Міністерство освіти і науки України
Чорноморський державний університет
імені Петра Могили

О. П. МІТРЯСОВА
В. М. СМИРНОВ

ПРАКТИКУМ З ХІМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ

Навчальний посібник

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів

ЧДУ
ВИДАВНИЦТВО
Миколаїв – 2014

УДК 504.064.3:54(075.в)
ББК 20.1я73
М 67

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів (лист № 1/11-12201 від 30.07.2013 р.)

Рекомендовано до друку вченою радою Чорноморського державного університету імені Петра Могили (протокол № 3 від 08.11.2012 р.).

Рецензенти:

Погребенник В. Д., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екологічної безпеки та аудиту Національного університету «Львівська політехніка»;

Ракицька Т. Л., доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри неорганічної хімії та хімічної екології Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова;

Долін В. В., доктор геологічних наук, завідувач відділу біогеохімії ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України».

М 67

Мітрясова О. П. Практикум з хімічного моніторингу довкілля : [навчальний посібник] / О. П. Мітрясова, В. М. Смирнов. – 2-ге вид., випр. і доповн. – Миколаїв : ЧДУ імені Петра Могили, 2014. – 160 с.

ISBN 978-966-336-294-6

У навчальному посібнику подано методи визначення основних показників якості довкілля. Посібник побудовано у формі практикуму, де розглянуто основні методи визначення показників якості води, повітря, ґрунту, наведено методи біоіндикації стану об'єктів довкілля. Після кожної теми запропоновано питання для самоконтролю. Посібник містить тлумачний словник основних термінів.

Навчальне видання призначено для студентів і викладачів екологічних та інших природничих спеціальностей.

УДК 504.064.3:54(075.в)
ББК 20.1я73

© Мітрясова О. П., 2014
© Смирнов В. М., 2014
© ЧДУ ім. Петра Могили, 2014

ISBN 978-966-336-294-6

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....5

ВСТУП.....6

Розділ 1. ОСНОВИ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ТА ПРАВИЛА ПРОБОВІДБОРУ.....10

Тема 1.1. Фізико-хімічні методи аналізу.....10
Тема 1.2. Пробовідбір та підготовка зразків до аналізу.....13

Розділ 2. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА.....23

Тема 2.1. Техніка безпеки виконання лабораторних робіт. Правила роботи в хімічній лабораторії. Хімічні реактиви, користування ними.....23
Тема 2.2. Терези і техніка зважування. Будова аналітичних терезів. Правила зважування.....29
Тема 2.3. Гравіметричний метод визначення зважених речовин у воді.....37
Тема 2.4. Редоксиметричний метод (метод окиснення-відновлення) визначення кисню у воді.....40
Тема 2.5. Комплексонометричний метод визначення твердості (жорсткості) води.....45
Тема 2.6. Титриметричне визначення хлоридів у воді.....48
Тема 2.7. Потенціометричне визначення pH розчинів.....51
Тема 2.8. Хроматографічне визначення йонів Fe^{3+} у харчових продуктах хроматографією на папері.....56
Тема 2.9. Фотоколориметричний метод вимірювання параметрів довкілля.....59

Розділ 3. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ СТАНУ ҐРУНТІВ.....70

Тема 3.1. Методи розділення пробного майданчика для проведення моніторингу ґрунтів.....73
Тема 3.2. Визначення вмісту вологості в ґрунті.....76
Тема 3.3. Визначення механічного складу ґрунту та ґрунтоутворювальної породи.....78
Тема 3.4. Визначення щільності та твердої фази ґрунту.....83
Тема 3.5. Визначення кислотності ґрунту.....85

Тема 3.6. Визначення форм знаходження важких металів у ґрунті 88
Тема 3.7. Визначення вмісту загального Феруму в ґрунті 93

Розділ 4. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ 96

Тема 4.1. Вимірювання швидкості й напряму вітру 98
Тема 4.2. Вимірювання температури, вологості повітря та оцінювання стану погоди 100
Тема 4.3. Гравіметричний метод визначення зважених часток пилу в атмосферному повітрі 101
Тема 4.4. Визначення концентрації нітроген(IV) оксиду в атмосферному повітрі 103
Тема 4.5. Визначення запиленості повітря 106
Тема 4.6. Експрес-метод визначення концентрації вуглекислого газу 107

Розділ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДУ ЗОЛИ РОСЛИН ТА МЕТОДИ БІОІНДИКАЦІЇ 109

Тема 5.1. Якісне визначення деяких аналітичних показників золи рослин 115
Тема 5.2. Біоіндикація забруднення повітря за станом хвої сосни 120
Тема 5.3. Здатність водних мікроорганізмів здійснювати самоочищення водоймищ 123
Тема 5.4. Визначення інтенсивності виділення вуглекислого газу ґрунтом як біотест на щільність заселення живими організмами 126

Розділ 6. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ 131

Тема 6.1. Визначення якості меду 131
Тема 6.2. Експрес-метод визначення тетраметилтіурамдисульфіду (ТМДТ) у зерні 134
Тема 6.3. Визначення соланіну в картоплі 135
Тема 6.4. Визначення нітратів у продуктах харчування 136
Тема 6.5. Аналіз молока та молочних продуктів 139
Тема 6.6. Визначення показників м'ясних продуктів 142

ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК 148

ЛІТЕРАТУРА 154

ПЕРЕДМОВА

Забезпечення екологічної безпеки людей та всього живого – основна вимога «Порядку денного у XXI ст.». У цьому документі головна роль відводиться екологічній освіті, яка має становити нову сутність усієї освіти та унікальний засіб збереження й розвитку людської цивілізації. Серед головних завдань екологічної освіти є оволодіння інструментальними компетенціями з оцінювання стану довкілля для ухвалення правильних рішень щодо його поліпшення, для передбачення можливих наслідків власних дій і запобігання негативному впливу на навколишнє середовище.

Сучасний спеціаліст має бути ерудованим, мати широке професійне мислення, розвинене почуття професійної та моральної відповідальності. Розв'язання суперечності, яка існує між рівнем екологічної грамотності, екологічної культури майбутніх спеціалістів природничих спеціальностей, з одного боку, та сучасною необхідністю бачення ними взаємин між природою і людиною, уміннями оцінювати й прогнозувати наслідки втручання людини в природне середовище та вміннями вживати необхідних заходів з оздоровлення природи та самої людини – з іншого, зумовлює необхідність вивчення студентами прикладних аспектів моніторингу, оволодіння навичками проводити елементарний аналіз об'єктів довкілля. Останнє обумовлює основну мету цього навчального посібника.

Головне завдання навчального посібника: допомогти студентам після вивчення циклу хімічних дисциплін усвідомити сутність фізико-хімічних методів моніторингу довкілля. Ми не в змозі дати студентам усі знання майбутнього, що можуть бути використані ними у практичній діяльності, але можемо озброїти їх методами щодо дослідження і розв'язання професійних проблем. Ми не ставимо за мету запам'ятовувати певні методики визначення показників навколишнього середовища. Головне – зрозуміти й усвідомити сутність методів.

Практикум з моніторингу довкілля містить розділи, присвячені опису фізико-хімічних методів аналізу води, повітря, ґрунту, рослин. Особливу увагу приділено визначенню показників водного та повітряного середовищ. Перед тим, як досліджувати об'єкт на певний показник, наводиться коротка характеристика токсичності, джерел надходження елемента у складі різноманітних сполук до об'єкта дослідження, граничні концентрації елемента. Після лабораторних робіт наведено контрольні питання, які допоможуть концентрувати увагу студентів на ключових аспектах теми.

Сподіваємося, що практикум допоможе оволодіти не тільки технікою лабораторних робіт, але й сформувати інструментальні компетенції щодо аналізу та прогнозу стану навколишнього середовища.

ВСТУП

Моніторинг довкілля – це комплексна система спостережень, оцінювання та прогнозу змін біосфери, а також її окремих компонентів під впливом антропогенних факторів. Дві альтернативні концепції було розроблено на початку 70-х рр. XX ст. Ю. Ізраелем та І. Герасимовим.

Ю. Ізраель (1974, 1979 рр.) визначав моніторинг довкілля як систему спостережень, оцінювання та прогнозу антропогенних змін стану абіотичних компонентів біосфери, зворотної реакції екосистем на ці зміни, також антропогенних змін, що пов'язані з господарською діяльністю людини.

За І. Герасимовим (1975 р.), моніторинг – це система спостережень, контролю та управління станом довкілля.

На підставі цих визначень система моніторингу охоплює три види: санітарно-гігієнічний, екологічний та біосферний.

Санітарно-гігієнічний моніторинг – це система спостережень за якістю довкілля, головним чином з точки зору охорони здоров'я населення. У межах цього соціально важливого рівня моніторингу здійснюють спостереження за ступенем забруднення природного середовища шкідливими токсичними речовинами та впливом цього забруднення на людину, рослинність і тварин. При санітарно-гігієнічному моніторингу визначають наявність фізичних видів забруднення (електромагнітних, шумових), забруднень алергенами, патогенними мікроорганізмами, запашними речовинами; здійснюють контроль за вмістом в атмосфері оксидів сульфуру, нітрогену, карбону, сполук важких металів, радіаційним фоном. У водних об'єктах визначають ступінь їх забруднення різноманітними органічними речовинами, нафтопродуктами. При спостереженнях використовують санітарні норми та показники, що характеризують стан середовища з точки зору його можливого впливу на організм людини.

Екологічний моніторинг контролює стан екологічних систем (біогеоценозів) і природних комплексів, зміну стану окремих видів природних ресурсів (водних, земельних, рослинних, ресурсів тваринного світу та ін.). Нині в системі екологічного моніторингу немає єдиної системи показників і стандартів стану природних ресурсів. У зв'язку з цим ступінь порушення природних комплексів, екосистем та інших компонентів біосфери визначають порівняно з показниками аналогічних систем та компонентів біосфери. Ступінь антропогенної дії характеризують, наприклад, за забрудненням поверхневих вод, за зниженням родючості земель. Ступінь і характер порушення в природних комплексах оцінюють порівняно з аналогічними

екосистемами стаціонарних дослідних майданчиків або природних територій (заповідників), які особливо охороняються.

Біосферний (глобальний) моніторинг призначено для спостереження за фоновим станом довкілля на значних територіях. Об'єктами його спостережень є радіаційний рівень, наявність в атмосфері вуглекислого газу, озону, зміна кліматичних характеристик, ступінь забруднення Світового океану та інші параметри. Програму глобального моніторингу (Глобальна система моніторингу навколишнього середовища − ГСМНС) прийнято в Найробі 1974 р. Вона передбачає систематичне вивчення довкілля за єдиною програмою та уніфікованими методиками на 8 континентальних, 77 базових та 616 біосферних регіональних станціях, які розташовано в різних точках земної кулі. У країнах СНД спостереження за програмою ГСМНС здійснюються гідрометеослужбою та на територіях біосферних заповідників.

Залежно від території, яка охоплюється спостереженнями, моніторинг поділяють на три рівні: базовий (глобальний або загальнобіосферний), регіональний та імпактний (локальний). Окрім того, залежно від методів, які використовують при визначенні стану довкілля, та об'єктів спостереження, виділяють такі види моніторингу:

– фізичний (геліофізичний, гравіметричний, магнітометричний, йоносферний, метеорологічний, гідрологічний, сейсмологічний, радіометричний та ін.);
– хімічний (гідрохімічний, біогеохімічний та ін.);
– геоморфологічний (геодезичний, ерозійний та ін.);
– біологічний (ботанічний, зоологічний, мікробіологічний, альгологічний та ін.);
– ґрунтовий;
– гео(еко)системний;
– аерокосмічний.

Найбільш достовірні та повноцінні результати дає комплексний підхід до оцінювання стану довкілля, який охоплює різні методи моніторингу.

Відповідно до постанови Кабінету Міністрів України, моніторинг довкілля здійснюється Державною службою України з надзвичайних ситуацій, Міністерством охорони здоров'я, Мінагрополітики, Держкомлісгоспом, Мінекоресурсів, Держводгоспом, Держкомземом, Держбудом, їх органами на місцях, а також підприємствами, установами та організаціями, що належать до сфери їх управління, які є суб'єктами системи моніторингу за загальнодержавною та регіональними програмами реалізації відповідних природоохоронних заходів.

Координацію діяльності суб'єктів системи моніторингу, розгляду поточних питань, пов'язаних із проведенням моніторингу довкілля, здійснює міжвідомча комісія з питань моніторингу довкілля із секціями за відповідними напрямами, склад та положення про яку затверджуються Кабінетом Міністрів України.

Моніторинг довкілля здійснюють:

Мінприроди:

1. Держуправління екоресурсів в області – здійснює моніторинг поверхневих вод; джерел скидів стічних вод; джерел промислових викидів в атмосферу. Контроль за якістю водних ресурсів проводиться шляхом спостереження за гідрохімічними показниками в поверхневих водах області та зворотних водах основних підприємств – забруднювачів водних об'єктів.

2. Обласний центр з гідрометеорології – здійснює моніторинг атмосферного повітря та опадів, лиманних та морських вод, стихійних та небезпечних природних явищ (повені, паводки).

Держкомітет природних ресурсів:

1. Гідрогеологічна партія – здійснює моніторинг підземних вод (гідрогеологічні та гідрохімічні визначення складу та властивостей, оцінювання ресурсів); геохімічного стану ландшафтів (уміст і поширення природних і техногенних хімічних елементів та сполук).

Міністерство охорони здоров'я:

1. Обласна санітарно-епідеміологічна станція – здійснює моніторинг (у місцях проживання й відпочинку населення, у тому числі на природних територіях курортів) – атмосферного повітря (уміст шкідливих хімічних речовин); поверхневих вод суші та питної води; ґрунтів; фізичних факторів (шум, вібрація, електромагнітні поля радіочастот, освітлення, метеофактори).

Держкомводгосп:

1. Регіональне управління водних ресурсів – здійснює моніторинг річок, водосховищ, каналів, зрошувальних систем і водойм у межах водогосподарських систем комплексного призначення, систем водопостачання; водойм у зонах впливу АЕС; поверхневих вод у місцях їх інтенсивного виробничо-господарського використання.

2. Обласне виробниче управління меліорації і водного господарства – здійснює моніторинг каналів, зрошувальних систем; зрошуваних та осушуваних земель.

Мінагрополітики:

1. Проектно-технологічний центр «Облдержродючість» – здійснює моніторинг ґрунтів сільськогосподарського використання; поверхневих та підземних вод сільськогосподарського призначення.

Держкомлісгосп.

Держкомзем:

1. Обласне управління земельних ресурсів – здійснює моніторинг ґрунтів і ландшафтів; рослинного покриву земель (видовий склад).

Держбуд:

1. Управління житлово-комунального господарства облдержадміністрації – водоканали області – здійснюють моніторинг питної води централізованих систем водопостачання; стічних вод міської каналізаційної мережі та очисних споруд.

Державна служба України з надзвичайних ситуацій:

1. Управління з питань надзвичайних ситуацій облдержадміністрації – здійснює моніторинг довкілля на територіях, підпорядкованих Адміністрації зони відчуження і зони безумовного (обов'язкового) відселення, а також в інших зонах радіоактивного забруднення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС.

Розділ 1

ОСНОВИ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ТА ПРАВИЛА ПРОБОВІДБОРУ

ТЕМА 1.1. Фізико-хімічні методи аналізу

Найдоступнішим в умовах навчальних лабораторій є якісний аналіз. Він завжди виконується перед кількісним, оскільки вибір цього методу визначення залежить від даних якісного аналізу.

Існує низка якісних реакцій, за якими можна робити попередні висновки щодо вмісту певного компонента.

Таблиця 1.1

Якісні реакції на йони

Якісні реакції на катіони	
Li^+	Полум'я (червоне)
Na^+	Полум'я (жовте)
K^+	Полум'я (фіолетове)
Ca^{2+}	Полум'я (цегельно-червоне)
	Карбонат-йони (білий осад)
	Оксалат-йони (білий осад)
Ba^{2+}	Полум'я (жовто-зелене)
	Сульфат-йони (білий осад)
	Хромат-йони (жовтий осад)
Cu^{2+}	Полум'я (зелене)
	У водному розчині гідратовані йони $[Cu(H_2O)_4)]^{2+}$ мають блакитне забарвлення
	Водний розчин аміаку (синьо-фіолетове забарвлення)
Pb^{2+}	Сульфід-йони (чорний осад)
	Йодид-йони (жовтий осад)
	Хромат-йони (жовтий осад)
Ag^+	Хлорид-йони (білий осад)
	Хромат-йони (цегельно-червоний осад)
Fe^{2+}	Червона кров'яна сіль (синій осад)
Fe^{3+}	Жовта кров'яна сіль (синій осад)
	Роданід-йони (червоне забарвлення)
Cd^{2+}	Сульфід-йони (жовтий осад)
Zn^{2+}	Сульфід-йони (білий осад)
NH_4^+	Розчин лугу (запах аміаку)
$[Hg_2]^{2+}$	Розчин лугу (чорний осад)
	Хромат-йони (червоний осад)
Hg^{2+}	Сульфід-йони (чорний осад)
	Йодид-йони (червоний осад)
Sn^{2+}	Сірководень (темно-коричневий осад)
Sn^{4+}	Сірководень (жовтий осад)

Закінченя табл.1.1

Якісні реакції на аніони	
SO_4^{2-}	Солі барію (білий осад)
CO_3^{2-}	Соляна або сульфатна (сірчана) кислоти (виділяється вуглекислий газ)
	Вапнякове молоко (білий осад)
PO_4^{3-}	Магнезіальна суміш: $MgCl_2 + NH_4OH + NH_4Cl$ (білий осад)
	Аргентум нітрат (жовтий осад)
SiO_3^{2-}	Розбавлені розчини кислот (драглеподібний осад)
SiO_3^{2-}	Солі амонію (те ж)
$B_4O_7^{2-}$ і BO_2^-	Полум'я (зелене забарвлення)
I^-	Аргентум нітрат (жовтий осад)
	Солі плюмбуму (жовтий осад)
	Хлорна вода + крохмаль (синє забарвлення)
Cl^-	Аргентум нітрат (білий осад)
Br^-	Аргентум нітрат (жовтуватий осад)
NO_3^-	Металева мідь у концентрованій сульфатній (сірчаній) кислоті (газ бурого кольору)
	Металевий алюміній у сильно лужному середовищі (запах аміаку)
	Суміш $H_2SO_4 + FeSO_4$ (забарвлення від фіолетового до коричневого)
NO_2^-	Сульфанілова кислота + α-нафтіламін (червоне забарвлення)
CrO_4^{2-} $Cr_2O_7^{2-}$	Солі барію (жовтий осад)
S^{2-}	Солі плюмбуму (чорний осад)
	Солі кадмію (жовтий осад)

Із кількісних методів аналізу в практиці навчальних лабораторій можна рекомендувати гравіметричний, титриметричний (об'ємний), колориметричний методи. Коротко представимо основні принципи аналізу кожного з цих методів, детальну інформацію буде подано в наступних розділах.

