном влиянии коагулянта и флокулянта в процессах очистки сточных вод.

Задания для самоподготовки

1. Сущность процесса коагуляции.
2. Сущность процесса флокуляции.
3. Какие вещества используются в качестве коагулянтов и флокулянтов.
4. Механизм процесса коагуляции.
5. Механизм процесса флокуляции.

Лабораторная работа № 15

Физико-химическая очистка сточных вод. Флотация

Цель работы: освоить флотационный метод очистки сточных вод.

Теоретическое обоснование

Флотация – один из видов адсорбционно-пузырькового разделения, основанный на формировании всплывающих агломератов (флото-комплексов) загрязнений с диспергированной газовой фазой и последующим их отделением в виде концентрированного пенного продукта (флотошлама). Флотацию применяют для удаления из сточных вод взвешенных примесей, которые самопроизвольно плохо отстаиваются.

Элементарный механизм флотации заключается в следующем: при сближении поднимающегося в воде пузырька воздуха с твердой гидрофобной частицей разделяющая их прослойка воды при некоторой

критической толщине прорывается и происходит слипание пузырька с частицей. Затем комплекс «пузырек-частица» поднимается на поверхность воды, где пузырьки собираются, и возникает пенный слой с более высокой концентрацией частиц, чем в исходной сточной воде.

При закреплении пузырька образуется трехфазный периметр-линия, ограничивающая площадь прилипания пузырька и являющийся границей трех фаз – твердой, жидкой и газообразной. Касательная к поверхности пузырька в точке трехфазного периметра и поверхность твердого тела образуют обращенный в воду угол θ , называемый краевым углом смачивания (рис. 4).

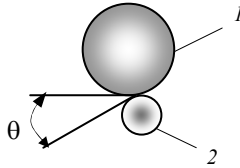


Рис. 4. Элементарный механизм флотации: 1 – пузырек газа; 2 – твердая частица

Вероятность слипания зависит от смачиваемости частицы, которая характеризуется величиной краевого угла θ . Чем больше краевой угол смачивания, тем больше вероятность прилипания и прочность удерживания пузырька на поверхности частицы. Прилипание происходит при столкновении пузырька с частицей или при образовании пузырька из раствора на поверхности частицы.

На практике процесс флотации производят в присутствии флото-реагентов, которые по своему воздействию на процесс флотации могут быть разделены на следующие четыре большие группы:

- 1) *вспениватели* – вещества, способствующие образованию устойчивых пузырьков и пены в пульпе;
- 2) *собиратели* – вещества, которые повышают краевой угол θ и тем самым гидрофобизируют поверхность твердой фазы;
- 3) *активаторы* – вещества, способствующие закреплению собирателя на поверхности твердой фазы;
- 4) *депрессоры* – вещества, которые в противоположность активаторам препятствуют закреплению собирателя на поверхности твердой фазы, и тем самым, ухудшают его флотируемость.

Часто вещество, являющееся активатором в одном конкретном случае, может быть депрессором в другом случае. Поэтому часто две последние группы объединяются в одну под общим названием регуляторов (модификаторов).

Оборудование и реактивы: емкость объемом 1 л; весы, фильтры, вспениватель, стеклянные трубки.

Порядок выполнения работы

В цилиндрическую емкость, объемом около 1 л прилить 400 мл воды и добавить навеску мела. К полученной сточной воде прилить вспениватель (1 капля). Затем ко дну емкости опустить стеклянную трубку и, вдвывая через нее воздух, создать обильную пену, с которой на поверхность увлекаются загрязнения. Пену собрать на предварительно высушенный, охлажденный и взвешенный фильтр и поместить в сушильный шкаф. Фильтр сушить до постоянной массы. По изменению массы фильтра до и после очистки определить массу извлеченного мела. Эффективность очистки (%) рассчитать по следующей формуле:

$$Y = \frac{m_1}{m_0} \cdot 100 ,$$

где m_1 – масса уловленного мела, г; m_0 – исходная масса мела, г.

Опыты проводить с навесками мела 0,5, 2 и 5 г и определить эффективность очистки для каждого случая.

Требования к отчету

В отчете привести краткое описание работы, полученные результаты и на их основании сделать вывод об эффективности использования метода очистки.

Задания для самоподготовки

1. Для каких сточных вод может быть применим флотационный метод очистки.
2. Механизм флотации.
3. Краевой угол смачивания, его влияние на эффективность извлечения.
4. Виды флотореагентов, применяемых для извлечения взвесей.
5. Правила выбора флотореагента.

Лабораторная работа № 16

Адсорбционная очистка сточных вод, содержащих красители

Цель работы: ознакомиться с адсорбционным процессом очистки сточных вод и с видами адсорбентов.

Теоретическое обоснование

Адсорбционные явления чрезвычайно широко распространены в живой и неживой природе.

При *адсорбции* происходит поглощение твердым веществом компонентов сточной воды. Материал, на поверхности или в объеме пор которого происходит концентрирование поглощаемого вещества, называют *адсорбентом*, вещество, молекулы которого могут адсорбироваться – *адсорбтивом*, уже адсорбированное вещество – *адсорбатом*. Процесс, обратный адсорбции, называется *десорбцией*.

Адсорбция может быть реагентной, т.е. с извлечением вещества из адсорбента и деструктивной, с уничтожением извлекаемого вещества вместе с адсорбентом.

Адсорбенты делят на непористые и пористые. Большинство минералов и многие синтетические неорганические материалы могут считаться адсорбентами.

Сорбционные явления основаны на физическом и химическом взаимодействии сорбата и сорбента.

Типы связей, возникающих при адсорбции: ван-дер-ваальсовы, поляризационные (ион-дипольное взаимодействие), водородные, координационные (взаимодействие донор-акцептор).

Физическая адсорбция обусловлена силами межмолекулярного взаимодействия и не сопровождается существенным изменением электронной структуры молекул адсорбата, адсорбируемые молекулы обычно обладают поверхностной подвижностью. Взаимодействие между поверхностью и адсорбированной молекулой не приводит к разрыву или образованию новых химических связей. При этом молекула сохраняет свою индивидуальность.

При хемосорбции между атомами (молекулами) адсорбента и адсорбата образуется химическая связь, т.е. хемосорбцию можно рассматривать как химическую реакцию, область протекания которой ограничена поверхностным слоем. Хемосорбция обычно необратима; химическая адсорбция, в отличие от физической, является локализованной, т.е. молекулы адсорбата не могут перемещаться по поверхности адсорбента.

Величина адсорбции пропорциональна поверхности адсорбента. Для развития поверхности твердых тел применяют различные методы обработки, создающие в твердом теле сеть различных объемных дефектов – *пор*, которые представляют собой полости в твердом теле, как правило, соединенные между собой и имеющие различную форму и размеры.

Эффективные радиусы наиболее крупной разновидности пор адсорбентов – *макропор* превышают 100-200 нм. Макропоры играют роль транспортных каналов, по которым молекулы поглощаемого вещества проникают в глубь гранул сорбента.

Переходные поры (мезопоры) имеют радиус кривизны поверхности от 2 до 100 нм. Переходные поры играют важнейшую роль при адсорбции из растворов крупных молекул (белков, СПАВ и т.д.).

Микропоры – наиболее мелкие поры с радиусом кривизны поверхности менее 1,5-2,0 нм. Микропоры играют главную роль в процессах адсорбции вещества с низкой молекулярной массой.

Если для микропористого адсорбента характерны поры строго определенных размеров, то внутрь его пор могут попасть лишь те молекулы, диаметр которых меньше или равен ширине поры применяемого адсорбента. Такие адсорбенты называют молекулярными ситами.

Оборудование и реактивы: колбы конические; фильтры; различного типа адсорбенты; шкала цветности.

Порядок выполнения работы

Используя шкалу цветности определить исходную концентрацию красителя в сточной воде.

В 4 колбы объемом 250 мл поместить по 100 мл сточной воды, прибавить определенную массу адсорбента (по выбору). Полученную суспензию перемешивать в течение 20 мин. После этого адсорбент отделить от очищенной воды фильтрованием и определить по шкале цветности остаточную концентрацию красителя после очистки.

По значениям концентраций шкалы цветности рассчитать эффективность очистки (%), используя формулу:

$$\eta = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100,$$

где C_1 – исходная концентрация красителя в сточной воде, мг/л; C_2 – остаточная концентрация красителя в очищенной воде, мг/л.

Требования к отчету

В отчете привести краткое описание работы, по результатам расчета степени очистки оценить эффективность применения каждого из используемых адсорбентов.

Задания для самоподготовки

1. Сущность процесса адсорбции.
2. Разновидности адсорбционных процессов.
3. Виды адсорбентов.
4. Пористость адсорбентов. Виды пор.
5. Молекулярные сита.

Лабораторная работа № 17

Исследование свойств активного ила

Цель работы: получить представление о биологической очистке сточных вод и ознакомиться с определением некоторых параметров активного ила.

Теоретическое обоснование

Биологические методы очистки применяются в первую очередь для очистки сточных вод, содержащих органические загрязнители. Сущность метода заключается в минерализации органических загрязнителей активным илом.

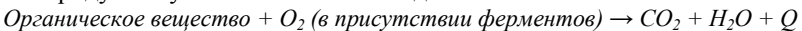
Активный ил – это скопление бактерий, простейших организмов, водорослей, использующих органические соединения сточной воды, прежде всего в качестве источников углерода в процессе питания.

Внешне активный ил представляет собой коричневатые хлопья размером до сотен микрометров; при этом он состоит примерно на 70 % из живых организмов и на 30 % из частиц неорганической природы. Живые организмы вместе с твердым носителем, к которому они прикреплены, образуют *зооглей* – симбиоз популяций организмов, покрытый общей слизистой оболочкой.