Гравіметричний метод

Сутність методу полягає у визначенні маси та відсоткового вмісту того або іншого елемента, йону або речовини, що знаходиться в пробі. Сполуку, уміст якої визначають, виділяють або в чистому вигляді, або у вигляді сполуки відомого складу. Гравіметричним методом визначають уміст важких металів, аніонів, сухої речовини в плодах й овочах, клітковини, «сирої» золи в рослинному матеріалі. Окрім того, цим методом визначають кристалізаційну воду в солях, загальну гігроскопічну вологість ґрунту та інші показники.

Гравіметричний аналіз проводять стадійно:

- відбір середньої проби та підготовка її до аналізу;
- відбір наважки;

– розчинення наважки;
– вибір осаджувача й осадження елемента, що визначають (із пробою на повноту осадження);
– фільтрування;
– промивання осаду (із пробою на повноту промивання);
– висушування і прожарювання осаду;
– зважування;
– обчислення результатів аналізу.

Аналітичною практикою встановлено, що у випадку проведення гравіметричного аналізу оптимальними є наважки від 0,5 до 2,0 г. Наважку речовини потрібно брати в розрахунку, щоб після прожарювання одержати гравіметричну форму масою близько 0,1-0,3 г для аморфного осаду й масою близько 0,5 г – для кристалічного.

Титриметричний (об'ємний) метод

Цей метод має ряд переваг перед гравіметричним. Це − швидкість аналізу, відносна простота операцій, достатня точність, у зв'язку з чим він досить широко використовується в лабораторній практиці. Під час цього аналізу зважування замінюють вимірюванням об'ємів як речовини, що визначають, так і робочих розчинів, які використовують у цьому визначенні. Якщо потрібно провести об'ємним методом аналіз сухої речовини, то беруть її точну наважку масою 0,1-0,2 г, розчиняють у мірній колбі, перемішують, піпеткою відбирають певний об'єм розчину, у разі необхідності додають буферну суміш, індикатор та інші реагенти та проводять титрування.

Методи титриметричного аналізу поділяють на 4 групи.

Методи кислотно-основного титрування (метод нейтралізації). Основою цих методів є реакція нейтралізації. Точка еквівалентності фіксується за допомогою індикаторів, що змінюють своє забарвлення залежно від реакції середовища (значення pH). Цими методами визначають концентрації кислот, лугів і солей, що гідролізують у водних розчинах. Основними робочими розчинами методу нейтралізації є розчини соляної (хлоридної), сірчаної (сульфатної), азотної (нітратної) кислот та розчини лугів (гідроксидів натрію і калію).

Методи осадження. Методом осаджувального титрування визначають елемент, який, взаємодіючи з титрованим розчином, може осідати у вигляді малорозчинної сполуки; у такому випадку змінюються властивості середовища, що дозволяє встановити точку еквівалентності.

Методи окиснення-відновлення. Ці методи засновані на окисно-відновних реакціях, які протікають між речовинами, які визначають, і речовиною робочого розчину (перманганатометрія, йодометрія,

хроматометрія та ін.). Ці методи використовують для виявлення різних відновників (Fe^{2+}, $C_2O_4^{3-}$, NO_2^- та ін.) або окисників ($Cr_2O_7^{2-}$, MnO_4^-, ClO_3^-, Fe^{3+} і т. п.). Точку еквівалентності визначають за зміною забарвлення або самого розчину, або редокс-індикатора.

Методи комплексоутворення. Ці методи дають можливість визначати цілу низку катіонів (Mg^{2+}, Ca^{2+}, Zn^{2+}, Hg^{2+}, Al^{3+} та ін.) й аніонів (CN^-, F^-, Cl^-), що мають здатність утворювати малодисоційовані комплексні йони. Особливе місце займає комплексон ІІІ (трилон Б), який широко використовують у кількісному аналізі. Точку еквівалентності встановлюють за допомогою металіндикаторів. Розчини металіндикаторів мають власне забарвлення, і коли в точці еквівалентності зникає забарвлення комплексної сполуки індикатора з катіоном металу, з'являється власне забарвлення металіндикатора. Найпоширенішим металіндикатором є еріохром чорний Т. Наприклад, для визначення сумарного вмісту Кальцію і Магнію використовують еріохром чорний Т, а для Кальцію − мурексид, Феруму − амоній роданід у сульфаніловій кислоті.

Колориметричний метод

Основою колориметричного методу аналізу є реакції утворення або руйнування забарвлених сполук, тобто сполук, які здатні поглинати світло. У практиці навчальних лабораторій можна рекомендувати використання методу візуальної колориметрії, зокрема метод стандартних серій. Сутність методу стандартних серій полягає в тому, що розчин, який досліджують, порівнюють із набором стандартних розчинів, які мають бути свіжовиготовленими і відрізнятися один від одного не менш ніж на 11-15 %.

Наприклад, колориметричне визначення pH за Алямовським ґрунтується на властивості індикаторів змінювати своє забарвлення залежно від концентрації йонів Гідрогену, які наявні в розчині.

Для точнішого визначення елемента використовують спеціальні прилади: фотоелектроколориметри (ФЕК). Під час роботи ФЕК'у частіше за все використовують метод градуйованої кривої, що базується на побудові калібрувального графіка в осях «оптична густина – концентрація» (для стандартних розчинів). Вимірявши оптичну густину розчину, за графіком знаходять концентрацію досліджуваної речовини.

ТЕМА 1.2. Пробовідбір та підготовка зразків до аналізу

Для якісного проведення фізико-хімічного аналізу природних об'єктів необхідно правильно провести відбір проб.

Відбір проб ґрунту

Відбір ґрунтових проб краще проводити у весняний або осінній період. Рекомендується робити об'єднані (змішані, середні) зразки проби з 5-8 індивідуальних, узятих у різних точках ділянки площею від 100 $м^2$ до 1 га. Ґрунт на багаторічному покладі відбирають із глибини 0-10 см; на ріллі – із глибини 0-20 см; на територіях, зайнятих лісом, – із лісової підстилки; на болотяних ґрунтах – верхній торфовий шар 0-20 см. На практиці для відбору ґрунтових зразків часто використовують метод конверта (рис. 1.1).

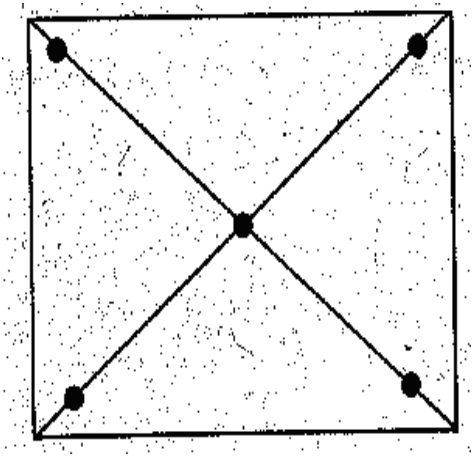


Рис. 1.1. Відбір ґрунтових проб методом конверта
(• – місця відбору індивідуальних зразків)

Підготовка ґрунту до аналізу полягає в подрібненні матеріалу, видаленні сторонніх домішок, просіюванні через сито з діаметром отворів 1 мм і зменшенні до маси (близько 500 г). Для зменшення проби користуються різними методами. Один із них – метод квартування (рис. 1.2). Подрібнений матеріал ретельно перемішують, розсипають рівним тонким шаром у вигляді квадрата або кола, ділять на чотири сектори. Уміст двох протилежних секторів відкидають, а два інших з'єднують разом. Операцію квартування проводять багато разів, після чого середню пробу висушують до повітряно-сухого стану та зберігають у картонних коробках або паперових пакетах з етикетками. З одержаного таким чином однорідного матеріалу роблять різні витяги (водні, сольові, кислотні).

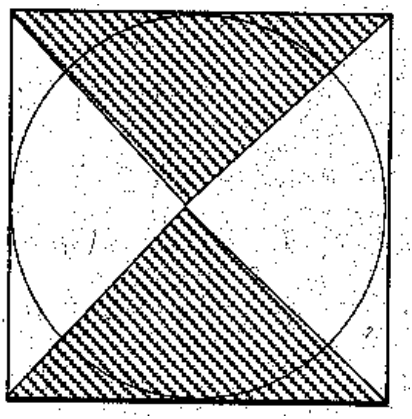


Рис. 1.2. Підготовка первинної проби методом квартування

Приготування водної витяжки

Водну ґрунтову витяжку використовують частіше за все для визначення водорозчинних сполук, а також для визначення актуальної кислотності ґрунту. Для її приготування 20 г повітряно-сухого просіяного ґрунту вміщують в колбу на 100 мл, додають 50 мл дистильованої води, збовтують протягом 5-10 хв. та фільтрують.

Приготування сольової витяжки

Для визначення обмінної кислотності ґрунту сольову витяжку готують так: 10 г повітряно-сухого ґрунту поміщують в колбу, додають 25 мл 1 М розчину калій хлориду (або натрій хлориду). Уміст ретельно збовтують і залишають до наступного дня, після чого фільтрують.

Гідролітичну кислотність ґрунту визначають у сольовому ґрунтовому витягу, виготовленому з використанням гідролітично лужної солі (частіше за все натрій ацетату). У колбу поміщують 40 г повітряно-сухого ґрунту, додають 100 мл 1 М розчину натрій ацетату, уміст збовтують протягом 1 год. (бажано на ротаторі), фільтрують.

Приготування кислотної витяжки

У колбу поміщують 1 г повітряно-сухого ґрунту, додають близько 100 мл 10-відсоткового розчину хлоридної (соляної) кислоти. Уміст ретельно перемішують, нагрівають до кипіння, кип’ятять протягом 5-7 хв. Витяжку охолоджують, відфільтровують, фільтрат випаровують, додавши 8-10 мл концентрованої нітратної (азотної) кислоти. До сухого

залишку після випаровування додають 15-20 мл дистильованої води і концентровану хлоридну (соляну) кислоту (до розчинення осаду під час слабкого нагрівання).

Приготування витяжки для визначення мікроелементів

Розчини для екстракції й умови приготування ґрунтових витягів для визначення в них мікроелементів (важких металів) наведено в табл. 1.2.

Відбір проб води

Виділяють три групи стічних вод:

– побутові або господарсько-фекальні, які містять 46-53 мг/л амонійного Нітрогену, 53-60 мг/л хлоридів, 10-12 мг/л фосфатів, 20 мг/л Калію, 35-45 мг/л органічних речовин;

– виробничі стічні води, які, у свою чергу, поділяються на умовно чисті та брудні. Кількісний та якісний склади забруднень визначаються характером виробництва;

– атмосферні води, які утворюються внаслідок випадання атмосферних опадів, що вимивають із повітря продукти промислового і побутового походження.

Пробу води для аналізу може бути одержано такими способами:

– шляхом одноразового відбору всієї кількості води, необхідної для аналізу;

– змішуванням проб, які відібрано через певні проміжки часу в одному місці водоймища, що досліджують;

– змішуванням проб, відібраних одночасно в різних місцях водойми-ща, що досліджують.

Таблиця 1.2

Розчини для екстракції та умови виготовлення ґрунтових витяжок для визначення мікроелементів

Елемент	Екстрагувальний розчин	Співвідношення ґрунт:розчин	Час взаємодії ґрунту з розчином
B	H_2O	1:5	5 хв. під час кип'ятіння
Mo	Оксалатний буферний розчин, pH 3,3	1:10	1 год. збовтування
Mn	0,05 М розчин H_2SO_4	1:10	те ж
Cu	1 М розчин HCl	1:10	те ж
Zn	1 М розчин KCl	1:10	те ж
Co	1 М розчин HNO_3	1:10	1 год. збовтування
Mn, Cu	Ацетатний буферний розчин, pH 4,8	1:10	те ж

Закінчкння табл. 1.2

Mn, Cu	Ацетатний буферний розчин, pH 3,5	1:5	40 хв. збовтування
P, K	0,2 M розчин HC1	1:5 (для мінерального)	15 хв.
P, K	0,05 M розчин H_2SO_4	1:25	3 хв.
P, K	0,5 M розчин CH_3COOH	1:25	19-21 год.

Під час відбору проб води використовують посуд із безбарвного скла або поліетилену марок, дозволених для контакту з питною водою. Посуд має бути ретельно вимитий мийними засобами, багато разів прополосканий водопровідною і дистильованою водою, і безпосередньо перед відбором води посуд декілька разів ополіскують водою, що досліджують. Пробки бажано використати скляні або поліетиленові; коркові або ґумові пробки обгортають поліетиленовою плівкою.

На практиці зручно користуватися банкою або бутлем. У місцях з ускладненим доступом до води пляшку можна прикріпити до жердини. Для відбору проб із певної глибини використовують саморобний батометр, що містить бутель (1 л) із прикріпленим до нього тонким міцним шнуром необхідної довжини. Пляшку закривають пробкою зі шнуром і вміщують у футляр, який має грузило і петлю. До петлі прив'язують шнур із відмітками, які вказують глибину занурення. На потрібній глибині висмикують пробку з пляшки і після наповнення її водою підіймають.

Відбір проб води в проточних водоймищах здійснюють на 1 км вище від найближчого за течією пункту водокористування (водозабір для питного водопостачання, місця купання, організованого відпочинку, територія населеного пункту), а на непроточних водоймищах і водосховищах – на 1 км в обидві сторони від пункту водокористування.

Проби у створі відбирають у трьох точках (біля обох берегів й у фарватері); у разі обмежених технічних можливостей або на невеликих водоймищах допускається відбір проб в одній-двох точках (у місцях найсильнішої течії). Частіше за все проби відбирають за 5-10 м від берега на глибині 50 см. Об'єктом особливої уваги мають стати забруднені течії.

Якщо в річці є місця скидів стічних вод від промислових підприємств, тваринницьких ферм та ін., то відбір проб води проводять нижче від місця скидання стоків на 500 м, що дозволяє контролювати ступінь забруднення води в річці стічними водами (для порівняння можна взяти пробу на 500 м вище від місця скидання стічних вод).

Якщо передбачається, що внаслідок скидання стічних вод у придонних шарах нагромаджуються осадові шкідливі речовини, які

можуть стати джерелом вторинного забруднення води, відбирають придонні проби на відстані 30-50 см від дна.

У водосховищах, озерах, ставках, де течія води різко уповільнена, якість води може бути неоднорідною на різних ділянках (тут можливе виникнення вторинних джерел забруднення), тому в цих водоймищах відбирають серію проб на різних глибинах.

Відразу після відбору проби необхідно зробити запис про умови відбору, напрямок вітру, вказати дату і час відбору води.

Підготовка води до аналізу

Для одержання достовірних результатів аналіз потрібно проводити якомога швидше. У воді відбуваються процеси окиснення-відновлення, фізико-хімічні, біохімічні, що викликані діяльністю мікроорганізмів, сорбції, десорбції, седиментації та ін. Можуть змінюватися й органолептичні властивості води – запах, колір, каламутність та ін. Деякі речовини здатні адсорбуватися на стінках посудин (сполуки феруму, алюмінію, купруму, кадмію, мангану та ін.), а зі скла бутлів можуть вилуговуватися мікроелементи. У разі неможливості досліджувати воду встановлено певні терміни для відповідних показників. Воду охолоджують або консервують. Біохімічні процеси у воді можна сповільнити, охолодивши її до 4 °С. За цих умов повільніше руйнуються органічні речовини.

Універсального консерванту не існує, тому проби для аналізу відбирають у декілька бутлів. У кожному з них на місці відбору пробу консервують, додаючи різні реагенти (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Способи консервації та терміни аналізу води

Показники якості води	Терміни зберігання		Спосіб консервації, кількість консерванту на 1 л води
	без консервації	із консервацією	
1	2	3	4
Смак і присмак	2 год.		–
Запах	2 год.		–
Каламутність	4 год.	1-2 доби	2-4 мл хлороформу
Прозорість	4 год.		–
Колір	6 год.	1-2 доби	2-4 мл хлороформу
Зважені речовини	4 год.	1-2 доби	2-4 мл хлороформу
pH	під час відбору		–
Здатність до окиснення	4 год.	1 доби	50 мл H_2SO_4 (1:3) (для перманганатної)
			50 мл H_2SO_4 (для дихроматної)
Твердість	2 доби		–
Сухий залишок	6 год.	1-2 доби	2 мл хлороформу

Закінчення табл. 1.3

Розчинений кисень	1 доба		–
БПК	3 год.		–
Амоніак амонійний	4 год.	1-2 доби	1 мл H_2S0_4 або 2-4 мл хлороформу
Нітрати	4 год.	1-2 доби	те ж
Нітрити	4 год.	1-2 доби	2-4 мл хлороформу
Сульфати	7 діб	1 місяць	3 мл HCl або HNO_3 (до pH 2)
Сірководень і сульфіди	1 доба		–
Фосфати	8 год.	1 доба	2-4 мл хлороформу
Фториди	7 діб		–
Хлориди	7 діб		–
Хлор	на місці відбору		–
ПАР	8 год.	1-2 доби	2-4 мл хлороформу
Феноли	8 год.	1-2 доби	4 г NaOH
Al, Bi, Mo, Cd, Co, Mn, As, Ni, Hg, Pb, Sr, Ti, Zn, W	4 год.	1 місяць	3 мл HC1або HNO_3(до pH 2)
1	2	3	4
Mg, Cr(III) и Cr(VI) окремо	8 год.		–
Cr сумарний	4 год.	1-2 доби	2-4 мл хлороформу
Fe	4 год.	1 доба 1-2 доби	3 мл HC1 або HNOз (до pH 2)

Підготовка води безпосередньо перед аналізом полягає в таких етапах:

– консервовані проби за необхідністю нейтралізують, а охолоджені нагрівають до кімнатної температури;

– якщо визначенню заважають каламутність і кольоровість, то проводять спеціальну підготовку; проби фільтрують, коагулюють або відстоюють, іноді освітлюють;

– якщо у воді міститься велика кількість комплексоутворювачів та органічних речовин, то для виявлення металів рекомендується провести мінералізацію проби.

Забруднювачі, що містяться у природній і питній воді мають, як правило, невеликі концентрації. Для того, щоб визначити наявність забруднювачів за умов навчальної лабораторії, потрібно провести **концентрування** цих домішок одним із наведених нижче способів.

Методи концентрування:

– Упарювання води. Відбирають 100-1000 мл води (залежно від передбачуваного вмісту забруднювача, величини ГДК і чутливості

методу), що досліджуються, і випаровують на закритій електричній плитці до об'єму близько 50 мл.

– Екстракція сполук, що визначаються, в органічний розчинник (метод досить тривалий).

– Виморожування води (при цьому домішки, які розчинені у воді, збираються в середній частині). Наливають певний об'єм води у високу консервну банку і ставлять у морозильну камеру холодильника. За 3-4 год. банку дістають і виймають крижаний циліндр (заздалегідь нагрівши дно і боки банки гарячою водою). На аналіз беруть воду, отриману під час розмороження внутрішньої частини крижаних кубиків. Для збільшення концентрації розчинених сполук можна провести декілька послідовних заморожувань проб води, кожний раз вибираючи середню частину крижаного кубика з попереднього заморожування. Якщо під час аналізу проводилося концентрування проби, то для подальших розрахунків необхідно враховувати об'єм початкового зразка води.

Відбір проб снігу

Відбір проб снігу проводиться один раз на рік у січні-лютому-березні на початку танення. Сніг потрібно брати по всій глибині його відкладу у скляні банки (зручніше трилітрові). Відразу після танення проби, коли температура талої води зрівняється з кімнатною, необхідно провести її аналіз.

Відбір проб дощу

Для відбору проб дощової води можна використати велику хімічну склянку, кристалізатор або пляшку з широким горлом. Ретельно промитий, сполосканий дистильованою водою і висушений посуд поставити перед дощем на вулицю.

Після дощу потрібно виміряти кількість осаду (мм), pH за допомогою індикаторного паперу або pH-метру, визначити електропровідність та вміст хімічних речовин.

Для аналізу роси воду зручніше збирати з чашок, що утворюються листями манжетки.

Відбір рослинних проб

Правильний відбір рослинних проб має величезне значення в хімічному аналізі. Проба повинна відображати типовий склад рослин на ділянці, що обстежується. Для цього відбір об'єднаних проб проводять із великого числа рослин (до 100) у ранкові години (але не під час роси або після дощу). Необхідні частини (хвоя, листя та ін.) має бути

відібрано з рослин одного виду, їх має бути очищено від забруднень землею і пилом, вони не повинні мати механічних пошкоджень і пошкоджень від комах. У деяких випадках рекомендується протирати рослини: вологою тканиною (що особливо ефективно для гладкого листя).

Якщо аналіз не може бути проведено відразу, зразки рослинного матеріалу висушують. Висушування проводять на повітрі, уникаючи прямого сонячного світла, або в термостаті за температури 60-80 °С. Висушені та подрібнені зразки гігроскопічні, тому їх зберігають у банках із притертими пробками або в поліетиленових пакетах, куди вкладають етикетку з номером і адресною довідкою.

Підготовка рослинних зразків

Перед аналізом підготовлений рослинний матеріал озоляють. У практиці біохімічного аналізу використовують в основному два методи озолення – сухе та мокре. В обох випадках забезпечується мінералізація всіх елементів. Мокре озолення передбачає окиснення рослинного матеріалу сумішшю кислот. Мокре озолення – процес більш швидкий, ніж сухе озолення, однак він пов'язаний із постійним спостереженням за ходом процесу. Як сильні окисники, найчастіше використовують концентровані сульфатну (сірчану) і нітратну (азотну) кислоти.

Метод сухого озолення використовують для аналізу вмісту в біологічному матеріалі майже всіх макро- і мікроелементів. Сухе озолення рослинних проб проводять в електричній муфельній печі у фарфорових тиглях за температури 450-500 °С.

Після охолоджування до золи повільно додають 5-20 мл 6 н розчину хлоридної (соляної) кислоти, і розчиняють неорганічні солі під час нагрівання на киплячій водяній бані протягом 30 хв. Потім уміст тиглю кількісно переносять до центрифужної склянки, центрифугують, чистий розчин декантують у мірну колбу, доводять об'єм водою до мітки, ретельно перемішують. Такий розчин придатний для визначення вмісту в початковій пробі багатьох мінеральних елементів різними хімічними та фізико-хімічними методами.

Відбір проб атмосферного повітря

Відбір проб повітря здійснюють або пропущенням потоку повітря через спеціальний прилад протягом певного часу із заданою швидкістю (у деяких випадках порцію повітря пропускають через різні поглинаючі речовини з подальшим їх аналізом) або заповненням спеціальної посудини відомого об'єму і подальшим аналізом проби в лабораторних умовах. Існують прилади – газоаналізатори, – які поєднують у собі відбір проби з фізико-хімічним аналізом її складу.

Проби поділяють на разові (із періодом відбору до 30 хв.) і добові, які визначають усередненням не менше 4 разових проб атмосферного повітря, що відібрані через рівні проміжки часу протягом доби.

Контрольні питання

1. У чому полягає сутність гравіметричного, титриметричного і колориметричного методів аналізу?
2. Наведіть приклади якісних реакцій на йони.
3. Чому для проведення фізико-хімічного аналізу природних об'єктів необхідно правильно здійснювати пробовідбір?
4. У чому полягає сутність методу конверта під час відбору ґрунту?
5. Як виготовити водні, сольові та кислотні витяжки ґрунту?
6. Як здійснювати відбір проб води?
7. Чому для одержання достовірних результатів аналіз проб води потрібно проводити якомога швидше?
8. Які якості води належать до органолептичних?
9. Опишіть способи консервації проб води.
10. З якою метою проводиться концентрування проб води?
11. Охарактеризуйте способи концентрування проб води.
12. Опишіть способи відбору проб снігу та дощу.
13. Опишіть спосіб відбору рослинних проб.
14. Як проводиться підготовка рослинних зразків до аналізу?
15. Опишіть способи відбору проб атмосферного повітря.

Розділ 2

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

ТЕМА 2.1. Техніка безпеки виконання лабораторних робіт. Правила роботи в хімічній лабораторії. Хімічні реактиви, користування ними

Аналіз можна проводити тільки в лабораторії з певним устаткуванням. Лабораторія має бути просторою, обладнаною спеціальними меблями і витяжною шафою, контрольно-вимірювальними приладами, які встановлюють в окремій кімнаті. Перед виконанням хімічного аналізу необхідно ознайомитися з технікою безпеки, оскільки невиконання її може призвести не тільки до неточних результатів, а й до нещасних випадків.

Отже, хімічний аналіз можна виконувати тільки після доброї обізнаності з технікою безпеки в хімічній лабораторії.

Техніка безпеки

1. Перед початком лабораторної роботи потрібно уважно перечитати розділ інструкції з техніки безпеки.
2. Дослід потрібно виконувати з такими кількостями речовин, у таких посуді і приладах, і в тих умовах, як це зазначено у відповідних інструкціях.
3. Забороняється виконувати досліди в брудному посуді.
4. Усі операції з отруйними газами і парою потрібно проводити у витяжній шафі або в приладах з адсорбентами (активоване вугілля тощо).
5. Не можна пробувати на смак будь-які речовини, а також пити з хімічного посуду. З усіма речовинами в лабораторії потрібно поводитися як з отруйними.
6. Забороняється проводити на робочих столах роботи, пов’язані з виділенням летких речовин.
7. Дослід слід виконувати стоячи.
8. При виникненні будь-якої неясності роботу потрібно припинити і звернутися за роз’ясненням до викладача.
9. Не дозволяється вмикати і вимикати без дозволу викладача рубильники та інші електричні вимикачі.
10. Заборонено працювати в лабораторії одному. Обов’язкова присутність другої особи потрібна для надання працівникові

допомоги при нещасному випадку, пожежі тощо.

11. Концентровані кислоти, а також концентрований розчин амоніаку потрібно розливати у витяжній шафі.
12. При розведенні концентрованої кислоти потрібно вливати кислоту у воду, а не навпаки, щоб уникнути розбризкування або навіть вибуху.
13. При розведенні концентрованої кислоти, виготовленні хромової суміші, змішуванні речовин, що супроводжується виділенням теплоти, потрібно користуватися тонкостінними колбами або фарфоровим посудом (для сильних лугів), бо товстостінний скляний посуд (склянки, банки тощо) від нагрівання може тріснути. При розведенні і змішуванні великих кількостей зазначених речовин потрібно ставити посуд (колбу, склянку) в емальований таз.
14. При роботі з бромом: а) виконувати досліди у витяжній шафі; б) не вдихати пари брому; в) берегти очі від пари брому.
15. Заборонено перебувати в лабораторії в пальто; працювати необхідно в халаті, мати рушник і мило.
16. Після закінчення роботи потрібно впорядкувати своє робоче місце.

Перша допомога при нещасних випадках

1. У всіх випадках поранення – при глибокому порізі, отруєнні, опіках тощо – необхідно негайно звернутися до лікаря. За можливістю надати першу допомогу потерпілому.
2. При порізах склом слід видалити уламки скла з рани, змазати уражене місце 3-відсотковим спиртовим розчином йоду і перев'язати бинтом, щоб припинити кровотечу.
3. При отруєнні шкідливими газами негайно припинити дослід і відчинити вікна та двері. Потерпілого винести на свіже повітря, розстебнути одяг, дати понюхати вату, змочену нашатирним спиртом. Коли потерпілий опритомніє, дати йому міцного чаю. При неглибокому отруєнні хлором або парою брому дати понюхати суміш етилового та нашатирного спиртів.
4. При отруєнні йодом потерпілому дати випити крохмаль із водою, молоко, міцний чай чи розчин соди.
5. При отруєнні лугами (їдким натром) необхідно випити молока або 2-відсоткової оцтової чи лимонної кислоти. Не давати блювотних засобів.
6. При отруєнні кислотами дати потерпілому води з розтертою крейдою, попелом, 1-відсотковий розчин натрій гідрогенкарбонату, вапняну воду. Не давати блювотних засобів і не промивати

шлунок.

7. При опіках рану треба обробити 2-відсотковим розчином калій перманганату, таніну або маззю від опіків.
8. Якщо на шкіру потрапили бризки кислоти або лугу, то уражене місце слід промити великою кількістю води, а потім відповідно 3-відсотковим розчином соди або 2-відсотковим розчином оцтової кислоти.

Робота в хімічній лабораторії пов'язана з використанням різних хімічних речовин-реактивів.

До реактивів, що широко використовують в лабораторії, належать: кислоти (наприклад, азотна, оцтова), луги (натрій гідроксид, калій гідроксид, амоніак), солі неорганічних та органічних кислот, індикатори (лакмус, фенолфталеїн, метиловий оранжевий).

Чистота реактивів має першочергове значення для правильності результатів аналізу. Усі реактиви, які застосовуються в аналізі, спочатку очищають від домішок сторонніх речовин перекристалізацією, перегонкою, сублімацією та за допомогою інших хімічних і фізичних операцій, які описані в спеціальних посібниках із препаративної хімії. Хімічні реактиви, якими повсякденно користуються в лабораторії хімії, містять певну кількість сторонніх речовин. Сортність (кваліфікацію) реактиву зазначають на етикетці склянки, іноді вказують також максимально допустимий уміст сторонніх домішок.

За ступенем чистоти реактиви поділяються на хімічно чисті (х. ч.), чисті для аналізу (ч. д. а.), чисті (ч.), технічні (т.). Для кожного класу чистоти допускається певний уміст домішок, який зазначають на етикетці реактиву. Технічні реактиви не можна застосовувати для хімічного аналізу.

Для навчальних визначень користуються реактивами кваліфікації «чисті» й «чисті для аналізу». При відповідальніших визначеннях застосовують реактиви кваліфікації «хімічно чисті».

Реактиви треба зберігати в склянках, закритих пробками. Реактиви, які широко використовуються, у невеликих кількостях зберігають у шафах у препараторських кімнатах, а великі кількості реактивів – у спеціальних приміщеннях у відповідній тарі. Бутлі з кислотами зберігають і транспортують у плетених кошиках.

Тверді реактиви з банок найкраще брати спеціальним шпателем (фарфоровим або пластмасовим).

Реактиви, які під дією повітря та вологи псуються, повинні бути герметично закриті. Склянки з концентрованими кислотами (HNO_3, H_2SO_4) не можна закривати гумовою пробкою, тому що пара кислот

руйнує їх, а кислоти при цьому забруднюються. Реактиви, які змінюються під дією світла, зберігаються в банках із темного скла.

На кожній склянці обов'язково повинна бути етикетка з написом хімічної назви реактиву, його формули та концентрації. Склянки з реактивами краще розставляти в певному порядку, так, щоб їх зручно було брати. Наливаючи розчин зі склянки, її тримають так, щоб етикетка на ній була зверху, це забезпечує чистоту етикетки.

Не можна реактивні склянки залишати відкритими. Не можна пробками з одних склянок закривати інші. Це забруднює реактиви і може бути причиною помилок в аналізі.

Хімічний посуд та користування ним

Для виконання дослідів користуються хімічним посудом і приладами. Дуже важливо вміти вибрати посуд і правильно користуватися ним. Для проведення хімічних реакцій використовують звичайно тонкостінний хімічно стійкий скляний або рідше фарфоровий посуд. В окремих випадках користуються також посудом із кварцового скла, графіту, пластмас і деяких металів (платини, танталу, золота, срібла та ін.).

Найбільш використовуваним хімічним посудом із тонкостінного скла є: скляні пробірки, хімічні склянки з носиком і без носика, плоскодонні колби, конічні колби Ерленмейєра, круглодонні колби, колби Вюрца, реторти з тубусами і без тубусів (рис. 2.1), фарфоровий посуд (рис. 2.2).

Пробірки. Для якісного виявлення катіонів та аніонів використовують пробірки при проведенні реакцій між невеликими об'ємами розчинів реагуючих речовин (0,1-0,2 об'єму пробірки). Звичайні лабораторні пробірки мають об'єм 15-20 мл. Рідину зі склянки наливають у пробірку так, як показано на рис. 2.3. Якщо на склянці є етикетка, то склянку тримають етикеткою вгору.

Реактиви в пробірку наливають невеликими порціями (по 0,5-2 мл). Злиті в пробірку розчини перемішують легким струшуванням нижньої частини пробірки. Для нагрівання рідин пробірку тримають держаками в нахиленому положенні і нагрівають полум'ям пальника тільки ту її частину, яка заповнена рідиною. Для рівномірного нагрівання слід пробірку з рідиною струшувати. Можливість викидання рідини з пробірки не виключена і при правильному нагріванні, тому необхідно тримати її в такому положенні, коли викинута через отвір пробірки рідина не потрапить на працюючого або його сусіда. Випарювання в пробірках не проводять.

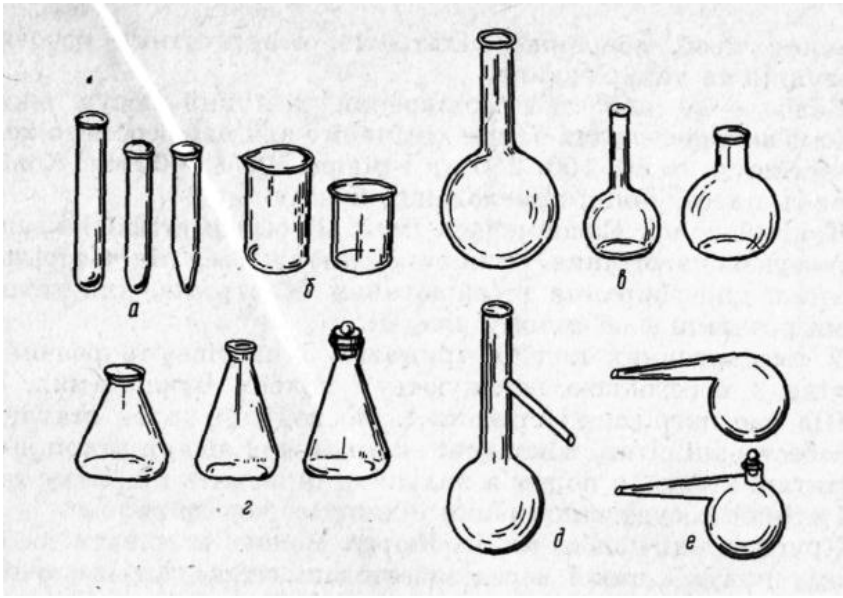


Рис. 2.1. Тонкостінний посуд:
а – пробірки; *б* – хімічні склянки; *в* – плоскодонні і круглодонні колби; *г* – конічні колби Ерленмейєра; *д* – колба Вюрца; *е* – реторти з тубусами і без тубусів.