Аэробная очистка стоков включает в себя следующие стадии: 1) адсорбция субстрата на клеточной поверхности; 2) расщепление адсорбированного субстрата внеклеточными ферментами; 3) поглощение растворенных веществ клетками; 4) рост и эндогенное дыхание; 5) высвобождение экскретируемых продуктов; 6) «выедание» первичной популяции организмов вторичными потребителями.

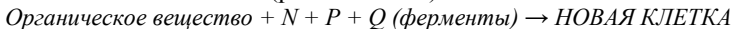
Органические и некоторые виды неорганических загрязняющих веществ используются бактериальной клеткой в двух направлениях:

1. Биологическое окисление в присутствии кислорода до безвредных продуктов углекислого газа и воды:



Выделяющаяся при этом энергия используется клеткой для обеспечения своей жизнедеятельности (движение, дыхание, размножение).

2. Синтез новой клетки (размножение):



Интенсивность и глубина протекания процессов зависит от качественного состава активного ила, разнообразия форм и видов микроорганизмов, способности их адаптации к конкретному составу загрязняющих веществ сточной воды и условий проведения процесса.

Активный ил значительно ускоряет процессы окисления и очистки сточных вод в результате поглощения его частицами органических

веществ и бактерий. Микробы сточной воды, в том числе и болезнетворные, адсорбируются активным илом и погибают или становятся активными агентами ила.

Доза активного ила зависит от *илового индекса*, который характеризует способность активного ила к оседанию, представляющим собой объем в миллилитрах, занимаемый 1 г ила в его естественном состоянии после 30-минутного отстаивания. Ил с индексом до 120 мл/г оседает хорошо, с индексом 120-150 мл/г – удовлетворительно, а при индексе выше 150 мл/г – активный ил занимает большой объем, становится лёгким, теряет хлопьевидную структуру, плохо оседает, не уплотняется.

Естественная биологическая очистка осуществляется на полях орошения, полях фильтрации, в биологических прудах, искусственная – в аэротенках и биофильтрах.

Поля орошения – участки земли, подготовленные для естественной биологической очистки сточных вод и выращивания сельскохозяйственных растений.

Поля фильтрации – участки земли, приспособленные для естественной биологической очистки сточных вод путём фильтрации их через почвенные горизонты.

Биофильтр – сооружение для биологической очистки сточных вод. Представляет собой круглый или прямоугольный в плане резервуар с двойным дном, наполненный фильтрующим материалом (котельный шлак, гранитный щебень, гравий, керамзит и др.). При прохождении сточной воды через фильтрующий материал на его поверхности образуется биологическая плёнка из скоплений бактерий, грибов, окисляющих и минерализующих органические вещества сточной воды.

Аэротенк – сооружение для биологической очистки сточных вод. Представляет собой бетонный или железобетонный проточный резервуар, разделённый перегородками на ряд коридоров. Коридоры оснащены аэраторами, через которые подаётся воздух для снабжения кислородом искусственно вносимого активного ила и его перемешивания со сточными водами. Сточная вода, протекая по аэротенку, очищается в результате окисления содержащихся в ней органических загрязнений микроорганизмами активного ила. Для очистки большинства сточных вод концентрация активного ила в аэротенке изменяется от 1 до 20 г/л.

Избыток активного ила может перерабатываться двумя способами: после высушивания как удобрение или же попадает в систему анаэробной очистки. Такие же способы очистки применяют и при сбрасывании высококонцентрированных стоков, содержащих большое количество органических веществ. Процессы брожения осуществляются в специальных аппаратах – *метатенках*.

Распад органических веществ состоит из трех этапов: растворение и гидролиз органических соединений, ацидогенез и метаногенез.

Процесс протекает в две основные стадии; на первой образуются органические кислоты, на второй образовавшиеся кислоты преобразуются в метан и диоксид углерода.

Основная реакция метанообразования



где H_2A – органическое вещество, содержащее H_2 .

Метан может образовываться в результате распада уксусной кислоты



Получаемый в метантенках газ содержит до 60-65% метана, 32-35% диоксида углерода, некоторые количества водорода, сероводорода, азота и др. и может использоваться в качестве горючего.

Полного сбраживания органических веществ в метантенках достичь нельзя. В среднем степень распада органических веществ составляет около 40 %.

Оборудование и реактивы: сушильный шкаф; цилиндр; фильтры; бюкс; эксикатор; секундомер.

Порядок выполнения работы

1. Определение концентрации активного ила

Перед выполнением определения необходимо усреднить состав активного ила путем его перемешивания по всему объему иловой смеси. Затем отобрать при помощи цилиндра 100 мл иловой смеси, профильтровать через предварительно взвешенный фильтр. Приставшие к стенкам цилиндра частички ила смыть небольшим количеством фильтрата. Фильтр подсушить на воздухе, а затем поместить в бюкс и сушить в сушильном шкафу при температуре 105°C.

Высушенный ил охладить в эксикаторе и взвесить на аналитических весах.

Концентрацию активного ила (г/л) определить по формуле:

$$X = \frac{(a - \epsilon) \cdot 1000}{V},$$

где a – масса фильтра с илом, г; ϵ – масса фильтра, г; V – объем иловой смеси, взятой для анализа, мл.

2. Определение илового индекса

Для определения илового индекса пробу с активным илом тщательно перемешать, налить в цилиндр 100 мл до метки и отстаивать в течение 30 мин.

По истечении указанного времени отметить объем осевшего ила в миллилитрах. Затем, не взмучивая осадок слить воду, а осадок поместить в прокаленную взвешенную фарфоровую чашку, и предварительно выпарив воду, высушить до постоянной массы.

Определить массу сухого вещества и рассчитать иловый индекс (мл/г) по формуле:

$$I = \frac{V}{m}$$

где V – объем ила, после 30-ти минутного отстаивания, мл; m – сухое вещество, г.

Требования к отчету

В отчете привести краткое описание работы, полученные результаты по некоторым характеристикам активного ила, вывод о возможности его использования в биологической очистке сточных вод.

Задания для самоподготовки

1. Сущность и механизм биологической очистки.
2. Активный ил, его составляющие. Стадии аэробной очистки.
3. Иловый индекс, его назначение.
4. Оборудование биологической очистки.
5. Анаэробные процессы в биологической очистке сточных вод.

Лабораторная работа № 18

Оценка качества воды методом биотестирования

Цель работы: с использованием тест-объектов дать оценку качества природной и сточной воды.

Теоретическое обоснование

Под биотестированием обычно понимают процедуру установления токсичности среды с помощью тест-объектов, сигнализирующих об опасности независимо от того, какие вещества и в каком сочетании вызывают изменения жизненно важных функций у тест-объектов.

Биотестирование как метод оценки токсичности водной среды используется:

– при проведении токсикологической оценки промышленных, сточных бытовых, сельскохозяйственных, дренажных, загрязненных природных и пр. вод с целью выявления потенциальных источников загрязнения,

- в контроле аварийных сбросов высокотоксичных сточных вод,
- при проведении оценки степени токсичности сточных вод на разных стадиях формирования при проектировании локальных очистных сооружений,
- в контроле токсичности сточных вод, подаваемых на очистные сооружения биологического типа с целью предупреждения проникновения опасных веществ для биоценозов активного ила,
- при определении уровня безопасного разбавления сточных вод для гидробионтов с целью учета результатов биотестирования при корректировке и установлении предельно допустимых сбросов (ПДС) веществ, поступающих в водоемы со сточными водами,
- при проведении экологической экспертизы новых материалов, технологий очистки, проектов очистных сооружений и пр.

Тест-объект – организм, используемый при оценке токсичности химических веществ, природных и сточных вод, почв, донных отложений, кормов и др. Тест-объекты с известной степенью приближения дают количественную оценку уровня токсичности загрязнения водной среды - сточных, сбросных, циркуляционных и природных вод.



Рис. 5. Дафния (*Daphnia magna*)

Для биотестирования используются различные гидробионты – водоросли, микроорганизмы, беспозвоночные, рыбы. Наиболее популярные объекты – ювенальные формы планктонных ракообразных-фильтраторов *Daphnia magna* (рис. 5), *Ceriodaphnia affinis*.

Тест-функция – это жизненная функция или критерий токсичности, используемые в биотестировании для характеристики отклика тест-объекта на повреждающее действие среды.

Тест-функции, используемые в качестве показателей биотестирования для различных объектов:

- для инфузорий, ракообразных, эмбриональных стадий моллюсков, рыб, насекомых – выживаемость (смертность) тест-организмов.
- для ракообразных, рыб, моллюсков – плодовитость, появление аномальных отклонений в раннем эмбриональном развитии организма, степень синхронности дробления яйцеклеток.
- для культур одноклеточных водорослей и инфузорий – гибель клеток, изменение (прирост или убыль) численности клеток в культуре, коэффициент деления клеток, средняя скорость роста, суточный прирост культуры.
- для растений – энергия прорастания семян, длина первичного корня и др.

По длительности биотестирования выделяют:

- острые биотесты, выполняемые на различных тест-объектах по показателям выживаемости, длятся от нескольких минут до 24-96 ч.
- краткосрочные хронические тесты длятся в течение 7 суток и заканчиваются, как правило, после получения первого поколения тест-объектов.
- хронические тесты на общую плодовитость ракообразных, охватывающие 3 поколения, длятся до рождения молоди в 3 поколениях.

Действие ядовитых химических веществ на живые организмы многообразно. Чем сложнее организм, тем на большее число его жизненных функций действует токсикант.

Токсичность воды и донных отложений для гидробионтов возникает вследствие появления в ней токсических веществ природного или антропогенного происхождения (ксенобиотиков), загрязнения сточными водами, токсическими атмосферными осадками и др. Токсичность – это способность вещества вызывать нарушения физиологических функций организма, в результате чего возникают симптомы интоксикаций (заболевания), а при тяжелых поражениях – его гибель.

При возникновении токсичности водной среды вода из среды, подерживающей жизнь, становится средой, губительной для жизни. Степень токсичности водной среды оценивается как методами биотестирования, так и по превышению ПДК.

Оборудование и реактивы: колбы объемом 250 мл; стеклянная трубка диаметром 0,5-0,7 см; модельные загрязнения (кислая сточная вода; вода, содержащая нефтепродукты; ионы тяжелых металлов).

Порядок выполнения работы

Для приготовления модельных стоков в 5 мерных колб объемом 100 мл прилить 10, 20, 30, 40 и 50 мл сточной воды. Довести объем колбы до метки отстоянной водопроводной воды, обогащенной кислородом. Одна колба с водой не должна содержать загрязняющие вещества (контрольный вариант).

Перелить готовые модельные стоки в емкости на 250 мл. Перенести дафний в количестве 10 особей в каждую емкость.

Наблюдать в течение занятия за состоянием рачков. Учет выживших дафний провести в течение 1 часа. Особей считают выжившими, если они свободно передвигаются в толще воды или всплывают со дна сосуда не позднее 15 с после его легкого покачивания.

Рассчитать процент выживших дафний в каждом из вариантов по формуле

$$B = \frac{X_k - X_m}{X_k} \cdot 100,$$

где X_k – количество дафний, выживших в контроле, X_m – количество дафний, выживших в тестируемой воде.

Если полученное значение $B \leq 50 \%$, то это позволяет сделать вывод о том, что данный модельный сток оказывает токсическое действие на дафний.

Для определения степени острого токсического действия анализируемых сточных вод рассчитать графическим методом кратность разбавления воды (ЛКр_{50}), при которой гибнет 50 % дафний и минимальную кратность разбавления (ЛКр_0), при которой дафнии не гибнут.

Пример графического расчета степени токсичного действия показан на рис. 6.

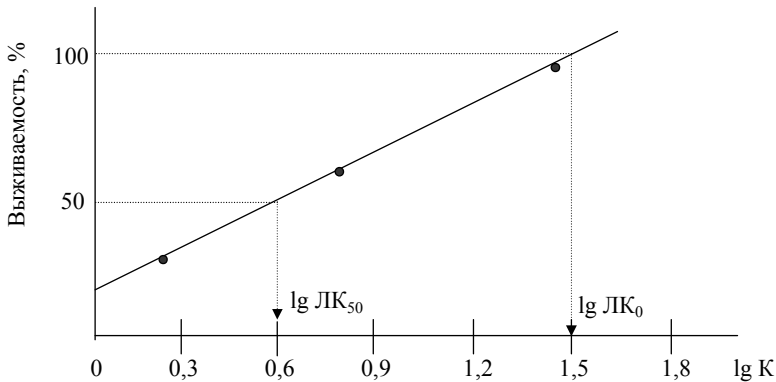


Рис. 6. Пример графического расчета степени токсического действия загрязнителей

Чем больше величины ЛКр_{50} и ЛКр_0 , тем токсичнее сточная вода, а значит, тем опаснее для окружающей среды ее воздействие.

Степень токсичности можно также установить, рассчитав среднее время гибели 50 % дафний в тестируемой воде (ЛТ_{50}). Для этого строят график, откладывая на оси абсцисс время наблюдения, а на оси ординат – выживаемость в процентах к контролю. Чем меньше ЛТ_{50} , тем токсичнее тестируемая вода.

Требования к отчету

В отчете привести краткое описание работы, результаты биотестирования. По полученным данным оценить токсичность воды. Определен графическим методом степень токсического действия рассчитать

кратность разбавления стока, обеспечивающую его полную (ЛКр₀) и 50 % (ЛКр₅₀) безопасность.

Задания для самоподготовки

1. Что понимают под биотестированием воды.
2. В каких случаях используется биотестирование.
3. Какие организмы служат в качестве тест-объектов
4. Виды биотестов по длительности биотестирования.
5. Токсичность воды.

Лабораторная работа № 19

Определение содержания гумусовых веществ в почве

Цель работы: познакомиться с органическими составляющими почвы, свойствами гумусовых соединений, научиться определять содержание гумусовых веществ в почве.

Теоретическое обоснование

Почва – поверхностный слой литосферы Земли, обладающий плодородием и представляющий собой полифункциональную гетерогенную открытую четырёхфазную (твёрдая, жидкая, газообразная фазы и живые организмы) структурную систему, образовавшуюся в результате выветривания горных пород и жизнедеятельности организмов.

Жидкая часть, т.е. почвенный раствор, осуществляет перенос веществ внутри почвы, вынос из неё и снабжение растений водой и растворёнными элементами питания.

Газообразная часть, или почвенный воздух, заполняет поры, не занятые водой. Количество и состав почвенного воздуха, в который входят N₂, O₂, CO₂, летучие органические соединения и др., не постоянны и определяются характером множества протекающих в почве химических, биохимических, биологических процессов.

Твёрдая фаза неоднородна и состоит из агрегатов или структурных частей, которые представляют собой совокупность механических элементов.

Важной частью почвы является органическое вещество. Органическая часть почвы представляет очень сложный комплекс разнообразных органических веществ.

На долю органических веществ приходится в среднем 5 % общего объема твердой фазы почвы.

Все органические вещества почвы по своему происхождению, характеру и функциям четко делятся на две большие группы: органические остатки и гумус (рис. 7).

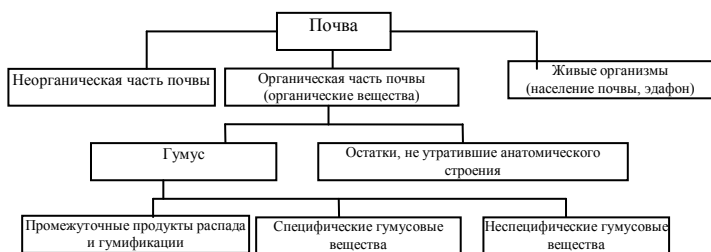


Рис. 7. Система органических веществ почвы

В составе гумуса выделяют три группы соединений:

- неспецифические органические соединения синтезируются в живых организмах и поступают в почву в составе растительных и животных остатков;

- промежуточные продукты распада и гумификации – продукты частичного разложения органических остатков, которые по сумме признаков еще не могут быть отнесены к специфическим гумусовым, но уже не являются веществами, характерными для живых организмов;

- специфические гумусовые вещества образуются непосредственно в почве в результате протекания процессов гумификации.

В структуре гумусовых веществ условно выделяют ядерную и периферическую части. Ядерные фрагменты представлены преимущественно циклическими соединениями. Периферические части молекул представляют собой фрагменты, легко расщепляемые при гидролизе. Периферические части относительно обогащены функциональными группами. Периферические части гумусовых веществ содержат разные функциональные группы (карбоксильные, аминогруппы, спиртовые и др.), определяющие разнообразные химические свойства и взаимодействие групповых соединений между собой.

Наличие функциональных групп определяет многие физико-химические свойства почв в целом: поглотительную способность почв, способность связывать и аккумулировать в себе тяжелые металлы, регулировать содержание в почвенном растворе многих компонентов и др.

Все виды продуктов взаимодействия неспецифических веществ почвы или специфических гумусовых веществ с минеральными компонентами объединяют в понятия «органоминеральных соединений». Органоминеральные соединения почв делят на три группы:

1) гетерополярные соли образуются в результате протекания реакций нейтрализации гумусовых кислот;

2) комплексно-гетерополярные соли образуются в результате образования комплексов гумусовых кислот с подвижными ионами. По способности образовывать комплексные соединения катионы располагаются в ряд: $Fe^{3+} > Al^{3+} \geq Fe^{2+} > Cu^{2+} \geq Zn^{2+} > Co^{2+} > Pb^{2+}$;

3) сорбционные (глиногумусные) комплексы образуются в процессе взаимодействия гумусовых веществ с кристаллическими или аморфными минералами почв.

Гумусовые соединения также способны поддерживать определенное значение pH почвы, проявляя при этом буферные свойства.

Окраска почв имеет большое агрономическое значение. Мощный темноокрашенный верхний горизонт свидетельствует о высоком плодородии почвы вследствие накопления значительного количества гумуса.

Оборудование и реактивы: аналитические весы; коническая колба на 100 мл; бюретка; воронка; асбестовая сетка; хромовая смесь; 0,2 %-й раствор фенилантрапиловой кислоты; 0,2 н раствор соли Мора.

Порядок выполнения работы

1. Определение категории почвы по ее окраске

Размеры навесок почв при определении гумуса берут в зависимости от окраски почвы и предполагаемого содержания в ней гумуса.

Почву по содержанию гумуса и цвету можно условно разделить на следующие категории по плодородию (табл. 15).

Таблица 15

Категории почвы по окраске, содержанию гумуса и плодородию

Окраска почв	Содержание гумуса, %	Категории
Очень чёрная	10–15	Высокогумусная, очень плодородная ($m = 0,05$ г)
Чёрная	7–10	Гумусная, плодородная ($m = 0,1$ г)
Тёмно-серая	4–7	Среднегумусная, среднеплодородная ($m = 0,2$ г)
Серая	2–4	Малогумусная, среднеплодородная ($m = 0,3$ г)
Светло-серая	1–2	Малогумусная, малоплодородная ($m = 0,4$ г)

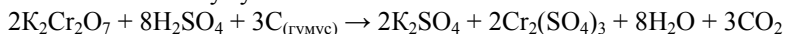
2. Определение гумуса

Воздушно-сухую почву растереть в фарфоровой ступке и просеять через сито с отверстиями в 1 мм.