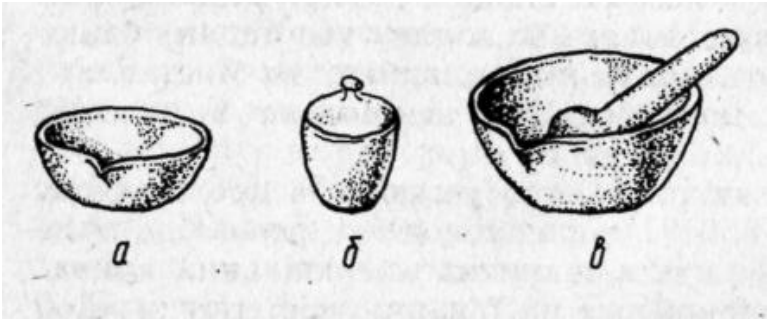


Рис. 2.2. Фарфоровий посуд:
а – чашка; *б* – тигель із кришкою; *в* – ступка.

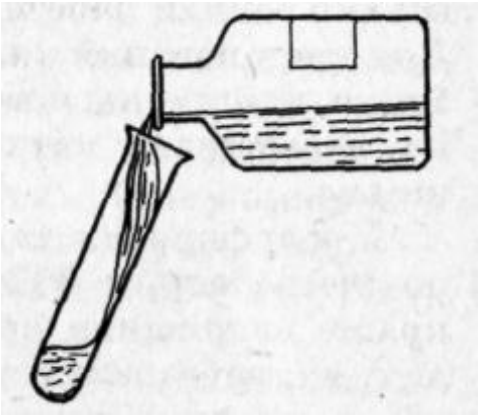


Рис. 2.3. Наливання зі склянки в пробірку

У сухих пробірках проводять також реакції із сухими речовинами. Якщо за умовами виконання спроби необхідне нагрівання всієї пробірки, її закріплюють у спеціальному штативі.

Завдання

1. Ознайомтеся з технікою безпеки роботи в хімічній лабораторії.
2. Ознайомтеся з видами хімічного посуду, що використовується під час роботи в хімічній лабораторії.
3. Вивчіть правила роботи з хімічними реактивами та їх марками.

Контрольні питання

1. Які досліди необхідно проводити у витяжній шафі?
2. Чому при розведенні концентрованої кислоти не можна вливати воду в кислоту?
3. Яким хімічним посудом необхідно користуватися при розведенні концентрованої кислоти, при змішуванні речовин, що супроводжується виділенням теплоти?
4. Які правила роботи з бромом?
5. Яку допомогу необхідно надати потерпілому при: а) пораненні; б) отруєнні бромом чи хлором; в) отруєнні йодом; г) отруєнні лугами, кислотами; д) при опіках?
6. Чому для хімічного аналізу чистота реактивів має першочергове значення?
7. Як поділяються реактиви за ступенем чистоти? Що таке

«кваліфікація» реактиву?
8. Як зберігають великі кількості концентрованих кислот?
9. Чому, наливаючи розчин зі склянки, потрібно тримати її так, щоб етикетка була зверху?
10. Як зберігають реактиви, які змінюються під дією світла? Назвіть такі реактиви.
11. Чому реактиви не можна зберігати відкритими?

ТЕМА 2.2. Терези і техніка зважування. Будова аналітичних терезів. Правила зважування

Кількість реагуючих речовин і добутих із них продуктів визначають зважуванням на терезах – найважливішому приладі кожної хімічної лабораторії. У лабораторії хімічного аналізу для зважування користуються технохімічними терезами, на яких можна зважувати з точністю до 0,01 г, і аналітичними терезами (точність зважування 0,0001 г).

Перед тим, як ознайомитися з роботою аналітичних терезів, треба навчитись зважувати на технохімічних.

Технохімічні терези (рис. 2.4) мають коромисло *1*, яке своєю середньою призмою спирається на дві підставки, умонтовані на вершечку циліндричного стержня, що міститься всередині поздовжнього каналу колонки *2*. Посередині до коромисла прикріплено стрілку *4*, положення якої фіксується шкалою *5*. На бокові призми коромисла підвішені «сережки». Із «сережки» вниз опущений шматок дроту, що утримує шальку *6*. До колонки на нитці прикріплено загострений знизу висок *7*. Якщо цей висок збігається з гострим кінцем закріпленого під ним стержня *8*, це свідчить про вертикальне положення колонки *2*. Підставку *3* терезів установлюють на три ніжки, одну з яких закріплено посередині ззаду підставки (на малюнку не видно), а дві – спереду, із боків підставки. Кожна передня ніжка може загвинчуватися в гайку, закріплену до підставки знизу. Обертанням передніх ніжок установлюють у вертикальне положення колонку *2*. Посередині знизу до підставки пригвинчено дві муфти з валиком. На передньому кінці валика прикріплено ручку *9*, а на задньому – ексцентричний невеликий циліндр (на рисунку не видно), на який спирається нижнім кінцем рухомий стержень, що знаходиться всередині колонки. Завдяки рухові ручки циліндр обертається і піднімає стержень; при цьому коромисло підвішується призмою і приходить у робочий стан; коли ж стержень опускається, коромисло спирається на виступи колонки і приходить у

неробочий стан.

Перед зважуванням перевіряють правильність стану терезів. Вертикальне положення терезів (колонки *2*) установлюють обертанням передніх ніжок підставки так, щоб кінчик виска *7* співпав із кінчиком гострого стержня *8*. Потім обертанням ручки *9* приводять терези в робочий стан і стежать за коливаннями стрілки *4*. Відхилення стрілки від середини шкали *5* не повинно перевищувати однієї поділки в один із боків.

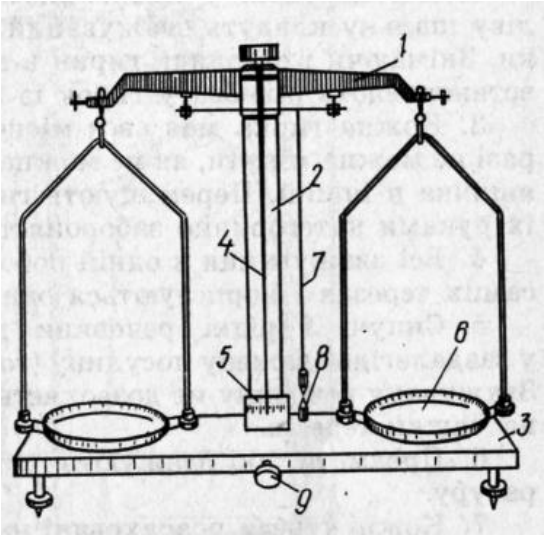


Рис. 2.4. Технохімічні терези:
1 – коромисло; *2* – колонка; *3* – підставка; *4* – стрілка; *5* – шкала; *6* – шалька; *7* – висок; *8* – стержень; *9* – рукоятка.

При встановленні рівноваги терезів, а також у процесі зважування необхідно суворо дотримуватися таких правил:

1. Терези приводять у робочий стан тільки в одному випадку – для перевірки рівноваги шальок терезів. Будь-який дотик до рухомих частин терезів у робочому стані заборонений. Переміщення зважуваних предметів, гирьок тощо проводять тільки тоді, коли терези приведені в неробочий стан, тобто аретовані.

2. Упевнившись у правильному положенні терезів, на їх ліву шальку кладуть зважуваний предмет, а на праву – гирьки. Знімаючи і ставлячи гирьки в порядку зменшення їх маси, установлюють рівновагу гирьок зі зважуваним предметом.

3. Кожна гирька має своє місце в ящичку, яке в жодному разі не можна міняти, як не можна перекладати гирьки з одного ящичка в інший. Переміщують гирьки тільки пінцетом. Брати їх руками категорично забороняється.

4. Усі зважування в одній роботі проводять на одних і тих же терезах і користуються одним набором гирьок.

5. Сипучі й рідкі речовини для зважування вміщують у заздалегідь зважену посудину (годинникове скло, бюкс і т. д.). Зважувану речовину не дозволяється поміщати безпосередньо на чашки терезів.

6. Предмети, які зважують, повинні мати кімнатну температуру.

7. Кожні терези розраховані на певне навантаження, вище якого їх навантажувати не можна, бо вони можуть зіпсуватися. Межа навантаження звичайно зазначається штампом на коромислі терезів.

Набір гирьок для технохімічних терезів приблизно такий: 200, 200, 100, 50, 20, 20, 10, 5, 2, 2 і 1 г; 500, 200, 200, 100, 50, 20, 20, 10 мг. Цим набором гирьок можна зважити масу від 0,01 г до 600 г.

Щоб дрібні гирьки легко було відрізняти за виглядом, їм надають певної форми. Так, гирьки масою 0,5 і 0,05 г мають форму шестикутника, 0,2 і 0,02 г – у вигляді квадрата, і 0,1 г та 0,01 г – у вигляді трикутника.

Масу зважених речовин звичайно виражають у грамах. Наприклад, 25 г і 620 мг записують так: 25,620 г.

Аналітичні терези – чутливий вимірювальний прилад для визначення маси речовин із точністю до 0,0001 г. Ця точність необхідна для проведення кількісного аналізу.

Звичайні аналітичні терези за принципом дії є рівноплечим важелем першого виду. Схематичне зображення аналітичних терезів показано на рис. 2.5. Головна частина терезів – коромисло *1*, яке має в середній частині центральну призму *2*; ребро цієї призми спрямоване вниз і спирається на агатову пластинку, що знаходиться у верхній частині опорної колонки *3*. На обох кінцях коромисла *1* прикріплені бічні призми, спрямовані ребрами вгору (на рисунку не показано). Ребра цих бічних призм призначені для підвішування шальок терезів *9* за допомогою сережок *4*. У центрі коромисла прикріплена стрілка *5*, положення якої фіксується на шкалі 6 із двадцятьма поділками. Стрілка *5* зрівноважених терезів повинна бути проти центральної поділки шкали, що свідчить про горизонтальне положення коромисла. Якщо горизонтальне положення коромисла порушується, його можна відновити горизонтальним переміщенням гайки.

Чутливість аналітичних терезів значно залежить від положення центра коромисла відносно точки опори, який можна перемістити за допомогою гвинтової гайки *8* і гостроти ребер призм, які під час зважування

стикаються з агатовими пластинками. Щоб ці деталі не спрацьовувались у періоди неробочого стану, терези обладнують спеціальним пристроєм – аретиром, який має рукоятку *10* і важелі *11* і *13*. Коромисло терезів поворотом рукоятки аретира піднімається важелями вгору, ребро центральної призми відділяється від агатової пластинки, водночас агатові пластинки сережок відділяються від бічних призм, а під шальки терезів підводяться важелями *11* талькові гальма *12*, які закріплюють шальки в нерухомому стані. Тому в неробочому стані призми й агатові пластинки не спрацьовуються.

Горизонтальний стержень *15* можна пересувати рукояткою *19* вправо і вліво разом із рухомим гачком *16*, на який підвішено рейтер (гирька з дроту масою 10 мг). Рейтер можна навісити на одну з поділок плечей коромисла; плечі коромисла поділено на десять рівних частин, кожна з яких має ще п’ять поділок. Отже, за допомогою рейтера можна зважувати з точністю до десятих часток міліграма. Навішування рейтера на кінцеву десяту велику поділку коромисла рівноцінне поміщенню на відповідну шальку терезів гирьки масою 10 мг; пересування рейтера шкалою коромисла в напрямку до середини зменшує силу, що діє на шальку.

Для захисту від пилу і вологи аналітичні терези поміщено в ящик, який має три ніжки, уставлені в металеві підставки з виїмками *18*. На двох передніх ніжках є гвинти *17*, за допомогою яких дошці терезів надають горизонтального положення.

Гирьки для аналітичних терезів поміщено в спеціальний ящик (рис. 2.6). Гирьки масою від 1 до 100 г виготовлено з латуні, меншої маси (від 500 до 10 мг) – з алюмінію.

Аналітичні терези – точний вимірювальний прилад, який легко зіпсувати, якщо не виконувати основні правила роботи з ними.

Правила користування аналітичними терезами

1. Аналітичні терези краще встановити в окремій ваговій кімнаті на мармурову дошку, закріплену в капітальну стіну.
2. У ваговій кімнаті не можна зберігати кислоти та проводити хімічні реакції, пов’язані з виділенням газів.
3. Аретир терезів після зважування треба обов’язково піднімати.
4. Гирьки і зважувані предмети можна класти на шальки терезів тоді, коли терези знаходяться в неробочому стані.
5. Гирьки можна брати тільки пінцетом.
6. На аналітичних терезах забороняється зважувати гарячі предмети.
7. Не можна зважувати безпосередньо на шальках терезів. Зважувати необхідно на годинниковому склі або в бюксі.

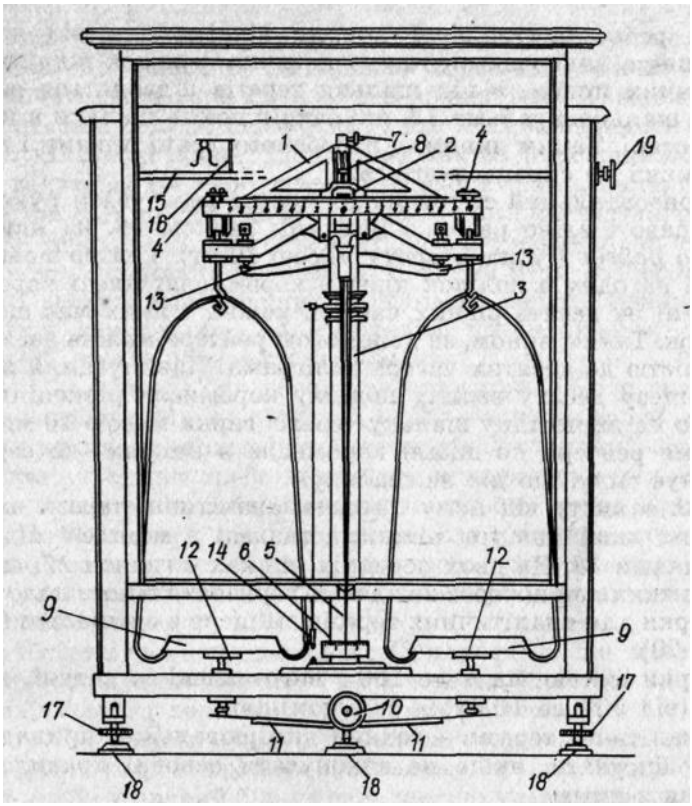


Рис. 2.5. Схематичне зображення аналітичних терезів:
1 – коромисло; *2* – центральна призма; *3* – опорна колонка;
4 – сережки; *5* – стрілка; *6* – шкала; *7, 8* – гвинтові гайки; *9* – шальки;
10 – рукоятка; *11* і *13* – важелі; *12* – шалькові гальма; *14* – висок;
15 – горизонтальний стержень; *16* – рухомий гачок; *17* – гвинти;
18 – металеві підставки;
19 – рукоятка для горизонтального стержня.

Техніка зважування. Спочатку треба визначити приблизну масу зважуваного предмета на технічних терезах. Потім предмет кладуть на ліву шальку аналітичних терезів через бічні дверці і закривають їх. На праву шальку кладуть гирьки так, щоб виведене з рівноваги коромисло терезів набуло свого початкового горизонтального положення. При

цьому дотримуються правила, що потрібну масу треба складати з найменшої кількості гирьок. Спостереження за положенням коромисла ведуть за допомогою вертикальної стрілки, прикріпленої до коромисла, і шкали, що знаходиться в нижній частині опорної колонки терезів. Стрілка ненавантажених терезів після повного припинення коливань коромисла повинна бути навпроти центральної десятої поділки шкали (нульова точка). Зважування вважають закінченим, коли стрілка навантажених терезів займає на шкалі попереднє положення.

Рис. 2.6. Гирьки

Треба зазначити, що внаслідок низки причин стрілка ненавантажених терезів дуже рідко буває точно навпроти десятої поділки шкали, а трохи відхиляється в той чи інший бік. Тому перед зважуванням треба визначити положення стрілки ненавантажених терезів, тобто визначити нульову точку. Крім того, необхідно пам'ятати, що для визначення маси предмета з точністю до десятих часток міліграма треба користуватися рейтером – десятиміліграмовою дротяною гирькою, навішеною на шкалу коромисла.

Приклад зважування. Припустимо, що маса предмета при зважуванні на технічних терезах дорівнює 7,3 г; тоді на праву шальку терезів кладуть гирьки масою 5 г, 2 г, 200 мг і 100 мг. Повертають рукоятку аретира, не доводячи її до кінця, і спостерігають за напрямом відхилення стрілки. Якщо стрілка відхиляється у правий бік, це означає, що маса гирьок на правій шальці терезів недостатня. Тоді знову піднімають аретир і кладуть на праву шальку ще одну гирьку

масою 100 мг. Якщо ж у цьому випадку при опусканні аретира стрілка відхилилася вліво, то масу гирьок треба зменшити: пінцетом кладуть 50-міліграмову гирьку замість 100-міліграмової. Підбирання потрібної маси продовжують доти, поки дійдуть до найменшої гирьки – масою 10 мг. Припустимо, що маса 7,36 г недостатня (стрілка відхиляється вправо), а 7,37 г виявляється великою, тоді знімають із шальки гирьку 10 мг, залишають 7,36 г і за допомогою рейтера встановлюють масу предмета з точністю до десятих часток міліграма. Це роблять пересуванням рейтера послідовно вправо і вліво по шкалі коромисла доти, поки при перебуванні рейтера на одній поділці маса виявляється недостатньою, а на сусідній поділці – надмірною. Нехай у нашому конкретному випадку при навішуванні рейтера на сьому поділку шкали коромисла стрілка відхиляється вліво, а на шосту – вправо. Отже, маса предмета більша за 7,366 г, але менша за 7,367 г. Визначення десятих часток міліграма роблять за положенням рейтера на шкалі коромисла між двома великими поділками (7 і 6), при якому точка рівноваги збігається з нульовою точкою. Четвертий знак прочитують безпосередньо на шкалі коромисла (рис. 2.7).