Навеску почвы осторожно перенести в коническую колбу вместимостью 250 мл и прилить 10 мл 0,2 н раствора хромовой смеси.

В горло колбы вставить маленькую воронку, служащую холодильником, и поставить колбу на этернитовую плитку или песочную баню. Содержимое колбы нагревают, не допуская кипения. При нагревании начинается окисление гумуса, заметное по мелким пузырькам выде-

ляющегося CO_2 . Часть двуххромовокислого калия при этом затрачивается на окисление гумуса:



Затем содержимое колбы охладить, прибавить 2 мл 85 %-ного раствора фосфорной кислоты и 5-8 капель фенолантраниловой кислоты в качестве индикатора. Титровать 0,2 н раствором соли Мора до изменения темно-бурой окраски раствора через фиолетовую и синюю в грязно-зеленую.

Параллельно необходимо провести холостое титрование. Для этого вместо почвы взять 0,2 г прокаленного песка и поместив его коническую колбу на 250 мл, выполнить опыт в аналогичных условиях.

Установлено, что 1 мл 0,2 н раствора соли Мора соответствует такому количеству хромовой кислоты, которое окисляет 0,0006 г углерода. Поэтому количество углерода (%) вычисляются по формуле

$$x = \frac{(a - b) \cdot 0,0006 \cdot C \cdot 100 \cdot K}{m},$$

где a – объем раствора соли Мора, затраченный на титрование холостой пробы, мл; b – объем раствора соли Мора, затраченный на титрование рабочей пробы после окисления гумуса, мл; C – коэффициент пересчета концентрации раствора соли Мора к 0,2 н; 100 – коэффициент перевода на 100 г почвы; K – коэффициент для пересчета на сухую почву (поправка на содержание гигроскопической воды); m – навеска почвы, взятая для анализа, г.

Вычислить процентное содержание гумуса из расчета, что в его составе содержится в среднем 58 % органического углерода (1 г углерода соответствует 1,724 г гумуса):

$$\text{Гумус (\%)} = x (\%) \cdot 1,724.$$

Окончательные данные состава гумуса в процентах к общему углероду следует вычислять с точностью до одного знака после запятой – такова максимальная разрешающая способность этого метода.

Требования к отчету

В отчете привести краткое описание работы, результаты определений, сравнительный анализ, сделать вывод о типе исследуемой почвы.

Задания для самоподготовки

1. Классификация органических веществ почвы.
2. Какие свойства придает гумус почве?
3. Классификация гумусовых веществ.
4. Структура гумусовых веществ.
5. Органоминеральные соединения.

Лабораторная работа № 20

Определение емкости катионного обмена почвы

Цель работы: научиться определять емкость поглощения и сумму поглощенных оснований.

Теоретическое обоснование

Большую роль в питании растений и в превращении внесенных в почву удобрений играет ее поглотительная способность. Под поглотительной способностью понимается способность почвы поглощать различные вещества из раствора, проходящего через нее, и удерживать их. Различают пять видов поглощения в почве:

- механическая поглотительная способность обусловлена свойством почвы, как всякого пористого тела, задерживать мелкие частицы из фильтрующихся суспензий;

- физическая поглотительная способность – это положительная или отрицательная адсорбция частицами почвы целых молекул растворенных веществ;

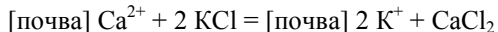
- химическая поглотительная способность связана с образованием нерастворимых и труднорастворимых в воде соединений в результате химических реакций между отдельными растворимыми солями в почве (ионами в почвенном растворе);

- биологическая поглотительная способность связана с жизнедеятельностью растений и почвенных микроорганизмов, которые избирательно поглощают из почвы необходимые элементы минерального питания, переводят их в органическую форму и предохраняют тем самым от выщелачивания;

- физико-химическая, или обменная, поглотительная способность – это способность мелкодисперсных (от 0, 2 до 0, 001 мкм) частиц почвы поглощать из раствора различные катионы. Поглощение одних катионов сопровождается вытеснением в раствор эквивалентного количества других, ранее связанных твердой фазой почвы.

Ионообменные свойства почвы связаны с процессом эквивалентного обмена находящихся в почвенном поглощающем комплексе катионов и анионов взаимодействующего с твердыми фазами почвы раствора.

Обменными катионами в почвах являются Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Al^{3+} . Реакцию обмена, протекающую между обменными катионами и катионами почвенного раствора, можно представить следующей схемой:



Обменная реакция протекает с большой скоростью и является обратимой. Для ее протекания в одном направлении необходимы много-

кратная обработка почвы раствором соли и удаление образующихся продуктов из сферы реакции.

Емкость поглощения или емкость катионного обмена – это максимальное количество обменных катионов, которое может удержать почва в обменно-поглощенном состоянии, выраженное в мг-экв/100 г почвы. По поглотительной способности почв предложена следующая градация (табл. 16):

Таблица 16

Градация поглотительной способности почв

ЕКО, мг-экв/100 г почвы	Характеристика	Примечание
3-5	Крайне низкая	Сильно элювиальные горизонты подзолов
5-10	Очень низкая	Пески, песчаные и супесчаные почвы
10-15	Низкая	Почвы легкого суглинистого состава
15-25	Средняя	В почвах с промывным водным режимом и невысоким содержанием гумуса
25-35	Выше средней	Гумусовые горизонты сухостепных и полупустынных почв
35-45	Высокая	Чернозёмы
45-60	Очень высокая	Среднегумусовые и тучные чернозёмы, гумусово-аккумулятивные горизонты
≥ 60	Крайне высокая	Отдельные компоненты почвенной массы: гумусовые вещества, смектитовые минералы, вермикулит

Поглощение анионов почвами в неблагоприятных условиях может приводить к накоплению ряда токсичных веществ.

Оборудование и реактивы: весы; сито; фарфоровая чашка; 1% раствор AgNO_3 ; фильтр; электроплитка; 10%, 0,05 н и 0,1 н растворы HCl ; 10% раствор H_2SO_4 ; 0,1 н забуференный раствор BaCl_2 ; этиловый спирт; конические колбы; стеклянные воронки; мерный цилиндр; пипетка на 25 мл; бюретка на 50 мл; 0,1 н раствор NaOH ; фенолфталеин.

Порядок выполнения работы

1. Определение емкости поглощения

Взвесить 10 г почвы, просеянной через сито в 1 мм, поместить ее в фарфоровую чашку и обрабатывать 0,05 н раствором HCl до полного разрушения карбонатов. Раствор из чашки перенести на плотный беззольный фильтр. После разрушения карбонатов почву в чашке обработать забуференным до pH 6,5 раствором BaCl_2 до полного насыщения поглощающего комплекса барием, т.е. тех пор, пока окраска прошедшего через почву раствора хлористого бария от прибавления бромтимолового синего не будет примерно такой же, как в пробе исходного раствора BaCl_2 .

Дистиллированной водой отмыть почву и стенки воронки от механически задержанного хлористого бария до исчезновения реакции на хлорид. Для этого 1-2 мл фильтрата, взятого из-под воронки, подкислить 1 мл концентрированной азотной кислоты и добавить 2-3 капли 1% раствора AgNO_3 . Наличие белого осадка свидетельствует о содержании хлорида в растворе. При появлении мутного раствора промывание закончить 88-96% этиловым спиртом, затем поглощенный барий вымыть из почвы 1,0 н раствором HCl до исчезновения реакции на барий.

Для осаждения бария фильтрат после нейтрализации 10% раствором аммиака, довести до кипения, прилить 10 мл горячей 10% H_2SO_4 , кипятить 2 минуты и оставить до полного остывания.

Осадок BaSO_4 профильтровать через плотный беззольный фильтр, отмыть от избытка серной кислоты горячей водой, подкисленной 10% раствором HCl , просушить и взвесить.

Емкость поглощения по барию (мг-экв/100 г) вычисляют по формуле:

$$A = \frac{0,588 \cdot a}{C} \cdot 100,$$

где a – масса осадка, определяемая по разности масс фильтра с осадком и сухого фильтра, г; 0,588 – множитель пересчета с BaSO_4 на Ba ; 100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы; C – навеска почвы, г.

2. Определение суммы поглощенных оснований

В коническую колбу объемом 250 мл поместить 10 г почвы. К пробе прилить 50 мл 0,1 н раствора HCl , и интенсивно встряхивать в течение 20 мин, после чего дать суспензии отстояться и профильтровать через фильтр «синяя лента».

Отобрать 10 мл раствора и титровать 0,1 н раствором NaOH в присутствии индикатора фенолфталеина, до появления ярко-розовой окраски, не исчезающей в течение 1 минуты. В случае выпадения осадка полуторных оксидов при титровании с фенолфталеином окраску следует наблюдать в прозрачном слое над осадком.

Параллельно провести холостой опыт, используя 10 мл 0,1 н раствора HCl .

Сумму поглощенных оснований (моль/100 г) вычисляют по формуле

$$S = \frac{(V_0 - V) \cdot C}{m} \cdot 100,$$

где V_0 – объем 0,1 н раствора NaOH , израсходованного на титрование холостой пробы, мл; V – объем раствора NaOH , израсходованный на титрование пробы вытяжки, мл; C – концентрация раствора NaOH ,

моль/л; 100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы; m – масса навески почвы, соответствующая взятому для титрования объему вытяжки, г.

Требования к отчету

В отчете представить краткое описание работы, полученные результаты, определить тип почвы по величине емкости катионного обмена, сделать вывод о качестве почвы и о месте ее отбора.

Задания для самоподготовки

1. Что понимают под поглотительной способностью почв.
2. Виды поглотительной способности почв.
3. Структура почвенного поглощающего комплекса.
4. Классификация катионов по способности к почвенному поглощению.
5. Величина емкости поглощения некоторых почв.

Лабораторная работа № 21

Определение кислотности почв и подвижного алюминия

Цель работы: определить различные виды кислотности почв и подвижный алюминий в почвах.

Теоретическое обоснование

Кислотность почвы обусловлена наличием в почве органических и минеральных кислот, кислых и гидролитически кислых солей, а также поглощенных (обменных) ионов H^+ и Al^{3+} . Различают следующие виды кислотности: активная (актуальная) и потенциальная, которая подразделяется на обменную и гидролитическую.

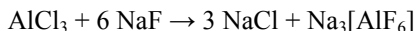
Обменная кислотность проявляется при обработке почвы раствором нейтральной соли. Для определения обменной кислотности почву взбалтывают с раствором хлористого калия. При этом ионы калия вытесняют ионы водорода, находящиеся в почве в поглощенном (обменном) состоянии, и занимают их место. Ионы водорода, перешедшие в раствор, соединяются с оставшимися в нем ионами хлора и образуют соляную кислоту, наличие которой можно определить с помощью рН-метра или другим способом. Установлено, что причиной потенциальной кислотности почвы являются как обменные ионы H^+ , так и ионы Al^{3+} . Образующийся хлорид алюминия – гидролитически кислая соль, поэтому в водном растворе он расщепляется на кислоту и основание.

Обменную кислотность определяют количеством титруемых ионов H^+ и Al^{3+} в вытяжке, приготовленной с помощью раствора нейтраль-

ной соли – 1 н KCl. Обменная кислотность характеризуется также величиной рН солевой вытяжки (1 н KCl). Для кислых почв интервал значений рН солевой вытяжки лежит в очень широких пределах – от 2 (иногда менее) до 6.

При обработке почвы 1,0 н раствором KCl в раствор переходит поглощенные водород и алюминий. Хлорид алюминия в водном растворе гидролизуется с образованием дополнительного количества соляной кислоты. Принцип метода заключается в том, что солевую вытяжку титруют дважды щелочью: первую пробу обычным титрованием, вторую предварительно добавив в нее фторид натрия или калия.

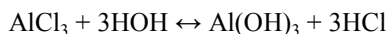
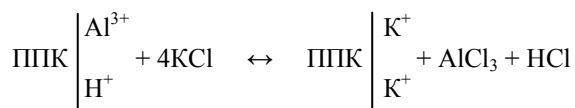
Первым титрованием определяют сумму ионов H^+ и Al^{3+} в солевой вытяжке. При втором титровании, при добавлении фторида натрия ионы алюминия связываются в комплексе:



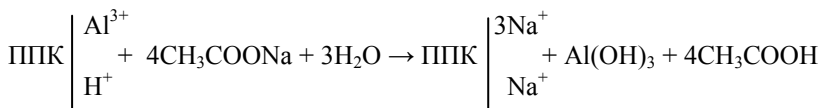
Вычитая из результатов первого титрования результаты второго, получают количество подвижного алюминия.

Гидролитическую кислотность определяют титрованием кислоты, но в солевой вытяжке, приготовленной на основании ацетата натрия. Гидролитическая кислотность выше обменной в связи с тем, что равновесие ионного обмена в данном случае смещено в сторону более полного перехода обменно-поглощенных ионов H^+ в жидкую фазу вследствие применения гидролитически щелочной соли (большая степень гидролиза солей алюминия в щелочной среде с образованием осажденного $Al(OH)_3$ и иона H^+) и образования слабой уксусной кислоты.

Обменная кислотность



Гидролитическая кислотность



Источником обменного иона H^+ служат гумусовые кислоты, а также угольная кислота. Обменный алюминий извлекается органическими кислотами из кристаллической решетки глинистых минералов и других форм гидроксида алюминия.

Валовое содержание алюминия в почве составляет 8-15% Al_2O_3 , в основном он содержится в составе алюмосиликатов, гидратов и фосфатов, т.е. в труднорастворимом состоянии. На кислых почвах алюминий может находиться и в обменно-поглощенном состоянии. С формами алюминия связана кислотность почв. В природных условиях явление недостаточности алюминия для растений не отмечено, а вот явления токсического влияния повышенных концентраций этого элемента встречаются довольно широко и распространены по всей Нечерноземной зоне. Негативное влияние алюминия на растения связано, прежде всего, с увеличением кислотности почвы и поступление в растения фосфора и других элементов питания. Начиная с концентрации подвижного алюминия 2-5 мг/100 г почвы, наблюдается угнетение роста растений, а при 10 мг/100 г резко падает урожайность растений и часто гибель.

Оборудование и реактивы: весы; фильтр; пипетка на 25 мл; электроплитка; конические колбы; бюретка для титрования; 1 н раствор KCl; 1,0 н раствор CH_3COONa ; 0,02 н и 0,1 н раствор NaOH; 3,5% раствор NaF; раствор фенолфталеина.

Порядок выполнения работы

1. Определение гидролитической кислотности

В колбу объемом 250 мл поместить 20 г воздушно-сухой почвы, просеянной через сито 1 мм. К почве прилить 50 мл 1,0 н раствора CH_3COONa , интенсивно перемешивать в течение 20 мин. Суспензию отфильтровать через складчатый фильтр. Отобрать пипеткой 25 мл фильтрата и перенести в коническую колбу, прибавить 1-2 капли фенолфталеина и оттитровать фильтрат 0,1 н раствором NaOH до слабо розовой окраски, не исчезающей в течение одной минуты.

Гидролитическую кислотность (мг-экв/100 г) вычислить по формуле

$$H = \frac{a \cdot N \cdot 100 \cdot 1,75}{m},$$

где a – количество 0,1 н NaOH, пошедшей на титрование фильтрата, мл; 100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы; N – концентрация щелочи; 1,75 – поправка на полноту вытеснения ионов водорода; m – навеска почвы, соответствующая взятому для титрования объему фильтрата.

2. Определение подвижного алюминия

В колбу поместить 40 г сухой просеянной почвы, прилить 100 мл 1,0 н раствора KCl и интенсивно встряхивать смесь в течение 10-15 мин.

Солевую вытяжку отфильтровать через складчатый фильтр и **определить величину pH (если более 5, то вытяжку подкислить 0,1 н HCl)**. Далее в две конические колбы прилить по 25 мл фильтрата в каждую и кипятить содержимое 5 мин для удаления CO₂.

В одной колбе горячую вытяжку оттитровать 0,02 н раствором NaOH в присутствии 2-3 капель фенолфталеина.

Во вторую колбу после кипячения добавить 1 мл 3,5%-ного раствора NaF, охладить и титровать 0,02 н раствором NaOH в присутствии фенолфталеина.

Содержание алюминия (мг/100 г) вычислить по формуле:

$$A = \frac{(a - b) \cdot 100 \cdot 0,18}{m}$$

где a – количество NaOH, израсходованное при горячем титровании, мл; b – количество NaOH, израсходованное при холодном титровании, мл; 100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы; 0,18 – коэффициент пересчета алюминия в мг (1 мл 0,02 н NaOH соответствует 0,18 мг алюминия); m – навеска почвы, соответствующая взятому для одного титрования объему жидкости.

Требования к отчету

В отчете представить краткое описание работы, результаты определения показателей кислотности почвы, сделать выводы о влиянии подвижного алюминия на растительность.

Задания для самоподготовки

1. Чем обусловлена кислотность почв.
2. Обменная кислотность, особенности ее определения.
3. Гидролитическая кислотность, особенности ее определения.
4. Источники обменного иона водорода.
5. Влияние алюминия на растения.

Лабораторная работа № 22

Оценка состояния загрязненных отходами почв

Цель работы: используя методы биотестирования дать оценку качества почвы, загрязненной отходами.

Теоретическое обоснование

Поступающие в почву химические соединения накапливаются и приводят к постепенному изменению химических и физических

свойств почвы, снижают численность живых организмов, ухудшают ее плодородие.

Наибольшей трансформацией подвергается самый верхний, поверхностный горизонт литосферы. При неправильной эксплуатации почвы безвозвратно уничтожаются в результате эрозии, засоления, загрязнения промышленными и иными отходами. Под влиянием деятельности людей возникает ускоренная эрозия, когда почвы разрушаются в 100 – 1000 раз быстрее, чем в естественных условиях.

Главными источниками загрязнения почв являются:

- жилые дома и бытовые предприятия. В числе загрязняющих веществ преобладает бытовой мусор, пищевые отходы, строительный мусор, отходы отопительных систем, пришедшие в негодность предметы домашнего обихода; мусор общественных учреждений – больницы, столовых, гостиниц, магазинов и др.;

- теплоэнергетика. Помимо образования массы шлаков при сжигании каменного угля с теплоэнергетикой связано выделение в атмосферу сажи, несгоревших частиц, оксидов серы, в конце концов, оказывающихся в почве;

- сельское хозяйство. Удобрения, ядохимикаты, применяемые в сельском и лесном хозяйстве для защиты растений от вредителей, болезней и сорняков. Загрязнение почв и нарушение нормального круговорота веществ происходит в результате недозированного применения минеральных удобрений и пестицидов;

- транспорт. При работе двигателей внутреннего сгорания интенсивно выделяются оксиды азота, свинец, углеводороды и другие вещества, оседающие на поверхности почвы или поглощаемые растениями. Почву загрязняют нефтепродуктами при заправке машин на полях и в лесах, на лесосеках и т.д.;

- промышленные предприятия. В твердых и жидких промышленных отходах постоянно присутствуют те или иные вещества, способные оказывать токсическое воздействие на живые организмы и их сообщества. Например, машиностроительная промышленность выводит в окружающую среду цианиды, соединения мышьяка, бериллия.