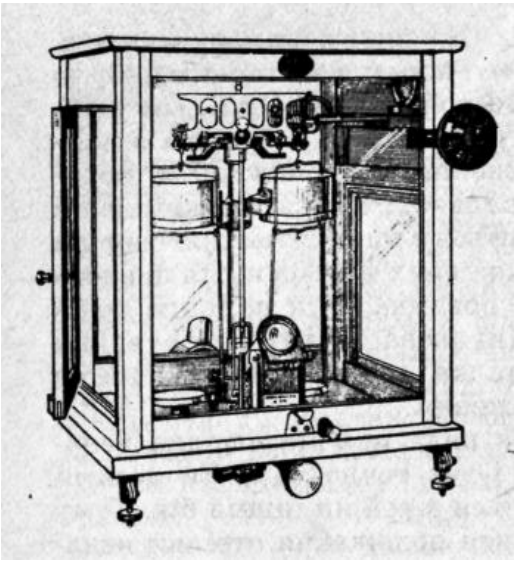


Рис. 2.7. Терези АДТ-200

Переставляючи рейтер у різні місця коромисла, досягають повної рівноваги на шальках. Рівновагою вважають такий стан терезів, при якому відхилення коливань стрілки вправо і вліво від середини шкали

відрізнятиметься не більше як на одну поділку шкали. Рівновагу на терезах обов'язково спостерігати під час коливання коромисла, а не при його заспокоєнні.

Після зважування спочатку потрібно підрахувати і записати масу по незайнятих гирьками місцях у ящику (кожному незайнятому місцю відповідає певна маса вийнятої з нього гирьки), а потім перевірити масу під час знімання гирьок із шальок терезів і поміщення їх у ящик. Тисячні і десятитисячні частки відлічують за положенням рейтера на градуйованій шкалі коромисла терезів. Ціну кожної поділки шкали обчислюють діленням маси рейтера на число поділок шкали, починаючи від середини коромисла до кінця шкали.

Після закінчення зважування потрібно покласти всі гирьки в ящик на свої місця, а рейтер підвісити на гачок і підняти в найвище положення, щоб він не торкався коромисла; зважуваний предмет зняти з лівої шальки і закрити дверці. При зважуванні на аналітичних терезах багато часу забирає визначення нульової точки, добір потрібної маси дрібними гирьками і знаходження третього та четвертого десяткових знаків за допомогою рейтера. Накладання дрібних гирьок (від 0,5 г і нижче) у демпферних терезах автоматизоване. Терези не мають рейтера; третій і четвертий знаки можна відразу визначити по освітленій мікрошкалі безпосередньо за величиною кута відхилення стрілки від вертикального положення. Терези АДТ мають повітряні заспокоювачі – демпфери, що припиняють коливання коромисла зі стрілкою відразу після опускання аретира.

Нині в аналітичній практиці широко використовуються електронні терези, загальний вигляд яких подано на рис. 2.8.

Рис. 2.8. Загальний вигляд електронних терезів

Завдання

1. Ознайомтеся з методикою зважування на технічних терезах.
2. Ознайомтеся з методикою зважування на аналітичних терезах.
3. Зважте наважку реактиву масою:
   а) 1,250 г; в) 3,67 г; д) 11, 22 г.
   б) 15,00 г; г) 5,08 г;

Контрольні питання

1. У яких випадках при зважуванні користуються технохімічними терезами, а в яких – аналітичними?
2. Чому не можна брати руками гирьки?
3. Чому аналітичні терези найкраще встановити в окремій кімнаті на мармурову дошку?
4. Чим відрізняються демпферні терези від звичайних аналітичних?
5. Запишіть масу в грамах: а) 5 г, 200 мг і 10 мг; б) 2 г і 10 мг; в) 0 г, 200 мг і 30 мг; г) 0 г і 10 мг; д) 0 г і 0,1 мг.

ТЕМА 2.3. Гравіметричний метод визначення зважених речовин у воді

Гравіметричний (ваговий) аналіз є найвивченішим методом кількісного аналізу. Він є основним методом визначення відносних атомних мас елементів. За допомогою цього методу аналізу встановлено хімічний склад більшості речовин, ним користуються для встановлення чистоти речовин.

Суть гравіметричного аналізу полягає в тому, що складову частину речовини, яку визначають, відокремлюють осаджуванням у вигляді важкорозчинної сполуки відомого сталого складу і потім зважують.

Щоб визначити той чи інший йон гравіметричним методом, необхідно, щоб осад, який утворюється, відповідав таким вимогам:

а) осад має бути практично нерозчинним, тобто після осадження в розчині йона, що визначають, повинно бути менше, ніж можна зважити на аналітичних терезах;

б) склад осаду після висушування або прожарювання має відповідати певній формулі;

в) розмір зерна осаду повинен бути більшим, ніж пори фільтру, тобто осад повинен добре відокремлюватися від розчину фільтруванням;

г) відносна молекулярна маса вагової форми осаду повинна бути за можливістю великою, щоб похибка якнайменше впливала на результати.

У гравіметричному аналізі умови осадження визначаються такими факторами:

1) Кількість речовини. Кількість речовини, яку беруть для аналізу, повинна забезпечити достатню точність зважування проби і вагової форми осаду. Наважка досліджуваної речовини має становити 0,1-1 г. Для визначення мікроелементів беруть наважки від 10 до 100 г.

2) Вибір осаджувача та його концентрація. Найкращим осаджувачем є такий, який утворює з йоном, що визначають, найменш розчинну сполуку і не утворює нерозчинних сполук з іншими йонами, наявними в розчині. На практиці осаджувача беруть у 1,5 рази більше, ніж необхідно за стехіометричними рівняннями.

3) Концентрація йонів Гідрогену. Найчастіше в аналізі застосовують осаджувачі, які є солями слабких кислот, або слабкі кислоти. Розчинність відповідних осадів значно збільшується при збільшенні вмісту йонів Гідрогену. Концентрація йонів Гідрогену повинна бути такою, щоб забезпечувалася достатня концентрація йона осаджувача для його практично повного осадження.

4) Концентрація розчинів під час осадження. Для осадження кристалічних осадів користуються розведеними розчинами. За цих умов осади утворюються у формі більших кристалів. Аморфні осади (особливо гідроксиди металів) осаджують із концентрованих розчинів.

5) Температура. При осадженні аморфних осадів нагрівання сприяє коагуляції колоїдних частинок та укрупненню зерен осаду. Осадження кристалічних осадів з гарячих розчинів сприяє збільшенню їх розчинності, унаслідок чого виникає менше центрів кристалізації та утворюються крупніші кристали.

Осад можна відокремлювати від маточного розчину: відстоюванням, фільтруванням.

Щоб видалити домішки, осад часто промивають гарячою водою або розведеним розчином відповідного електроліту (для усунення пептизації). Коли треба мати осад дуже високої чистоти, застосовують переосадження. Для цього осад розчиняють у кислоті або переводять у розчин іншим способом і повторюють осадження.

У процесі визначення аналітичних показників води, осад характеризують за такими параметрами: немає, незначний, помітний, великий. Для великого осаду вказують товщину шару в мм. За якістю осад визначають як пластівчастий, мулкий, піщаний та ін., із вказівкою кольору – сірий, бурий, чорний та ін. Осад у воді водоймищ визначають через 1 год. після збовтування проби, води підземних джерел − через

24 год. Під час випадання осаду якісно описують освітлення – непомітне, слабке, сильне, вода прозора.

Зважені (завислі, зависі) тверді речовини, що присутні у водах, містять частки глини, піску, мулу, суспендованих органічних і неорганічних речовин, планктону й мікроорганізмів. Концентрація завислих часток пов'язана із сезонними факторами, а також із режимом стоку і залежить від танення снігу, порід, що складають річище, а також від антропогенних факторів, зокрема скидів стічних вод промислових підприємств та агропромислового комплексу, гірничих розробок і т. п. Зважені речовини впливають на прозорість води, проникнення світла у водойми, температуру, розчинність компонентів поверхневих вод, адсорбцію токсичних речовин, а також на склад і розподіл відкладень і на швидкість осадоутворення. Вода, у якій багато зважених часток, не підходить для рекреаційного використання з естетичних міркувань.

Уміст зважених речовин у воді водойми після скидання стічних вод не повинен зростати більш ніж на 0,25 і 0,75 мг/л для водойм відповідно першої та другої категорій. Для водойм, які містять понад 30 мг/л природних мінеральних речовин, допускається збільшення концентрації завислих речовин у воді не більш ніж на 5 %. Стічні води, які містять зважені речовини зі швидкістю осідання понад 0,4 мм/с для проточних водойм і понад 0,2 мм/с для водосховищ, скидати забороняється.

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: аналітичні терези; сушильна шафа; ексикатор; склянки на 500-1000 мл; лійки; фільтрувальний папір «синя стрічка».

Аналітичний показник як «зважені речовини» визначають шляхом фільтрування певного об'єму води через паперовий фільтр і подальшого висушування осаду на фільтрі в сушильній шафі до постійної маси. Для аналізу використовують фільтри «синя стрічка».

Для аналізу беруть 500-1000 мл досліджуваної води. Фільтр перед роботою зважують. Після фільтрування осад із фільтром висушують до постійної маси за температурою 105 °С, охолоджують в ексикаторі та зважують. Терези повинні мати високу чутливість, краще використовувати аналітичні терези.

Уміст зважених речовин у мг/л у воді, що досліджується, визначають за формулою:

$$\frac{(M_1 - M_2)\cdot 1000}{V},$$

де M_1 − маса паперового фільтру з осадом зважених речовин, мг;

M_2 − маса паперового фільтру до фільтрування, мг;

V − об'єм води, взятої для аналізу, мл.

Результати експерименту заносять у робочий зошит, роблять висновок про вміст зважених речовин у досліджуваній воді.

Контрольні питання

1. Яким вимогам повинен відповідати осад, що утворився в результаті реакції осадження, для визначення того чи іншого йона гравіметричним методом?
2. Якими факторами визначаються умови осадження в гравіметричному аналізі?
3. Яке значення має концентрація йонів Гідрогену при проведенні реакцій осадження? Поясніть на конкретних прикладах.
4. Обчислити масову частку сірки в природному гіпсі, виходячи з таких даних: наважка гіпсу 0,5025 г, склад вагової форми $BaSO_4$, маса вагової форми 0,6375 г.
5. Обчислити масову частку оксиду алюмінію в бокситі, якщо для аналізу взяли наважку 0,3115 г, осадили алюміній у вигляді гідроксиду після відокремлення всіх інших компонентів. Після прожарювання добули 0,2213 г оксиду алюмінію.
6. Сутність гравіметричного визначення зважених речовин у воді.
7. За якими ознаками характеризують осад?
8. Охарактеризуйте вміст зважених речовин у природних водах. На які показники якості води впливає вміст зважених речовин?

ТЕМА 2.4. Редоксиметричний метод (метод окиснення-відновлення) визначення кисню у воді

Окисно-відновні методи титриметричного аналізу ґрунтуються на використанні реакцій окиснення-відновлення. Робочими розчинами в методах окиснення-відновлення є розчини окисників і відновників. Назва основного робочого розчину визначає і назву методу.

Йодометрія − це окисно-відновний метод об'ємного аналізу, в основі якого лежить вимірювання кількості йоду, що витрачається на окиснення відновника або виділяється під час взаємодії окисника з розчином йодиду калію. Індикатором у цьому методі є розчин крохмалю, який дуже чутливий до йоду і з розведеними розчинами останнього (0,00001 н) утворює синє забарвлення.

Кисень є дуже нестійким компонентом, визначення його має здійснюватися на місці відбору проби.

Метод засновано на взаємодії в лужному середовищі манган(II) гідроксиду з розчинним у воді киснем. Манган(II) гідроксид, кількісно зв'язуючи розчинний у воді кисень, переходить у нерозчинну сполуку мангану(IV) коричневого кольору. Під час підкислення розчину за наявності надлишку калій йодиду утворюється йод, кількість якого еквівалентна кількості розчиненого кисню і визначається титруванням розчином натрій тіосульфату.

$$Mn^{2+} + 2OH^- \rightarrow Mn(OH)_2 \text{ (білий)};$$
$$2Mn(OH)_2 + O_2 \rightarrow 2MnO(OH)_2 \text{ (коричневий)};$$
$$MnO(OH)_2 + 4H^+ + 3I^- \rightarrow Mn^{2+} + I_3^- + 3H_2O;$$
$$I_3^- + 2S_2O_3^{2-} \rightarrow 3I^- + S_4O_6^{2-}.$$

Мінімальна концентрація, яку можна визначити цим методом − 0,05 мг/л. Відносне стандартне відхилення при концентраціях 7-10 мг/л складає 0,3 %. Тривалість визначення проби з урахуванням її відстоювання – 40 хв.

Головними джерелами постачання кисню в поверхневі води є процеси абсорбції його з атмосфери та продукування в результаті процесу фотосинтезу водних організмів. Швидкість процесів абсорбції збільшується зі зниженням температури і підвищенням атмосферного тиску.

Потреба кисню у воді пов'язана з хімічними та біохімічними процесами окиснення органічних і деяких неорганічних речовин (Fe^{2+}, NH_4^+, NO_2^-, H_2S, CH_4, H_2 та ін.), а також із диханням живих організмів. Швидкість поглинання кисню підвищується зі збільшенням температури, кількості бактерій та інших водних організмів і речовин, що підлягають хімічному та біохімічному окисненню.

У поверхневих водах уміст кисню може коливатися від 0 до 14 мг/л. Мінімальний уміст розчиненого кисню, який забезпечує нормальний розвиток риб, є близько 5 мг/л. Зниження його до 2 мг/л викликає масову загибель риб. Найнижчий уміст кисню в поверхневих водах спостерігається зимою, а також у водоймищах, які містять велику кількість забруднювачів і гумусових кислот.

Рибам, як і іншим тваринам, для підтримання життя потрібний кисень, який бере участь у диханні. Більша частина кисню проникає у воду з повітря. Частково він утворюється у воді внаслідок життєдіяльності зелених рослин. У холодній прісній воді його розчиняється більше, ніж у теплій солоній. Найбільший уміст кисню у верхніх шарах водної товщі, найменший – у нижніх, а за певних умов його може зовсім не бути.

Концентрація розчиненого у воді кисню є одним із найважливіших гідрохімічних параметрів, що визначає інтенсивність окисно-відновних біохімічних процесів, які відбуваються у водоймах. Тому кисневий режим, і, зокрема, уміст кисню у воді та його динаміку часто приймають за інтегральний показник стану водних екосистем і якості води в них.

На суші кількість кисню досить велика й майже завжди стала. 1 л повітря містить його близько 210 л. У такому ж об'ємі води кисню не більше 10 л, тобто в 20 разів менше, ніж у повітрі. Отже, риби повинні весь час відшукувати місця, багаті на кисень.

Методика дослідження

Обладнання та реактиви: кисневі склянки; мірні піпетки на 1, 5, 50 мл; колби для титрування на 250 мл; мірна бюретка; реторта для індикатора; насичений розчин $MnCl_2$; лужний розчин KI; розчин H_2SO_4 (1:3); 0,02 н розчин $Na_2S_2O_3$; розчин крохмалю.

Кисневу склянку наповнюють водою, яку мають досліджувати. Потім швидко за допомогою мірної піпетки наливають 1 мл насиченого розчину солі манган(II) хлориду, причому кінець піпетки має бути занурено у воду. Так само іншою піпеткою наливають 1 мл лужного розчину калій йодиду. Склянку швидко закривають пробкою, розчин перемішують, перевертаючи склянку декілька разів догори дном і дають осаду відстоятися не менш 10 хв. (і не більше доби).

Після відстоювання осаду до проби води доливають 5 мл розчину сірчаної (сульфатної) кислоти, закривають пробкою і перемішують. Через 5 хв., коли осад зникає, відбирають піпеткою 50 мл розчину і переносять у колбу на 250 мл і титрують 0,02 н розчином натрій тіосульфату до слабко жовтого забарвлення. Потім додають 1 мл свіжовиготовленого розчину крохмалю і продовжують титрування до зникнення синього забарвлення від однієї краплі натрій тіосульфату.

Аналогічні операції проводять ще двічі, знаходячи середній об'єм натрій тіосульфату, що пішов на титрування.

Кількість кисню, розчиненого у воді, розраховують за формулою:

$$C_x = \frac{8 \cdot N \cdot n \cdot V \cdot 1000}{50 \cdot (V - 2)},$$

де N – нормальність натрій тіосульфату, 0,02 н;

n – об'єм натрій тіосульфату, що пішов на титрування, мл;

V – об'єм склянки, у яку відбиралася проба, мл;

2 − об'єм проби води, що вилилася під час фіксації кисню, мл.

Ступінь насичення води киснем у відсотках визначають за формулою:

$$O_2\,\% = \frac{C_x \cdot 100}{C_0},$$

де C_x − концентрація кисню, знайдена шляхом аналізу, мг/л;

C_0 − нормальна концентрація кисню за температури, за якою відбиралася проба, й атмосферного тиску 760 мм рт. ст. і на мінералізацію води (див. табл. 2.1 і 2.2).

Контрольні питання

1. Які методи хімічного кількісного аналізу належать до редоксиметрії?
2. Сутність перманганатометричного методу.
3. Які особливості має йодометричний метод?
4. Опишіть хімізм йодометрії.
5. Що є індикатором у йодометрії?
6. Чому розчин йоду необхідно зберігати у склянках із темного скла?
7. Чому дорівнюють еквівалентні маси $KMnO_4$:
   а) при відновленні в сильнокислому середовищі;
   б) при відновленні в слабкокислому середовищі.
8. Опишіть джерела постачання кисню в поверхневі води.
9. Проаналізуйте залежність умісту кисню у воді від температури та мінералізації.
10. Охарактеризуйте вміст кисню в поверхневих водах (сезонні та добові коливання).

Таблиця 2.1

Залежність нормальної концентрації кисню (C_0) у воді від температури

Атмосферний тиск 760 мм рт. ст., парціальний тиск кисню p = 0,209 атм.