Твердые отходы в машиностроении образуются в процессе производства продукции в виде амортизационного лома (модернизация оборудования, оснастки, инструмента), стружки и опилок (металлов, древесины, пластмасс и т. п.); шлаков и золы; шламов, осадков и пылей (отходы систем очистки воздуха) и др.

Количество амортизационного лома зависит от намеченного списания в лом изношенного оборудования и имущества, а также от замены отдельных деталей, в планово-предупредительном ремонте. 55% амор-

тизационного лома на машиностроительных предприятиях: образуется от замены технологической оснастки и инструмента. Безвозвратные потери металла вследствие коррозии и истирания составляют примерно 25% от общего количества амортизационного лома.

Размеры отходов металла в производстве зависят от количества металла и сплавов, подлежащих переработке, и установленного коэффициента отходов. Отходы машиностроительных предприятий в основном образуются от производства проката (концов, обрезков, обдирочной стружки, опилок, отрезки слитков на ножницах и пилах, окалины и др.), производства литья (шлаков и съёмов, соров и др.); механической обработки (высечки, обрезков, стружки и опилок и др.) и т. д. На предприятиях машиностроения отходы составляют 260 кг на тонну металла. Основными источниками образования отходов легированных сталей является металлообработка – 84% и амортизационный лом – 16%.

Шламы из отстойников очистных сооружений и прокатных цехов содержат большое количество твердых материалов. Концентрация твердых частиц в шламах различна – от 20 до 300 г/л. После обезвреживания и сушки шламы используются в качестве добавки к агломерационной шихте или удаляются в отвалы. Шламы термических, литейных и других цехов содержат токсичные соединения свинца, хрома, меди, цинка, а также цианиды, хлорофос и др.

Самоочищение почв, как правило, – медленный процесс. Токсичные вещества накапливаются, что способствует постепенному изменению химического состава почв, нарушению единства геохимической среды и живых организмов. Из почвы токсические вещества могут попасть в организмы животных, людей и вызвать тяжелейшие болезни и смертельные исходы.

В почвах накапливаются соединения металлов, например, железа, ртути, свинца, меди и др. Ртуть поступает в почву с пестицидами и промышленными отходами. Суммарные неконтролируемые выбросы ртути составляют до 25 кг в год. Выбросы цинка, сурьмы составили по 600 тыс. т, мышьяка – 1,5 млн. т, кобальта – свыше 0,9 млн. т, никеля – более 1 млн. т.

Существует два методических подхода для определения токсичности почв. Для экспресс-диагностики используют водные экстракты, содержащие водорастворимые фракции почв. В этом случае биотестирование выполняют на традиционных для водной токсикологии тест-объектах – ракообразных, инфузориях или водорослях. Токсические свойства почв можно выяснить также при помощи населяющих ее организмов, которые используются в качестве тест-объектов.

Для биотестирования фитотоксических свойств почвы используют семена различных культурных растений. Одним из наиболее распространенных является тест с использованием кресс-салата. Кресс-салат – это небольшое травянистое однолетнее растение из семейства крестоцветных. Оно хорошо тем, что дает всходы через 2-3 дня после посева, а урожай его можно снимать уже через неделю. Для выполнения теста на определение токсичности почв потребуются чашки Петри, семена кресс-салата и собственно пробы почвы из исследуемого биотопа. Для получения достоверных данных, опыты для каждого из участков биотопа ставят не менее чем в трех повторностях.

Оборудование и реактивы: емкость 1 л; чашки Петри; тест-объекты (семена кресс-салата, дафнии); 0,1 н растворы HCl и NaOH.

Порядок выполнения работы

1. Биотестирование фитотоксических свойств почвы

В чашку Петри внести образец исследуемой почвы, увлажнить его и засеять 25 семенами кресс-салата. Чашки желательно экспонировать в люминостате с режимом 12 ч света/12 ч темноты. Оптимальная температура – около 20-22°C. Период экспозиции должен составлять от 7 до 10 дней. В конце этого периода анализировать следующие показатели:

- 1) всхожесть семян (% взшедших от общего количества высеянных);
- 2) длину зародышевого корешка;
- 3) длину побега.

О токсичности исследуемых проб почвы судят путем статистического сравнения с контрольными данными. В качестве контроля можно использовать почву того же типа, что и в эксперименте, но отобранную в заведомо незагрязненном биотопе или так называемую искусственную почву. Она представляет собой смесь следующего состава: 68% песка, просеянного через сито №70; 20% белой глины; 10% сфагнового торфа; 2% карбоната кальция. Перечисленные ингредиенты смешиваются в указанных пропорциях и увлажняются дистиллированной водой до 35%-ной влажности (определяется по весу).

Величину эффекта торможения (%) определить по формуле:

$$E_T = \frac{L_k - L_{on}}{L_k} 100\%$$

где L_{on} – средняя длина корней (побегов, взшедших семян) в опыте, мм; L_k – средняя длина корней (побегов, взшедших семян) в контроле, мм.

Фитотоксическое действие считается доказанным, если фитоэффект составляет 20 % и более.

2. Биотестирование водной вытяжки почвы

Водную вытяжку из почвы для биотестирования готовить в соотношении: 1 часть почвы и 4 части культивационной воды (допускается использование дистиллированной воды). Вода не должна содержать CO_2 , так как в его присутствие может исказить результаты биотестирования. Взвесить 20 г пробы почвы в воздушно-сухом состоянии, поместить в колбу и прилить 200 мл культивационной воды.

Далее полученную смесь встряхивать в течение 20 мин, после чего отстаивать в течение 15 мин, а затем профильтровать.

Определить величину pH водной вытяжки, значение которой должно находиться в диапазоне 6,0-8,0. При необходимости пробу нейтрализовать растворами HCl или NaOH. Биотестируемую пробу водной вытяжки аэрировать в течение 10 мин.

В отдельную емкость отобрать 100 мл пробы и посадить 10 особей дафний. Определить выживаемость дафний в течение суток.

Параллельно осуществить биотестирование контрольного образца почвы.

Рассчитать процент выживших дафний:

$$L = \frac{X_k - X_m}{X_k} \cdot 100,$$

где X_k – количество дафний, выживших в контроле, X_m – количество дафний, выживших в тестируемой пробе.

Если полученное значение $L \leq 50$ %, то это позволяет сделать вывод о том, что данный образец почвы загрязнен токсичными веществами.

Параллельно в подготовленную чашку Петри поместить по 10 семян, прилить 5 мл водной вытяжки и определить эффект торможения.

Требования к отчету

В отчете представить краткое описание работы, результаты определения фитотоксичности почв, и данные по биотестированию водной вытяжки почвы, сделать выводы о качестве исследуемой почвы и о возможных загрязнениях в случае выявления токсического эффекта.

Задания для самоподготовки

1. Источники загрязнения почв.
2. Источники образования отходов в машиностроении.
3. Методы определения токсичности почв.

4. Пути миграции ионов тяжелых металлов в почве.
5. Виды тест-объектов, применяемых при биотестировании почв.

Лабораторная работа № 23

Оценка акустического и радиоактивного загрязнений окружающей среды

Цель работы: освоить метод измерения шума и радиоактивности, оценить уровень шума и величину радиоактивности объектов окружающей среды.

Теоретическое обоснование

Шум – это беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности (силы), возникающих при механических колебаниях в твердых, жидких и газообразных средах.

По природе возникновения шумы делятся на механические, аэродинамические, гидродинамические, электромагнитные.

Звуковые колебания в воздухе приводят к его сжатию и разрежению. В областях сжатия давление воздуха возрастает, а в областях разрежения понижается. Разность между давлением, существующим в среде в данный момент, и атмосферным давлением, называется звуковым давлением.

Поверхность тела, совершающая колебания, является излучателем (источником) звуковой энергии, который создает акустическое поле.

Для оценки и сравнения звукового давления, интенсивности и звуковой мощности различных источников приняты характеристики их уровней, выраженные в безразмерных единицах (*дБ*) – децибелах.

Увеличение интенсивности звука в 10 раз соответствует одному белу (*Б*): $1Б = 10 дБ$. Шкала уровней шума представлена в табл. 17.

Основным источником шума в зданиях различного назначения является технологическое и инженерное оборудование. Основными источниками внешнего шума являются транспортные потоки на улицах и дорогах, железнодорожный, водный и воздушный транспорт, промышленные и энергетические предприятия и их отдельные установки, внутриквартирные источники шума (трансформаторные подстанции, центральные тепловые пункты, хозяйственные дворы магазинов, спортивные и игровые площадки и др.).

Допустимый уровень шума – это уровень, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений по-

казателей функционального состояния систем и анализаторов, чувствительных к шуму.

Соблюдение предельно допустимого уровня шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Таблица 17

Шкала шумов (уровни звука)

Децибел, дБ	Характеристика	Источники звука
0	Ничего не слышно	зимний лес в безветренную погоду
10	Почти не слышно	шелест листьев
20	Едва слышно	шепот человека
30	Тихо	тиканье настенных часов. <i>Допустимый максимум по нормам для жилых помещений ночью, с 23 до 7 ч.</i>
40	Довольно слышно	обычная речь. <i>Норма для жилых помещений днём, с 7 до 23 ч.</i>
50	Отчётливо слышно	разговор, пишущая машинка <i>Верхняя норма для офисных помещений</i>
60	Шумно	громкий разговор
75	Шумно	крик, смех
80	Очень шумно	мотоцикл с глушителем
90	Очень шумно	громкие крики, грузовой железнодорожный вагон
100	Крайне шумно	оркестр, раскаты грома <i>Максимально допустимое звуковое давление для наушников плеера</i>
110	Крайне шумно	вертолёт
120	Почти невыносимо	отбойный молоток
130	Болевой порог	самолёт на старте
140	Контузия	звук взлетающего реактивного самолета
145	Контузия	старт ракеты
160	Шок, травмы	ударная волна от сверхзвукового самолёта
При уровнях звука свыше 160 децибел - возможен разрыв барабанных перепонки и лёгких, больше 200 - смерть (шумовое оружие)		

Методы борьбы с шумом подразделяют на методы по снижению шума в источнике его образования и методы по снижению шума на пути его распространения от источника.

В отличие от акустических колебаний, характеризующихся низкой энергоёмкостью, радиоактивная ионизация вещества всегда сопровождается изменением его основных физических и физико-химических свойств.

Радиоактивность – самопроизвольное превращение атомов одного элемента в атомы других элементов, сопровождающееся испусканием частиц и жесткого электромагнитного излучения.

Наиболее значимы следующие типы ионизирующего излучения:

– коротковолновое электромагнитное излучение (поток фотонов высоких энергий): рентгеновское излучение и γ -излучение;

- потоки частиц: β -частиц (электронов и позитронов), α -частиц (ядер атома гелия-4), нейтронов и др.;
- осколков деления (тяжёлых частиц, возникающих при делении ядер).

Природные источники ионизирующего излучения: спонтанный радиоактивный распад радионуклидов; термоядерные реакции, например на Солнце; индуцированные ядерные реакции в результате попадания в ядро высокоэнергетичных элементарных частиц или слияния ядер; космические лучи.

Искусственные источники ионизирующего излучения: искусственные радионуклиды; ядерные реакторы; ускорители элементарных частиц (генерируют потоки заряженных частиц, а также тормозное фотонное излучение); рентгеновский аппарат как разновидность ускорителей, генерирует тормозное рентгеновское излучение.

Эффективность взаимодействия ионизирующего излучения с веществом зависит от типа излучения, энергии частиц и сечения взаимодействия облучаемого вещества. Важные показатели взаимодействия ионизирующего излучения с веществом:

- линейная передача энергии (ЛПЭ), показывающая, какую энергию излучение передаёт среде на единице длины пробега при единичной плотности вещества;
- поглощённая доза излучения, показывающая, какая энергия излучения поглощается в единице массы вещества.

В Международной системе единиц СИ единицей поглощённой дозы является *Грэй* (*Гр*), численно равный поглощённой энергии в 1 Дж на 1 кг массы вещества. Иногда встречается устаревшая внесистемная единица *рад*: доза, соответствующая поглощенной энергии 100 эрг на 1 грамм вещества. $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$.

Также широко применяется устаревшее понятие *экспозиционная доза излучения* – величина, показывающая, какой заряд создаёт фотонное (γ - или рентгеновское) излучение в единице объёма воздуха. Для этого обычно используют внесистемную единицу экспозиционной дозы *рентген* (*Р*): доза фотонного излучения, образующего ионы с зарядом в 1 ед. заряда СГСЭ ($\frac{1}{3} \cdot 10^{-9}$ кулон) в 1 см^3 воздуха. В системе СИ используется единица кулон на килограмм ($\text{Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$; $1 \text{ Р} = 2,57976 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$).

Активность радиоактивного источника ионизирующего излучения определяется как среднее количество распадов ядер в единицу времени. Соответствующая единица в системе СИ *беккерель* (*Бк*) обозначает количество распадов в секунду. Применяется также внесистемная еди-

ница *кюри* (*Ki*). $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$. Первоначальное определение этой единицы соответствовало активности 1 г радия-226.

Корпускулярное ионизирующее излучение также характеризуется кинетической энергией частиц. Для измерения этого параметра наиболее распространена внесистемная единица *электрон-вольт* (*эВ*). Как правило, радиоактивный источник генерирует частицы с определенным спектром энергий. Датчики излучений также имеют неравномерную чувствительность по энергии частиц.

Энергия частиц ионизирующего излучения лежит в диапазоне от нескольких сотен электрон-вольт (рентгеновское излучение, β -излучение некоторых радионуклидов) до 10^{15} - 10^{20} и выше электрон-вольт (протоны космического излучения, для которых не обнаружено верхнего предела по энергии).

Разные типы ионизирующего излучения обладают разным разрушительным эффектом и разным способом воздействия на биологические ткани. Соответственно, одной и той же поглощённой дозе соответствует разная биологическая эффективность излучения. Поэтому для описания воздействия излучения на живые организмы вводят понятие относительной биологической эффективности излучения, которая измеряется с помощью *коэффициента качества*. Для рентгеновского, γ - и β -излучений коэффициент качества принят за 1. Для α -излучения и осколков ядер коэффициент качества 10-20. Нейтроны – 3-20 в зависимости от энергии. Для заряженных частиц биологическая эффективность прямо связана с линейной передачей энергии данного типа частиц (средняя потеря энергии частицей на единицу длины пробега частицы в ткани).

Для учёта биологического эффекта поглощённой дозы была введена эквивалентная поглощённая доза ионизирующего излучения, численно равная произведению поглощённой дозы на коэффициент биологической эффективности. В системе СИ эффективная и эквивалентная поглощённая доза измеряется в *зивертах* (*Зв*).

Ранее широко применялась единица измерения эквивалентной дозы *бэр* (Биологический Эквивалент Рентгена для γ -излучения). Эквивалентная доза 1 бэр соответствует облучению γ -квантами с поглощённой дозой 1 рентген. Эквивалентная поглощённая доза приводится к поглощённой дозе γ -излучения, поскольку массовые измерительные приборы регистрируют в основном именно гамма-излучение, и такая величина наиболее соответствует возможностям измерений. Для рентгеновского и γ -излучений $1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}$, соответственно принимают, что $1 \text{ рентген} = 0,01 \text{ Зв}$.

Помимо биологической эффективности, необходимо учитывать проникающую способность излучений. Например, тяжёлые ядра атомов и альфа-частицы имеют крайне малую длину пробега в сколь угодно плотном веществе, поэтому радиоактивные α -источники опасны при попадании внутрь организма. Наоборот, γ -излучение обладает значительной проникающей способностью.

Первичное действие ионизирующих излучений – это прямое попадание в биологические молекулярные структуры клеток и в жидкие (водные) среды организма. Вторичное действие – действие свободных радикалов, возникающих в результате ионизации, создаваемой излучением в жидких средах организма и клеток. Свободные радикалы вызывают разрушения целостности цепочек макромолекул (белков и нуклеиновых кислот), что может привести как к массовой гибели клеток, так и канцерогенезу и мутагенезу. Наиболее подвержены воздействию ионизирующего излучения активно делящиеся (эпителиальные, стволовые, также эмбриональные) клетки.

Нормирование осуществляется по санитарным правилам и нормативам СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)». Устанавливаются дозовые пределы эффективной дозы для следующих категорий лиц:

- персонал – лица, работающие с техногенными источниками излучения (группа А) или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б);
- все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий в их производственной деятельности.

Основные пределы доз и допустимые уровни облучения персонала группы Б равны четверти значений для персонала группы А.

Среднемировая доза облучения от естественных источников, накопленная на душу населения за год, равна 2,4 мЗв, с разбросом от 1 до 10 мЗв. Основные компоненты:

- 0,4 мЗв от космических лучей (от 0,3 до 1,0 мЗв, в зависимости от высоты над уровнем моря);
- 0,5 мЗв от внешнего гамма-излучения (от 0,3 до 0,6 мЗв, в зависимости от радионуклидного состава окружения – почвы, строительных материалов и т.п.);
- 1,2 мЗв внутреннего облучения от ингалируемых атмосферных радионуклидов, главным образом радона (от 0,2 до 10 мЗв, в зависимости от местной концентрации радона в воздухе);
- 0,3 мЗв внутреннего облучения от инкорпорированных радионуклидов (от 0,2 до 0,8 мЗв, в зависимости от радионуклидного состава пищевых продуктов и воды).

Мощность 0,04-0,23 мкЗв/ч (4-23 мкбэр/ч) считается *безопасной* величиной; 0,24-0,6 мкЗв/ч (24-60 мкбэр/ч) *допустимая* величина радиационного фона; 0,61-1,2 мкЗв/ч (61-120 мкбэр/ч) – *тревожный (подозрительный)* уровень: кратковременное пребывание на такой местности не отражается на состоянии здоровья; выше 1,2 мкЗв/ч (120 мкбэр/ч) – *опасный уровень*: не рекомендуется даже кратковременное пребывание – необходимо по возможности быстрее покинуть это место.

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) 1000 мЗв, а для обычного населения за всю жизнь – 70 мЗв. Планируемое повышенное облучение допускается только для мужчин старше 30 лет при их добровольном письменном согласии после информирования о возможных дозах облучения и риске для здоровья.

В процессе ядерных превращений образуются радионуклиды. Среди радионуклидов выделяются короткоживущие и долгоживущие. Радионуклиды, существующие на Земле с момента её формирования, часто называют *природными долгоживущими*, или *примордиальными радионуклидами*; такие нуклиды имеют период полураспада, превышающий $5 \cdot 10^8$ лет. Одним из них является *Калий-40* – радиоактивный изотоп химического элемента калия с атомным номером 19 и массовым числом 40. Изотопная распространённость калия-40 в природе составляет 0,0117 %.

Весь имеющийся на Земле калий-40 образовался незадолго до возникновения Солнечной системы и самой планеты (4,6 млрд лет назад) и с тех пор постепенно распадался. Своим существованием на сегодняшний день нуклид обязан большому периоду полураспада ($1,248 \cdot 10^9$ лет).