Температура, °С	Розчинний кисень, *мг/л*									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0.8	0,9
0	14,65	14,61	14,57	14,53	14,49	14,45	14,41	14,37	14,33	14,29
1	14.25	14,21	14,17	14,13	14,09	14,05	14,02	13,98	13,94	13,90
2	13.86	13,82	13.79	13,75	13,71	13,68	13,64	13,60	13,56	13,53
3	13,49	13,46	13,42	13,38	13,35	13,31	13,28	13,24	13,20	13,17
4	13,13	13,10	13,06	13,03	13,00	12,96	12,93	12,89	12,86	12.82
5	12,79	12,76	12,72	12,69	12,66	12,62	12,59	12,56	.12,53	12,49
6	12,48	12,43	12,40	12,36	12,33	12,30	12,27	12,24	12.21	12,18
7	12,14	12,11	12,08	12,05	12,02	11,99	11.96	11,93	11,90	11,87
8	11,84	11,81	11,78	11,75	11,72	11,70	11,67	11,64	11.61	11,58
9	11,55	11,52	11,49	11,47	11,44	11.41	11,38	11,35	11,33	11,30
10	11,27	11,24	11,22	11,19	11,16	11,14	11,11	11,08	11,06	11,03
11	11,00	10,98	10,95	10,93	10,90	10,87	10,85	10,82	10,80	10,77
12	10,75	10,72	10,70	10,67	10,65	10,62	10,60	10,57	10,55	10,52
13	10,50	10,48	10,45	10,43	10,40	10,38	10,36	10,33	10,31	10,28
14	10,26	10,24	10.22	10,19	10,17	10,15	10,12	10,10	10,08	10,06
15	10,03	10,01	9,99	9,97	9,95	9,92	9,90	9,88	9,86	9,84
16	9,82	9,79	9,77	9,75	9,73	9,71	9,69	9,67	9,65	9,63
17	9,61	9,58	9,56	9,54	9,52	9,50	9,48	9,46	9,44	9,42
18	9,40	9,38	8,36	9,34	9,32	9,30	9,29	9,27	9,25	9,23
19	9,21	9,19	9,17	9,15	9,13	9,12	9,10	9,08	9,06	9,04
20	9,02	9,00	8,98	8,97	8,95	8,93	8,91	8,90	8,88	8,86
21	8,84	8,82	8,81	8,79	8,77	8,75	8,74	8,72	8,70	8,68
22	8,67	8,65	8,63	8,62	8,60	8,58	8,56	8,55	8,53	8,52
23	8,50	8,48	8,46	8,45	8,43	8,42	8,40	8,38	8,37	8,35
24	8,33	8,32	8,30	8.29	8,27	8,25	8,24	8,22	8,21	8,18
25	8,18	8,16	8,14	8,13	8,11	8,10	8.08	8,07	8,06	8,04
26	8,02	8,01	7.99	7,98	7,96	7.95	7,93	7,92	7,90	7,89
27	7,87	7,86	7,84	7,83	7,81	7,80	7,78	7,77	7,75	7,74
28	7,72	7,71	7,69	7,68	7,66	7,65	7,64	7,62	7,61	7,59
29	7,58	7,56	7,55	7,54	7,52	7.51	7,49	7,48	7,47	7,45
30	7,44	7,42	7.41	7,40	7,38	7,37	7,35	7,34	7,32	7,31

Таблиця 2.2

Вплив мінералізації на розчинність кисню у воді

Температура, С	**0**	**10**	**20**	**30**
Зменшення розчинності (мг/л) на кожні 1000 мг солей	0,08405	0,06217	0,04777	0,04085

ТЕМА 2.5. Комплексонометричний метод визначення твердості (жорсткості) води

Сумарний уміст солей магнію і кальцію у воді називається її *загальною твердістю (жорсткістю)*. Загальну твердість води поділяють на *тимчасову* або *карбонатну, і постійну або некарбонатну.*

Тимчасова твердість води зумовлена наявністю кальцій і магній гідрогенкарбонатів, її можна усунути тривалим кип'ятінням води:

$$Me(HCO_3)_2 \rightarrow MeCO_3\downarrow + H_2O + CO_2.$$

Постійна твердість води зумовлена наявністю у воді солей сильних кислот – магній і кальцій сульфатів і хлоридів; кип'ятінням постійну твердість води усунути неможливо.

Твердість води прийнято виражати числом міліеквівалентів (мекв) йонів Mg^{2+} і Ca^{2+} що містяться в 1 л води (1 мекв = 20,04 мг/л Ca^{2+} або 12,16 мг/л Mg^{2+}).

Воду, що містить менш ніж 4 мекв/л йонів Ca^{2+} і Mg^{2+}, називають м'якою, від 4 до 8 – середньої твердості, понад 8 – твердою.

Існує кілька способів пом'якшення води. Тимчасову твердість усувають кип'ятінням. Якщо ж вода містить багато гідрогенкарбонатів, то її пом'якшують додавання вапна, яке переводить кислі солі в середні:

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O.$$

Якщо твердість зумовлена наявністю кальцій і магній сульфатів і хлоридів, то до води додають соду або $Ca(OH)_2$. У цьому разі осаджуються всі солі магнію і кальцію у вигляді $CaCO_3$ і $MgCO_3$. Замість соди для зм'якшення води іноді використовують натрій ортофосфат або натрій поліметафосфат. Ортофосфат осаджує йони Ca^{2+} і Mg^{2+}, поліметафосфат утворює з ними розчинні комплексні сполуки, які не дають накипу і не послаблюють мийну дію мила.

Усунути твердість води можна також методом йонного обміну або катіонуванням. Для цього тверду воду слід пропустити крізь шар катіоніту, який здатний обмінювати йони:

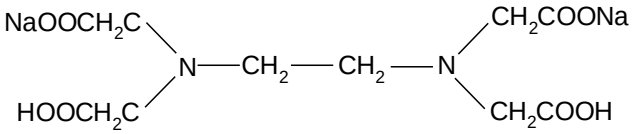
$$2Na - R + Me^{2+} \leftrightarrow MeR_2 + 2Na^+.$$

Оскільки ця реакція оборотна, то катіоніт легко піддається регенерації. Для цього крізь катіоніт достатньо пропустити концентрований розчин NaCl, і його знову можна буде використовувати.

Найм'якша вода в природі – це дощова та снігова.

Методи комплексоноутворення є підрозділом об'ємного аналізу, їхньою основою є реакції утворення комплексних і малодисоційованих сполук. Велике значення в об'ємному аналізі має комплексоноутворення йонів металів із галогенід- та псевдогалогенід-йонами (SCN^-, CN^-). Нині широко використовують нову групу органічних реактивів, відому під

загальною назвою «комплексони». Комплексони, наприклад двонатрієва сіль етилендіамінтетраоцтової кислоти (сама кислота у воді не розчиняється), або трилон Б, утворюють із катіонами металів стійкі комплексні сполуки. Формула трилону Б:



Реакція між трилоном Б і катіонами дво- і тривалентних металів відбувається за співвідношенням 1:1 при різних кислотностях розчину, що дає змогу одні метали визначати за наявность інших.

Точку еквівалентності при трилонометричному титруванні можна встановити за допомогою металіндикаторів − речовин, які утворюють із катіонами металів забарвлені комплексні сполуки, і за зміною кислотно-основних властивостей системи під час титрування.

Металіндикатори не реагують із робочим розчином, а утворюють забарвлені сполуки з катіонами металів, що визначають. Розчини металіндикаторів мають власне забарвлення, і коли в точці еквівалентності зникає забарвлення комплексної сполуки індикатора з катіоном металу, з'являється власне забарвлення металіндикатора. Найпоширенішим металіндикатором є еріохром чорний Т. Трилонометричні визначення з цим індикатором проводять за pH = 7 − 11. За цих умов більша кількість індикатора перебуває у вигляді йонів HIn^{2-} синього кольору.

Визначення твердості (жорсткості) води має велике практичне значення в техніці та побуті. Оцінюючи питну воду, доводиться визначати тимчасову і постійну твердість.

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: штатив; мірна бюретка; плоскодонні колби для титрування на 250 мл; мірні піпетки на 20 і 25 мл; мірні колби на 100 мл; мірні циліндри на 10, 100 мл; аналітичні терези; ретorta для індикатора; 0,1 н розчин трилону Б; розчин еріохром чорного Т; амоніачний буферний розчин (див. нижче); дистильована вода.

Комплексонометричне визначення загальної твердості води полягає в титруванні відміряного об'єму води 0,1 н розчином трилону Б за наявності металіндикатора еріохром чорного Т.

Реакція відбувається за таким рівнянням:

$$Ca^{2+} + Na_2H_2X \rightarrow Na_2CaX + 2H^+.$$

Реакція проходить у слабколужному середовищі, для створення якого перед титруванням додають буферний розчин (суміш NH_3Cl і $NH_3 \cdot H_2O$). Трилон Б відповідає вимогам, які висуваються до вихідних речовин. 0,1 н робочий розчин трилону Б готується безпосередньо з наважки (відносна молекулярна маса препарату M = 372). Із рівняння взаємодії трилону Б із солями кальцію (магнію), видно, що еквівалентна маса трилону Б дорівнює 1/2 молярної маси. Для виготовлення 0,1 н розчину на аналітичних терезах зважують із точністю до 0,0001 г 18,6 г трилону Б, переносять у мірну колбу на 1 л, розчиняють у дистильованій воді, доводячи об'єм розчину до риски.

Розчин індикатора готують так: еріохром чорний Т масою 0,5 г розчиняють у суміші буферного розчину об'ємом 20 мл (20 г NH_4Cl + 100 мл 25-відсоткового $NH_3 \cdot H_2O$ в 1 л води) та етилового спирту об'ємом 80 мл. Індикатор у лужному середовищі має синій колір.

Для визначення загальної твердості води відбирають такий її об'єм, щоб загальний уміст солей кальцію і магнію не перевищував 0,5 мекв (на титрування повинно витрачатись не більше 5 мл 0,1 н розчину трилону Б). Пробу досліджуваної води розводять дистильованою водою до об'єму 100 мл, доливають аміачний буферний розчин об'ємом 5 мл і краплями аміачний розчин індикатора до утворення винно-червоного забарвлення. Титрують робочим розчином трилону Б до переходу червоного кольору в синій.

Твердість (жорсткість) води в міліеквівалентах обчислюють за формулою:

$$T_в = \frac{N_{тр} \cdot V_{тр} \cdot 1000}{V_{H_2O}},$$

де $N_{тр}$ і $V_{тр}$ – нормальність та об'єм робочого розчину трилону Б, витраченого на титрування, у мл;

V_{H2O} – об'єм проби води, у мл.

Після проведення роботи результати експерименту записують у робочий зошит, де оформлюється протокол, робиться висновок про рівень твердості води.

Контрольні питання

1. Які сполуки називають комплексними?
2. Чому в комплексонометрії застосовують робочий розчин двонатрієвої солі, а не розчин самої етилендіамінтетраоцтової кислоти?
3. Які існують способи встановлення точки еквівалентності в комплексонометрії?

4. Чим зумовлена твердість (жорсткість) води? Що таке загальна, тимчасова та постійна твердість?
5. Опишіть методи усунення твердості води.
6. Яка вода вважається м'якою, твердою?
7. З якою метою застосовують у титрометричному аналізі буферні суміші?

ТЕМА 2.6. Титриметричне визначення хлоридів у воді

Хлориди належать до головних йонів, уміст яких у річкових та озерних водах коливається від частки міліграмів до грамів у літрі; у морських і підземних водах концентрація хлоридів вища – до перенасичених розчинів і розсолів.

Основними джерелами надходження хлоридів у водні об'єкти є соленосні відкладення, магматичні породи, до складу яких входять хлоровмісні мінерали (хлороапатіт, содоміт та ін.), вулканічні викиди, засолені ґрунти, з яких вони вимиваються атмосферними опадами. Більша кількість хлоридів потрапляє у воду з промисловими і господарськими стічними водами.

Хлориди у воді не здатні до утворення йонних пар. Вони мають високу міграційну здатність, що зумовлено доброю розчинністю їх у воді, слабко вираженою здатністю до сорбції суспензіями і донними відкладеннями та практичною відсутністю накопичення водними організмами.

Підвищені концентрації хлоридів погіршують смакові якості води, роблячи її непридатною для питного водопостачання, а також зменшують або повністю виключають можливість використання з технічною та господарською метою, а також для зрошення сільськогосподарських територій. Для водних об'єктів рибогосподарського призначення гранично допустима концентрація (ГДК) хлоридів − 300 мг/л; для об'єктів господарсько-питного і культурно-побутового призначення ГДК – 350 мг/л.

Хлориди належать до стійких компонентів водного середовища; проби, призначені для визначення хлоридів, не консервують.

Метод (метод Мора) заснований на осадженні хлоридів Cl^- у нейтральному або слабколужному середовищі аргентум нітратом за наявності K_2CrO_4 як індикатора. Після осадження аргентум хлориду в точці еквівалентності утворюється аргентум хромат, при цьому жовтий колір розчину переходить в оранжево-жовтий. Точність методу – 1-3 мг/л.

Людина щорічно споживає в середньому близько 5 кг натрій хлориду. Кров, якої в організмі дорослої людини близько 5 л, містить близько 0,9 % NaCl. Щоденне виділення натрій хлориду із сечею складає зазвичай близько 15 г. Піт людини містить близько 0,5 % NaCl, а тому в разі посиленого потовиділення рекомендовано вживати газовану воду, що містить 0,5 % NaCl.

Фізіологічно обґрунтована добова норма споживання солі в помірному кліматі для людини середньої маси у віці 30 років становить 4-6 г, однак у багатьох країнах вона традиційно значно вища – приблизно 10-20 г, а в умовах спекотного клімату через підвищене потовиділення – до 25-30 г. У разі екстремальних навантажень на організм добова потреба в солі може сягати 100-150 г. Сіль є регулятором осмотичного тиску, водяного обміну, сприяє утворенню соляної кислоти шлункового соку, активізує діяльність ферментів. Але надмірне вживання солі призводить до підвищення кров'яного тиску, хвороб нирок та серця. Нестача солі в організмі викликає руйнування кісткової та м'язової тканин. Вона може спричинити депресію, нервові розлади, погіршення травлення серцево-судинної діяльності, спазми гладенької мускулатури, остеопороз, анорексію. У разі хронічної нестачі хлориду натрію в організмі можливі летальні випадки. Оскільки в Україні солиться більшість приготованих продуктів, як-то: ковбаса, сир, хліб тощо, фактично для того, щоб залишитися в межах норми споживання, треба або взагалі не солити їжу, або ж солити зовсім трішки.

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: штатив; мірна бюретка; плоскодонні колби для титрування на 250 мл; мірні піпетки на 20 і 25 мл; мірні колби на 100 мл; мірні циліндри на 10, 100 мл; аналітичні терези; реторта для індикатора; аргентум нітрат, натрій хлорид, калій хромат, фільтри «біла стрічка», дистильована вода.

1. Приготування титрованого розчину $AgNO_3$.
2. 2,40 г аргентум нітрату $AgNO_3$ розчиняють у дистильованій воді, об'єм доводять до 1 л.
3. Приготування 10-відсоткового розчину $AgNO_3$.
4. 10 г аргентум нітрату розчиняють у 90 мл дистильованої води і додають 1-2 краплі азотної кислоти.
5. Приготування титрованого розчину NaCl.
6. 0,8245 г NaCl (ч. д. а.), висушеного при 105 ^oC, розчиняють у дистильованій воді, об'єм доводять до 1 л. 1 мл розчину містить 0,5 мг Cl^-.

7. Приготування 5-відсоткового розчину K_2CrO_4.
8. 50 г K_2CrO_4 розчиняють у невеликому обсязі дистильованої води і доводять об'єм розчину до 1 л.
9. Установлення поправочного коефіцієнта до розчину $AgNO_3$.

У конічну колбу вносять піпеткою 10 мл NaCl і 90 мл дистильованої води, додають 1 мл розчину K_2CrO_4 і титрують розчином $AgNO_3$ до переходу лимонно-жовтого кольору мутного розчину в оранжево-жовтий, що не зникає протягом 15-20 с. Одержаний результат вважають орієнтовним. До титрованої проби додають 1-2 краплі розчину NaCl до одержання жовтого кольору. Ця проба є контрольною при повторному точному визначенні. Для цього відбирають порцію розчину NaCl і титрують $AgNO_3$ до одержання незначної різниці відтінків слабко-оранжевого в титрованому розчині і жовтого в контрольній пробі.

Поправочний коефіцієнт (К) визначають за формулою:

$$K = \frac{10}{v},$$

де v – кількість $AgNO_3$, що витрачено на титрування.

Якісне визначення хлоридів

У колориметричну пробірку наливають 5 мл води і додають 3 краплі 10-відсоткового розчину $AgNO_3$. Приблизне визначення хлоридів визначають за характеристикою осаду або каламуті відповідно до даних табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Якісні характеристики визначення хлоридів

Характеристика осаду або каламуті	Уміст хлоридів, мг/л
1. Опалесценція або слабка каламуть	1-10
2. Сильна каламуть	10-50
3. Утворюються пластівці, осаджуються не відразу	50-100
4. Білий об'ємний осад	понад 100

Кількісне визначення хлоридів (метод Мора)

Залежно від результатів якісного визначення, відбирають 100 мл досліджуваної води або менший її об'єм (10-50 мл) і доводять до 100 мл дистильованою водою.

Без розбавлення визначають хлориди концентрацією до 100 мг/л. pH проби має бути в межах 6-10. Якщо вода каламутна, то її фільтрують

крізь беззольний фільтр, промитий гарячою водою. Якщо вода має кольоровість вище 30^o, пробу знебарвлюють додаванням алюміній гідроксиду. Для цього до 200 мл проби додають 6 мл суспензії алюміній гідроксиду, суміш струшують до знебарвлення рідини. Потім пробу фільтрують крізь беззольний фільтр. Перші порції фільтрату відкидають.

Відміряний об'єм води вносять у дві конічні колби і додають по 1 мл розчину калій хромату K_2CrO_4. Одну пробу титрують розчином аргентум нітрату до появи слабко-оранжевого відтінку, другу пробу використовують як контрольну. При великому вмісті хлоридів утворюється осад AgCl, що заважає визначенню. У цьому випадку до відтитрованої першої проби додають 2-3 краплі титрованого розчину NaCl до зникнення оранжевого відтінку, потім титрують другу пробу, користуючись першою як контрольною.