Распад калия-40 происходит по двум направлениям:

- β^- -распад (вероятность 89,28 %): ${}_{19}^{40}\text{K} \rightarrow {}_{20}^{40}\text{Ca} + \bar{e}$
- захват орбитального электрона (вероятность 10,72 %): ${}_{19}^{40}\text{K} + \bar{e} \rightarrow {}_{18}^{40}\text{Ar}$

Калий-40 с необходимостью присутствует в живых организмах наряду с двумя другими (стабильными) природными изотопами калия. Концентрация этого элемента в питьевой воде составляет $\sim 3 \cdot 10^{-4}$ мг/л, что приводит к радиоактивности воды на уровне $2 \cdot 10^{-12}$ Ки/л. Эта величина чрезвычайно мала и не ведёт к каким-либо вредным последствиям для организма.

Наличие калия-40 в теле человека обуславливает его природную радиоактивность на уровне 4-5 кБк в зависимости от массы. Это при-

мерно 80-85 % всей радиоактивности организма. Оставшаяся часть исходит от изотопа ^{14}C .

Многие пищевые продукты от природы радиоактивны из-за содержащегося в них калия-40.

Банановый эквивалент – понятие, применяемое для характеристики активности радиоактивного источника путём сравнения с активностью калия-40, содержащегося среди других изотопов калия в обычном банане.

Банановый эквивалент определяется как активность вещества, вводимого в организм при съедании одного банана. Средний банан содержит радиоизотопы активностью 3520 пикокюри на килограмм веса (130 Бк/кг), или примерно 520 пикокюри (19 Бк) в 150-граммовом банане. Эквивалентная доза в 365 бананах (один в день в течение года) составляет 3,6 миллибэра или 36 микрозивертов.

Все натуральные продукты содержат небольшое количество радиоактивных изотопов. Некоторые продукты имеют природный уровень радиации выше среднего. Среди них картофель, бобы, орехи и семечки подсолнечника. Сведения о средней активности калия-40 в воде, почве и некоторых продуктах питания приведены в табл. 18.

Таблица 18

**Удельные активности по ^{40}K воды, почвы
и некоторых продуктов питания**

Компонент	Удельная активность, Бк/л или Бк/кг
Вода питьевая	0,1-0,3
Морская вода	6-12
Почвы Нечерноземья	350-450
Пшеница	90-110
Молоко	35-45
Корнеплоды и клубни картофеля	100-150
Фрукты	50-100
Овощи	40-240
Мясо	80-120
Рыба	90-110

Оборудование и реактивы: электронный шумомер Testo 815; индикатор радиоактивности «РАДЭКС»

Порядок выполнения работы

1. Определение акустического загрязнения

Для определения уровня шума используется шумомер Testo 815. Включить прибор, нажав соответствующую кнопку. Далее выполнять измерения непосредственно у источника шума, удерживая прибор на

расстоянии 30-50 см от своего тела, т.к. человеческое тело также является источником шума (~ 6 дБ).


2. Определение радиоактивного загрязнения

Перед началом работы ознакомиться с устройством прибора (рис. 8).



Рис. 8. Устройство индикатора радиоактивности «РАДЭС»

Включить прибор нажатием кнопки «ВЫКЛ». На дисплее прибора появится стандартная настройка режима «НАБЛЮДЕНИЯ».

Далее включить режим «ФОН», который позволяет правильно определить среднее значение мощности дозы фона. Для этого при помощи кнопок «МЕНЮ» и «КУРСОР» выбрать фоновый режим измерения. Выполнить определение фоновых значений мощности излучения в 5 различных точках, используя параметр «ОЦЕНКА». Определение в каждой точке проводить до тех пор, пока на дисплее не появится пиктограмма , означающая его завершения. Нажав кнопку «ВЫКЛ» при помощи курсора включить фоновый режим, а далее двукратное нажатие той же кнопки («ВЫКЛ») вернуться в основное меню, где появится фоновое значение излучения.

При определении радиоактивной загрязненности следует приблизить прибор к объекту обследования на расстояние от 5 до 10 мм левой боковой стороной.

Выполнить измерение мощности эквивалентной дозы объекта.

После завершения цикла наблюдения на дисплее появятся два показания: разность между мощностью измеряемой эквивалентной дозы

и мощностью дозы фона. Значение измеренной эквивалентной дозы для исследуемого объекта складывается из этих двух значений.

Требования к отчету

В отчете представить краткое описание работы, привести данные по величине шума и радиоактивности в измеряемых объектах, сделать вывод об уровнях энергетических загрязнений окружающей среды.

Задания для самоподготовки

1. Воздействие шума на живые организмы. Уровни воздействия.
2. Виды источников и типы ионизирующих излучений.
3. Единицы измерения радиоактивности.
4. Воздействие ионизирующего излучения на живые организмы.
5. Банановый эквивалент, особенности нахождения в окружающей среде изотопа К-40.

Библиографический список

1. *Николайкин, Н.И.* Экология / Н.И. Николайкин, Н.Е. Николайкина, О.А. Мелехова. – М.: Дрофа, 2006. – 622 с.
2. *Тарасова, Н.П.* Задачи и вопросы по химии окружающей среды / Н.П. Тарасова, В.А. Кузнецов, Ю.В. Сметанников, А.В. Малков, А.А. Додонова. – М.: Мир, 2002. – 368 с.
3. *Луценко, Н.Г.* Введение в биохимию / Н.Г. Луценко. – М.: Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2001. – 124 с.
4. *Старостина, И.В.* Промышленная экология: учебно-практическое пособие / И.В. Старостина, Л.М. Смоленская. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 213 с.
5. *Экология: методические указания к выполнению лабораторных работ* / М.И. Василенко, Л.М. Смоленская, М.М. Латыпова. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002. – 41 с.
6. *Химия окружающей среды: методические указания к выполнению лабораторных работ* / М.М. Латыпова, Л.А. Порожнюк, Т.А. Василенко. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 70 с.
7. *Мелехова, О.П.* Биологический контроль окружающей среды / О.П. Мелехова, Е.И. Егорова, Т.И. Евсева. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 288 с.
8. *Лурье, Ю.Ю.* Аналитическая химия промышленных сточных вод. – М.: Химия, 1984. – 448 с.
9. *Петросян, А.* Биотестирование в вопросах и ответах / А. Петросян. – URL: <http://www.bioassay.narod.ru/biotest/biot.html>. Дата обращения 20.11.12
10. *Пендюрин, Е.А.* Почвоведение: учебно-практическое пособие / Е.А. Пендюрин, Л.М. Смоленская. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 72 с.
11. Справочник по гидрохимии. – URL: <http://biology.krc.karelia.ru/misc/hydro/index.html>. Дата обращения 12.02.13
12. Растворенный кислород. – URL: <http://xn--d1accqto.net/kachestvo-privodnykh-vod/rastvorennyy-kislorod>. Дата обращения 12.12.12
13. *Бердоносков, С.С.* Ионизирующее излучение и окружающая среда / С.С. Бердоносков, Ю.А. Сапожников / Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Т. 7. – № 2. – С. 40-46.
14. Содержание гумуса в почве. - URL: <http://ayatskov1.ru/soderzhanie-gumusa-v-pochve>. Дата обращения 19.02.13.
15. *Беляков, С.А.* Лихеноиндикация воздушной среды / С.А. Беляков. – URL: <http://ivmk.net/lithos-lichen.htm>. Дата обращения 25.02.13.
16. *Болотов, Б.В.* «Здоровье человека в нездоровом мире». Фотосинтез / Б.В. Болотов. URL: <http://www.glubinnaya.info/science/photosynthesis/photosynthesis.htm>. Дата обращения 16.04.13.

17. *Вальков, В.Ф.* Почвоведение: учебник для вузов / В.Ф. Вальков, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников. – Ростов-н/Д.: МарТ, 2006. – 496 с.
18. СНиП 23-03-2003 «Защита от шума». – URL: <http://www.mukhin.ru/stroysovet/noise/25.html>. Дата обращения 24.04.13.
19. Водоподготовка: Справочник. /Под ред. С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.

Оглавление

Введение	3
Лабораторная работа № 1 Определение содержания нитратов в растительных объектах	4
Лабораторная работа № 2 Изучение процесса фотосинтеза. Продукты фотосинтетических реакций	7
Лабораторная работа № 3 Определение содержания углекислого газа в воздухе рабочей зоны	10
Лабораторная работа № 4 Оценка качества атмосферного воздуха методом лишеноиндикации	14
Лабораторная работа № 5 Определение содержания аммиака в воздухе ...	19
Лабораторная работа № 6 Определение органолептических показателей и взвешенных веществ в воде	22
Лабораторная работа № 7 Определение содержания растворенного кислорода в воде	28
Лабораторная работа № 8 Определение pH, кислотности и щелочности воды	31
Лабораторная работа № 9 Определение сухого и прокаленного остатков и жесткости воды	35
Лабораторная работа № 10 Определение содержания анионов в поверхностных водах	38
Лабораторная работа № 11 Определение окисляемости природных вод ...	42
Лабораторная работа № 12 Механическая очистка сточных вод	45
Лабораторная работа № 13 Химическая очистка сточных вод	48
Лабораторная работа № 14 Физико-химическая очистка сточных вод. Коагуляция и флокуляция	50
Лабораторная работа № 15 Физико-химическая очистка сточных вод. Флотация	52
Лабораторная работа № 16 Адсорбционная очистка сточных вод, содержащих красители	54
Лабораторная работа № 17 Исследование свойств активного ила	57
Лабораторная работа № 18 Оценка качества воды методом биотестирования	60
Лабораторная работа № 19 Определение содержания гумусовых веществ в почве	64
Лабораторная работа № 20 Определение емкости катионного обмена почвы	68
Лабораторная работа № 21 Определение кислотности почв и подвижного алюминия	71
Лабораторная работа № 22 Оценка состояния загрязненных отходами почв	74
Лабораторная работа № 23 Оценка акустического и радиоактивного загрязнений окружающей среды	79
Библиографический список	88