Уміст хлоридів Cl^- (X) у мг/л визначають за формулою:

$$X = \frac{v \cdot K \cdot g \cdot 1000}{V},$$

де v – кількість $AgNO_3$, що витрачено на титрування, мл;

K – поправочний коефіцієнт до титру $AgNO_3$;

g – кількість Cl^- відповідно 1 мл розчину $AgNO_3$;

V – об'єм проби води, що взята для визначення, мл.

Контрольні питання

1. Опишіть сутність титриметричного визначення хлоридів.
2. Які йони заважають визначенню хлоридів? Напишіть рівняння реакції якісного визначення хлоридів.
3. Від яких чинників залежить уміст хлоридів у природних та стічних водах?
4. У вигляді яких солей наявні хлориди в природних водах? Як хлориди впливають на якість природних вод?
5. Яка фізіологічна роль хлоридів?

ТЕМА 2.7. Потенціометричне визначення pH розчинів

Потенціометричний метод аналізу призначено для визначення вмісту йонів Гідрогену в широкому діапазоні pH (від 0 до 14) і температур (від 0 до 100 °C).

Суть потенціометричного аналізу полягає у визначенні вмісту йонів за допомогою вимірювання електрохімічного потенціалу електрода, зануреного в досліджуваний розчин. Потенціометричний аналіз розроблено наприкінці XIX ст., після того, як В. Г. Нернст вивів рівняння, яке пов'язує величину потенціалу металічного електрода з концентрацією йонів цього ж металу в розчині.

У потенціометрії використовують два типи електродів: індикаторний і стандартний (або електрод порівняння). Значення потенціалів електродів порівняння відомі. Це дає змогу застосовувати їх в абсолютній потенціометрії, коли необхідно визначати абсолютне значення потенціалу індикаторного електрода, а не тільки зміну цього значення в процесі титрування. Найчастіше використовують такі стандартні електроди: каломельний та хлоросрібний.

Вимоги до індикаторних електродів можуть бути різними залежно від того, де вони використовуються – в абсолютній потенціометрії чи під час потенціометричного титрування. В обох випадках індикаторні електроди повинні бути оборотними, тобто їхній потенціал має змінюватися зі зміною концентрації йонів металу в розчині відповідно до рівняння Нернста. Використовують такі індикаторні електроди: водневий, хінгідронний, скляний.

В останні роки широко використовують скляний електрод, що містить кульку з дуже тонкого спеціального скла, у яку наливають електропровідний розчин. У цей розчин занурюють срібну дротину, на поверхню якої наносять хлорид аргентуму. Електродна функція у скляному електроді полягає в обміні йонами Гідрогену між рідкою фазою (pH якої вимірюється) і склом:

$$H^+ \leftrightarrow H_{скла}^+$$

Потенціал скляного електрода перебуває в певній залежності від концентрації йонів Гідрогену, що дає змогу використовувати його для вимірювання pH.

Вода – дуже слабкий електроліт, який частково дисоціює:

$$H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^-.$$

Застосувавши до рівняння дисоціації води закон дії мас, маємо:

$$K_{дH_2O} = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]} = 1{,}8 \cdot 10^{-16}.$$

Оскільки молекул води, які продисоціювали, надзвичайно мало, порівняно із загальною кількістю молекул води, ними можна знехтувати. Отже, концентрацію недисоційованих молекул води можна вважати сталою величиною, яку легко обчислити. Для цього слід масу 1 л води поділити на її молярну масу:

$$c_{H_2O} = \frac{1000 \text{ г/л}}{18 \text{ г/моль}} = 55{,}56 \text{ моль/л},$$

і тоді

$$[H^+][OH^-] = 1{,}8 \cdot 10^{-16} \cdot 55{,}56 \approx 10^{-14};\ I_{H_2O} = 10^{-14}.$$

Отже, добуток концентрацій йонів Гідрогену та гідроксид-йонів за сталої температури є сталою величиною. Ця величина називається ***йонним добутком води.*** У чистій воді концентрація йонів Гідрогену дорівнює концентрації гідроксид-йонів, а, наприклад, у 0,001 М розчині хлоридної кислоти концентрація гідроксид-йонів змінюється:

$$[H^+] = [OH^-] = \sqrt{I_{H_2O}} = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7} \text{ моль/л}.$$

$$[H^+][OH^-] = 10^{-14}, \text{ звідки}$$

$$[OH^-] = \frac{10^{-14}}{[H^+]} = \frac{10^{-14}}{10^{-3}} = 10^{-11} \text{ моль/л}.$$

Значно зручніше оперувати не справжнім значенням концентрації йонів Гідрогену, а логарифмом цієї величини. Виражати *концентрацію йонів Гідрогену за показником степеня, тобто як логарифм концентрації йонів Гідрогену, взятий із протилежним знаком, і позначити цю величину символом pH (так званий водневий показник)* було запропоновано на початку XX ст. Математично це записується так:

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

Аналогічно концентрацію гідроксид-йонів також виражають за показником степеня їх концентрації – pOH:

$$pOH = -\lg[OH^-].$$

Водні розчини бувають кислі, нейтральні та лужні. У нейтральному водному розчині pH = 7; у кислому pH < 7; у лужному – pH > 7.

Практично pH розчинів найчастіше визначають за індикаторами. Індикаторний метод ґрунтується на тому, що різні індикатори змінюють своє забарвлення за різних значень pH: метилоранж за pH = 4,4, лакмус – за pH = 7, фенолфталеїн – за pH = 9 тощо. Водневий показник визначають також і потенціометричним методом. Цей метод ґрунтується на вимірюванні електродних потенціалів водневого, хінгідронного та скляного електродів, які перебувають у стані рівноваги з йонами Гідрогену. Для цього використовуються прилади, які називаються pH-метрами.

pH води − один із найважливіших показників якості води. Величина концентрації йонів Гідрогену має велике значення для хімічних і біологічних процесів. Від значення pH залежить розвиток та життєдіяльність водневих рослин, тварин, стійкість різноманітних форм міграції елементів, агресивна дія води на метали і бетон і т. п.

Уміст йонів Гідрогену в природних водах в основному визначається кількісним співвідношенням концентрацій карбонатної (вугільної) кислоти та її йонів:

$$H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-,$$

тому води, які містять велику кількість розчиненого CO_2, мають кислу реакцію. Магній та кальцій гідрокарбонати визначають лужну реакцію водних розчинів унаслідок гідролізу. Для поверхневих вод, які містять невелику кількість CO_2, характерна лужна реакція.

Зміна значення pH безпосередньо пов'язана з процесами фотосинтезу (унаслідок поглинання вуглекислого газу водневою рослинністю) і розпаду органічних речовин.

Джерелом йонів Гідрогену є гумусові кислоти, які є в кислих ґрунтах, гної та болотних водах.

Гідроліз солей важких металів має значення в тих випадках, коли у воду потрапляють значні кількості сульфатів феруму, купруму та інших металів. У результаті гідролізу виділяють йони Гідрогену:

$$Fe^{2+} + 2H_2O \leftrightarrow Fe(OH)_2 + 2H^+.$$

Цей процес характерний для вод рудників, шахт.

У фумарольних водах, пов'язаних із вулканічною активністю, значення pH дуже низьке, у зв'язку з наявністю вільних сильних кислот. Сильні кислоти та основи можуть міститися в стічних водах промислових підприємств.

Концентрація йонів Гідрогену (pH) у річкових водах коливається в межах 6,5-8,5; в атмосферних опадах – 4,6-6,1; болотах – 5,5-6; в океані – 7,9-8,3.

Унаслідок хімічних і біологічних процесів, що виникають у воді, та втрат вуглекислоти pH води може швидко змінюватися, тому цей показник потрібно визначати відразу після відбору проби.

Методика дослідження

Обладнання та реактиви: лабораторний pH-метр зі скляним індикаторним електродом і хлоросрібним електродом порівняння; термометр із ціною поділки 1-0,5 °С; колби мірні на 1000 мл – 1 шт.; склянки поліетиленові для зберігання буферних розчинів на 1000 мл − 3 шт.; склянки хімічні на 100-150 мл – 2-3 шт; фталатний 0,05 М буферний розчин (pH 4,01); фосфатний буферний розчин (pH = 6,86);

боратний 0,01 М буферний розчин (pH = 9,18); питна вода; дистильована вода; фруктовий сік; сухе вино; молоко; водний розчин слини; розчин мила або прального порошку; концентрований розчин амоніаку та ін.

Перед безпосереднім вимірюванням pH необхідно підготувати pH-метр до роботи. Для цього перевіряють і встановлюють «механічний нуль» приладу перед його включенням. Включають pH-метр і після прогріву та встановлення «електричного нуля» коректують його шкалу за двома буферними розчинами.

Новий скляний електрод вимочують у 0,1 н розчині соляної кислоти протягом не менш 8 год. Між визначеннями електрод зберігають зануреним у дистильовану воду.

Хлоросрібний електрод порівняння заповнюють і періодично доповнюють насиченим розчином калій хлориду.

На штативі закріплюють попередньо вимочений скляний електрод, електрод порівняння та термометр. Електрод порівняння встановлюють так, щоб його нижній кінець був нижче від кульки скляного електрода. Електроди занурюють у склянку з буферним розчином. Розчин має повністю покривати кульку скляного електрода. На поверхні скляного електрода й у гніті електрода порівняння не повинно бути бульбашок повітря. Вимірюють значення pH буферного розчину, визначивши його температуру, компенсують її вплив ручкою температурної компенсації. Через 2-3 хв. повторюють вимірювання.

Перед кожним вимірюванням електроди та термометр промивають дистильованою водою. Краплі води знімають чистим фільтрувальним папірцем. Після корекції шкали прилад готовий до вимірювання pH досліджуваних розчинів.

Електроди і термометр ретельно промивають дистильованою водою, потім досліджуваною водою. Досліджувану рідину наливають у склянку та вимірюють pH. Через 3 і 5 хв. повторюють вимірювання. Останні два показники приладу мають бути однаковими. Показники pH записують у робочий зошит.

Контрольні питання

1. У чому суть потенціометричного методу аналізу?
2. Що таке електродний потенціал?
3. Що таке нормальний електродний потенціал?
4. Напишіть рівняння Нернста. Яку залежність воно показує?
5. Що таке індикаторний електрод? Які ви знаєте індикаторні електроди? Дайте характеристику кожному з них.

6. Що таке електрод порівняння? Назвіть приклади електродів порівняння та дайте характеристику кожному з них.
7. Опишіть принцип роботи pH-метра.
8. Опишіть процес дисоціації води. Що таке водневий показник?
9. Які чинники формують pH поверхневих вод?
10. Яке значення pH води для біохімічних водневих процесів?
11. Охарактеризуйте методи визначення pH розчинів.

ТЕМА 2.8. Хроматографічне визначення йонів Fe^{3+} у харчових продуктах хроматографією на папері

Хроматографічний аналіз – це фізико-хімічний метод розділення складних сумішей газів, пари, рідин або розчинених речовин на окремі компоненти за допомогою сорбції в динамічних умовах. Хроматографію розрізняють за характером середовища, у якому проводиться розділення (молекулярну адсорбційну, осадову, йоннообмінну та розподільну), за способами проведення процесу (колонкову, капілярну, паперову та тонкошарову).

Хроматографія − це сучасний і високоефективний метод, що дає змогу достатньо швидко та надійно визначати вміст окремих компонентів у сумішах, концентрувати та ідентифікувати ці компоненти. Метод ефективний не тільки в хімічному аналізі, але й у хімічній технології. У біології й агропромисловій сфері хроматографічне розділення та концентрування використовують перед кількісним визначенням мікроелементів, а також для виявлення пестицидних сполук у довкіллі. Під час технологічного контролю харчових виробництв хроматографія слугує для очищення речовин, аналізу сумішей органічних кислот, амінокислот та інших продуктів.

Хроматографічні методи класифікують за агрегатним станом середовища, під час якого здійснюється розділення суміші на компоненти; механізмом (або хімізмом) процесу розділення; формою (апаратурою або технікою) проведення хроматографічного процесу. За агрегатним станом середовища для розділення суміші розрізняють газову, рідинну та газорідинну хроматографію. За механізмом розділення сумішей виділяють адсорбційну, йонообміну розподільну, осадову, лігандообмінну хроматографії. Іноді виділяють окисно-відновну, адсорбційно-комплексоутворювальну хроматографії та ін. Розрізняють хроматографію на папері (паперову) і хроматографію в тонкому шарі (тонкошарову).

Окремо стоять йонна і високоефективна рідинна хроматографія. У деяких варіантах розділення сумішей речовин відбувається в результаті накладення декількох механізмів, що діють одночасно. При цьому утворюються хроматограми змішаного типу, але один із механізмів завжди залишається переважаючим.

За способом отримання хроматограм у хроматографічному методі розрізняють фронтальний, витискувальний та елюентний аналізи. При фронтальному аналізі досліджувану суміш безперервно подають у верхню частину колонки сорбенту. У паперовій хроматографії адсорбент – це спеціальний папір. Механізм розділення ґрунтується на різній розчинності компонентів суміші у воді, яка змочує папір, і в органічному розчиннику, що використовується для розділення. Метод застосовується для розділення невеликих кількостей органічних і неорганічних речовин.

Краплю водного розчину суміші наносять на нижню частину адсорбенту (довгої смужки фільтрувального паперу), який підвішують у високому циліндрі так, щоб нижній кінець паперу був занурений в органічний розчинник. Останній піднімається смужкою паперу (унаслідок капілярних сил), захоплюючи із собою в першу чергу той компонент суміші, який у ньому краще розчиняється. Поступово суміш на папері розділяється так: у нижній частині містяться компоненти, легкорозчинні в органічному розчиннику. Смужку паперу можна розрізати на окремі частини і вимити речовини, що адсорбувалися на них. Розподільна хроматографія на папері має велике значення для аналізу дуже малих об'ємів розчинів (0,01-0,1 мл).

Подібним до хроматографії на папері є метод хроматографії в тонкому шарі. Тонкошарова хроматографія (ТШХ) на пластинках є одним із найефективніших методів фізико-хімічних досліджень, перевагами якого є швидкість експерименту (5-30 хв.), значна чутливість, простота виконання.

У всіх варіантах хроматографії на папері і хроматографії в тонкому шарі положення зон компонентів характеризується величиною R_f, яка дорівнює відношенню відстані, яку пройшла зона речовини, до відстані, яку пройшов фронтом розчинник. R_f (хроматографічна рухливість) – постійна величина для кожної речовини у стандартних умовах, використовується для її ідентифікації.

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: прилад для хроматографування; спеціальний хроматографічний папір (або фільтрувальний папір); капіляри; суміш розчинників (C_2H_5OH:HCl (розведена 1:2, 1:4), 1-5-відсотковий розчин $FeCl_3$, 10-відсоткового $K_4[Fe(CN)_6]$; сік яблука; суниці.

Для проведення аналізу необхідно таке обладнання: прилад для хроматографування (рис. 2.9). Для проведення аналізу використовують

спеціальний хроматографічний папір, у разі його відсутності можна скористатись фільтрувальним папером.

Вирізають смужку хроматографічного паперу розміром 10 х 6 см, позначають стартову лінію. На стартову лінію смужки хроматографічного паперу роздільно (відстань 3-4 см) наносять капіляром по краплі досліджуваного розчину суміші речовин (А + В) (сік суниці, яблука тощо) і гаданого компонента суміші (А) – «свідка» (у нашому випадку 1-5-відсотковий розчин ферум(III) хлориду) так, щоб діаметр плями був не більше 5 мм. Для більшого концентрування йонів Fe^{3+} пробу соку наносять кілька разів, доторкаючись капіляром одного й того ж місця на стартовій лінії і чекаючи доти, доки не звітриться розчинник із проби. Хроматографічний папір із нанесеними пробами вміщують у прилад для хроматографування (рис. 2.9) так, щоб суміш розчинників (етиловий спирт і розведена 1:2 хлоридна кислота у співвідношенні 1:4) торкалась нижнього краю смужки паперу, але не була б вищою від стартової лінії. Коли фронт розчинника майже досягне верхнього краю смужки паперу (приблизно через 1 год.), пройшовши шлях $L_Ф$ (рис. 2.9, II), компоненти вихідної суміші розділяються на ряд плям. Папір із результатами досліду виймають із приладу і виявляють йони обприскуванням із пульверизатора 10-відсотковим розчином калій(II) гексаціаноферату. З'являється синє забарвлення – утворення берлінської блакиті. Шлях, пройдений йонами Fe^{3+} (компонентом А) вихідної суміші L_A, визначається коефіцієнтом розподілу для даної речовини. Відносна величина цього шляху $L_A / L_Ф$ позначається R_{FA} («relative front» – відносно фронту, від англійського). Ця величина є характерною для кожної речовини в певній системі розчинників.

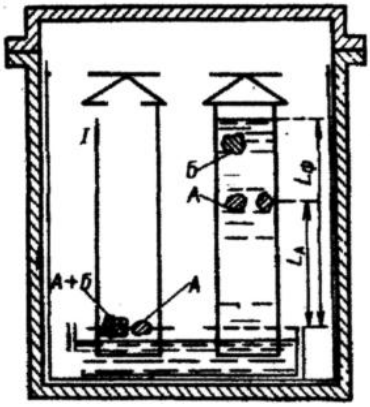


Рис. 2.9. Розподільна хроматографія на папері

Контрольні питання

1. Окресліть сутність процесів адсорбції.
2. Що таке адсорбент? Які адсорбенти ви знаєте?
3. Опишіть адсорбцію на поверхні розділу «тверде тіло – рідина».
4. Яка роль процесів адсорбції в біологічних процесах?
5. У чому полягає хроматографічний метод розділення речовин?
6. Назвіть основні типи хроматографії.
7. Окресліть межі застосування хроматографічного методу аналізу.
8. Охарактеризуйте недоліки та переваги хроматографічного методу аналізу.
9. Яке значення Феруму для живих організмів?

ТЕМА 2.9. Фотоколориметричний метод вимірювання параметрів довкілля

Основою колориметричного методу вимірювання є реакції утворення або руйнування забарвлених сполук, тобто сполук, які здатні поглинати світло. При утворенні забарвленої сполуки кількість продукту реакції пропорційна інтенсивності забарвлення; руйнування забарвленої сполуки характеризується зменшенням інтенсивності забарвлення, пропорційним кількості продукту реакції.

У колориметричному аналізі застосовуються реакції різних типів.

Колориметричне визначення складається з двох основних етапів: утворення (або руйнування) забарвленої сполуки та вимірювання інтенсивності забарвлення.

Основним у колориметричному визначенні є хімічна реакція. Від вибору хімічної реакції залежать час, витрачений на аналіз, чутливість і точність методу. Той чи інший спосіб вимірювання інтенсивності забарвлення, хоч і має велике значення, але він зумовлений загальними умовами роботи лабораторії.

Способи вимірювання інтенсивності забарвлення поділяють на візуальні та фотоелектричні.

Колориметричні методи застосовуються для визначення вмісту малих кількостей різних речовин ($1 \cdot 10^{-4} – 1 \cdot 10^{-5}$ г в об’ємі 50-100 мл). Такі кількості не можна визначити ваговим та об’ємним методами. Застосовується колориметричний аналіз і для визначення порівняно великого вмісту речовин.

Для повного переведення йона, що визначають, у забарвлену

сполуку необхідно врахувати такі характеристики: а) величину хімічного споріднення між реагуючими йонами; б) сталість складу забарвлених сполук; в) спектр поглинання й інтенсивність забарвлення, віднесену до одного моля речовини.

Величину хімічного споріднення між взаємодіючими йонами характеризують константою нестійкості комплексу: чим менша ця константа, тим більша енергія споріднення між компонентами, тим більш стійкий комплекс.

Для колориметричного аналізу потрібно, щоб продукт реакції мав сталий склад, який би відповідав певній хімічній формулі. Причини зміни складу забарвлених сполук можуть бути різними: ступінчастий характер утворення забарвлених сполук, нестійкість забарвлених сполук у часі. Тому у випадках зміни складу забарвлених сполук треба так проводити аналіз, щоб у стандартному й у досліджуваному розчинах утворювались однакові комплекси.

Колір забарвлених розчинів залежить від нерівномірного поглинання світла різної довжини хвилі. Для характеристики кольору розчину користуються спектрами поглинання, або кривими поглинання, які характеризують розподіл поглинальної здатності розчину залежно від довжини хвилі. Знаючи спектр поглинання, можна вибрати максимально чутливу довжину хвилі для вимірювання оптичної густини розчину (інтенсивності забарвлення). Найкращим для фотоколориметричного визначення є вузький спектр поглинання, тому що в цьому випадку оптичну густину речовини можна вимірювати навіть за наявності інших забарвлених сполук. Так, наприклад, розчин тіоціанатного комплексу кобальту найбільше поглинав світло при довжині хвилі 600 нм (рис. 2.10), тому при колориметричному визначенні кобальту оптичну густину треба вимірювати при A = 600 нм.

Велике значення у фотоколориметричному аналізі має інтенсивність поглинання розчину, віднесена до одного моля речовини, так званий молярний коефіцієнт поглинання. *Молярним коефіцієнтом поглинання* називають оптичну густину одномолярного розчину за товщини шару 1 см. Чутливість фотоколориметричного методу пропорційна значенню молярного коефіцієнта поглинання. При проходженні крізь забарвлений розчин монохроматичного пучка світла (світло певної довжини хвилі), частина його поглинається, а частина проходить крізь розчин, при цьому інтенсивність світла зменшується.

Оптична густина розчину A дорівнює десятковому логарифму відношення початкової інтенсивності пучка світла I_o до інтенсивності пучка світла I, який пройшов крізь усю товщину l забарвленого розчину:

$$A = \lg \frac{I_0}{I} \cdot l$$

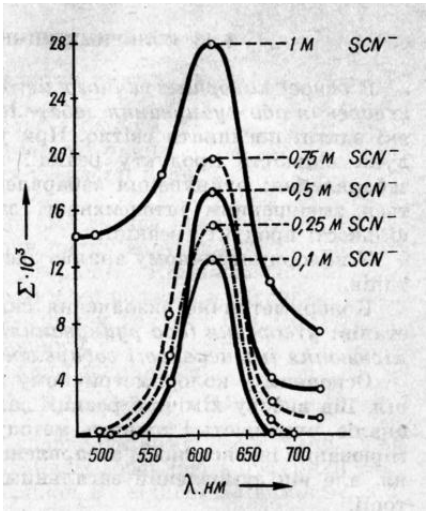


Рис. 2.10. Спектр поглинання водно-ацетонового розчину тіоціанатного комплексу кобальту

Закон Бугера-Ламберта-Бера встановлює залежність оптичної густини забарвленого розчину від концентрації речовини, товщини шару та молярного коефіцієнта поглинання ε і має такий математичний вираз:

$$A = C \cdot \varepsilon \cdot l.$$

Концентрацію *C* речовини виражають у молях на літр, товщину шару – у сантиметрах. При зміні концентрації або товщини шару забарвленого розчину прямо пропорційно змінюється оптична густина розчину, а не поглинання світла в процентах, яке змінюється відповідно до логарифмічного виразу.

При вимірюванні інтенсивності забарвлення досягають оптичної рівності інтенсивності двох світлових потоків, які проходять крізь розчин із речовиною, яку визначають, і крізь стандартний розчин – розчин порівняння, у якому вміст речовини відомий.

Із математичного виразу закону Бугера-Ламберта-Бера видно, що змінними величинами є оптична густина розчину, концентрація забарвленої сполуки і товщина шару. Порівняти два світлові потоки можна неозброєним оком (візуальний спосіб) і за допомогою фотоелектричних приладів (фотоелектричний спосіб). В основі всіх візуальних способів лежить порівняння двох світлових потоків різної інтенсивності, якого можна досягти, змінюючи концентрацію речовини, товщину шару або інтенсивність світлового потоку.

Оптичної рівності двох світлових потоків можна досягти за допомогою спеціальних приладів – колориметрів, змінюючи товщину шару розчину. Такі прилади, як фотометри, зрівнюють світлові потоки, послаблюючи інтенсивніший із них.

Метод стандартних серій (шкали). Інтенсивність забарвлення досліджуваного розчину порівнюють з інтенсивністю забарвлення стандартних розчинів серії, для виготовлення якої беруть 10-15 однакових пробірок, у першу наливають 0,1 мл стандартного розчину, у другу – 0,2 мл і т. д., збільшуючи його кількість за геометричною прогресією. Потім добавляють усі реактиви, потрібні для утворення забарвленої сполуки. Аналогічно оброблюють досліджуваний розчин.

Уміст речовини в досліджуваному розчині дорівнюватиме вмісту речовини в стандартному розчині з однаковим забарвленням.

Метод колориметричного титрування. Дві однакові пробірки діаметром 2-2,5 см і висотою 25-30 см уставляють у штатив (рис. 2.11), в обидві пробірки наливають реактиви, у першу – досліджуваний розчин, а в другу поступово додають стандартний (із відомою концентрацією речовини) розчин із бюретки. Стандартний розчин додають доти, доки інтенсивність забарвлення обох розчинів не зрівняється при однакових об’ємах. Розчини в обох пробірках весь час перемішують. Уміст речовини знаходять за об’ємом добавленого стандартного розчину. Це легко зробити, тому що концентрація стандартного розчину відома. Перевага методу колориметричного титрування перед методом шкали в тому, що цей метод можна застосувати тоді, коли забарвлена сполука недостатньо стійка в часі (ферум(III) тіоціанат).

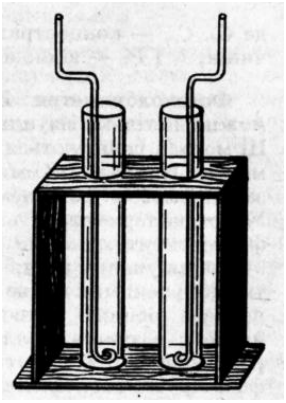


Рис. 2.11. Циліндри з мішалками для колориметричного титрування

Фотоколориметри. Вимірювати інтенсивність забарвлення можна не тільки візуальними методами, а й фотоелектричними. Ці методи ґрунтуються на використанні різних типів фотоелементів. Прилади, якими вимірюють інтенсивність забарвлення за допомогою фотоелементів, називають фотоколориметрами. У фотоколориметрах вимірюють різницю фотострумів у двох фотоелементах, на які падає світло, пройшовши крізь кювети з досліджуваним розчином і розчином порівняння. Фотоелементи сполучені між собою за принципом протитечії, гальванометр показує різницю фотострумів. Якщо інтенсивність забарвлення обох розчинів (досліджуваного і порівняння) однакова, то на обидва фотоелементи падає світло однакової інтенсивності, фотоструми двох елементів компенсуються і стрілка гальванометра не відхиляється.

У хімічних лабораторіях поширені фотоколориметри ФЭК-М, ФЭК-Н-57, ФЭК-Н-56. У фотоколориметрах є світлофільтри, ширина пропускання кожного з них досить мала, і світло, яке проходить крізь світлофільтр, наближається до монохроматичного. Це забезпечує високу точність вимірювання інтенсивності забарвлення. Кожний фотоколориметр випускають з інструкцією користування, де подається схема приладу й описані правила роботи з ним.

Найсучаснішим видом фотоколориметра є КФК-3-01-«ЗОМЗ», загальний вигляд якого подано на рис. 2.12.

Рис. 2.12. Загальний вигляд
фотоколориметра КФК-3-01-«ЗОМЗ»

Контрольні питання

1. З яких етапів складається колориметричне визначення?
2. Які переваги методу колориметра?
3. Які характеристики необхідно враховувати для повного переведення йона, який визначають, у забарвлену сполуку?
4. Назвіть причини зміни складу забарвлених сполук.
5. Що таке спектр поглинання?
6. Як залежить чутливість колориметричного визначення від молярного коефіцієнта поглинання?
7. Що таке оптична густина розчину?
8. Як змінюється оптична густина розчину залежно від концентрації, товщини шару розчину та молярного коефіцієнта поглинання?

2.9.1. Фотоколориметричне визначення йонів Феруму

Ферум постійно наявний у поверхневих та підземних водах; концентрація його залежить від геологічної будови та гідрологічних умов басейну. Високий уміст феруму вказує на забруднення води шахтними водами та промисловими скидами, особливо металургійних підприємств та ін.

Деякі властивості води (наприклад, pH, карбонати, вуглекислий газ, розчинний кисень, сірководень та мікроорганізми) зумовлюють наявність феруму в розчинній або нерозчинній формі.

Проби, що призначені для визначення загального феруму (Fe^{2+} і Fe^{3+}), не консервують. Проби, що взято для визначення різних форм феруму, необхідно попередньо обробляти або консервувати.

Обладнання та реактиви: фотометр; фіолетовий світлофільтр (λ = 400-430 нм; кювети з товщиною шару 3 см); амоній хлорид 2 н розчин (107 г NH_4Cl доводять дистильованою водою до 1 л); амоніак ч. д. а розчин 1:1; нітратна кислота концентрована; сульфасаліцилова кислота ч. д. а 20-відсотковий розчин; залізо-амонійні галуни стандартний розчин; технічні та аналітичні терези; мірні колби на 1000 мл, 500 мл, 100 мл (10 шт.); мірні піпетки на 1 мл, 2 мл, 5 мл, 10 мл.

Методика експерименту

1. Приготування основного розчину.

Залізо-амонійні галуни $NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ч. д. а. 0,8634 г попередньо висушують в ексикаторі, поміщують у мірну колбу на 1 л,

додають 2 мл концентрованої хлоридної кислоти і доводять дистильованою водою до позначки. 1 мл такого розчину містить 0,100 мг феруму.

2. Приготування робочого розчину.

Розбавляють 50,0 мл основного стандартного розчину до 500 мл дистильованою водою. Кожного разу готують свіжий робочий розчин. 1 мл такого розчину містить 0,01 мг феруму.

3. Побудова калібрувальної кривої.

У ряд мірних колб на 100 мл наливають 0,0; 1,0; 2,0; 4,0; 10,0; 20,0; 40,0; 40,0; 60,0; 80,0; 100,0 мл робочого розчину, що відповідає концентраціям 0,0; 0,1; 0,2; …; 10,0 мг Феруму в 1 л.

Далі в мірні колби з приготовленими розчинами наливають 2 мл розчину амоній хлориду, 2 мл розчину сульфосаліцилової кислоти і 2 мл розчину амоніаку. Уміст ретельно перемішують та за 5 хв. вимірюють оптичну густину.

Будують графік, відкладаючи значення оптичної густини (А) на осі ординат, а концентрацію речовини (C, мг/л) – на осі абсцис.

Можна приготувати основний і робочі розчини з готового стандартного розчину шляхом відповідних розведень. Результати записують у табл. 2.4. Будують відповідний графік.

Таблиця 2.4

Результати вимірювань оптичної густини

$V_{розчину}$, мл	$V_{загальний}$, мл	C, мг/л	А (λ = 400 нм)
0,0	100,0	0,0	
1,0	100,0	0,1	
2,0	100,0	0,2	
4,0	100,0	0,4	
10,0	100,0	1,0	
20,0	100,0	2,0	
40,0	100,0	4,0	
60,0	100,0	6,0	
80,0	100,0	8,0	
100,0	100,0	10,0	

4. Визначення концентрації загального феруму.

До 100 мл проби або меншої її кількості, що містить 0,01-1,0 мг феруму, додають 0,5 мл концентрованої нітратної кислоти та випаровують до малого об'єму. Потім її розбавляють дистильованою водою та фільтрують, збираючи фільтрат у мірну колбу на 100 мл. Фільтр промивають, а фільтрат доводять до позначки близько 90 мл. До обробленої таким чином проби додають 2 мл розчину амоній хлориду, 2 мл розчину сульфосаліцилової кислоти і 2 мл розчину амоніаку. Уміст ретельно перемішують та за 5 хв. вимірюють оптичну густину.

За калібрувальною шкалою визначають уміст феруму.

Уміст феруму (X) у мг/л визначають за формулою:

$$X = \frac{C \cdot 100}{V},$$

де C – концентрація феруму, що визначено за калібрувальною кривою, мг/л;

100 – об'єм, до якого розбавлено пробу, мл;

V – об'єм проби, яку взято для визначення, мл.

Таблиця 2.5

Округлення результатів

Діапазон, мг/л	**0,1-2,0**	**2,0-5,0**	**5,0-10,0**	**10,0-20**
Округлення, мг/л	0,1	2,0	5,0	10,0

2.9.2. Фотоколориметричне визначення йонів Купруму(II) у ґрунті

Метод ґрунтується на реакції утворення йонами купруму(II) із натрій діетилдитіокарбаматом («купраль») забарвленої у жовтий колір сполуки. Ця сполука добре розчиняється в органічних розчинниках, забарвлюючи їх у солом'яно-жовтий колір. Фотоколориметричному визначенню купруму(II) за наявності трилону Б в амоніачному середовищі заважають тільки великі кількості Вісмуту. Усі інші катіони в цих умовах зв'язуються в міцні трилонатні комплекси. Метод широко застосовується для визначення купруму(II) у ґрунті.

Обладнання та реактиви: фотометр; світлофільтр (λ = 450-500 нм; кювети з товщиною шару 3 см); електроплитка; нітратна кислота (1:1); амоніак розчин; суміш амоній цитрату і трилону Б (20 г + 20 г відповідно в 100 г дистильованої води); розчин фенолфталеїну; 1-відсотковий розчин натрій діетилдитіокарбамату; розчин мідного купоросу (див. нижче); сульфатна кислота (густина 1,84 г/мл); технічні та аналітичні терези; конічні колби; фільтрувальний папір; лійки; ділильні лійки на 200 мл; мірні колби на 1000 мл, 500 мл, 100 мл (10 шт.); мірні піпетки на 1 мл, 2 мл, 5 мл, 10 мл.

Методика експерименту

1. Приготування ґрунтового витягу.

Ґрунт розтирають, підсушують при температурі 105-110 °С до сталої маси, охолоджують і беруть наважку близько 10 г на аналітичних терезах. Наважку переносять у конічну колбу місткістю 150 мл, доливають 40 мл

азотної кислоти (1:1), суміш кип'ятять 5 хв., розводять водою і фільтрують. Нерозчинний залишок кілька разів промивають малими порціями води. Фільтрат переносять у мірну колбу на 100 мл і до риски доводять водою.

2. Приготування стандартного та робочих розчинів.

Приготування основного стандартного розчину солі купруму(II) готують розчиненням 3,9270 г перекристалізованого купрум(II) сульфату $CuSO_4 \cdot 5H_20$ у дистильованій воді, підкисленій 5 мл H_2SO_4 (густина 1,84 г/мл). Суміш розводять водою до 1 л. У 1 мл розчину міститься 1,0 мг йонів Купруму(II).

Робочі розчини готуються з готового стандартного розчину шляхом відповідних розведень. Результати записують у табл. 2.6. Будують відповідний графік.

Таблиця 2.6

Результати вимірювань оптичної густини

$V_{розчину}$, мл	$V_{загальний}$, мл	*C*, мг/л	A (λ = 450 нм)
0,0	100,0	0,00	
1,0	100,0	0,01	
2,0	100,0	0,02	
4,0	100,0	0,04	
10,0	100,0	0,10	
20,0	100,0	0,20	
40,0	100,0	0,40	
60,0	100,0	0,60	
80,0	100,0	0,80	
100,0	100,0	1,00	

3. Визначення концентрації йонів купруму(II).

Для визначення Купруму(II) відбирають частину розчину, у якому міститься від 0,002 мг до 0,05 мг Купруму, нейтралізують амоніаком і переносять у ділильну лійку місткістю 150 мл. До розчину додають суміш амоній цитрату (амонійної солі лимонної кислоти) і трилону Б (20 г цитрату, 5 г трилону Б у 100 мл дистильованої води) для зв'язування сторонніх катіонів. Суміш наливають у розрахунку: на 25 мл досліджуваного розчину – 10 мл суміші. Після цього розчин нейтралізують амоніаком за наявності фенолфталеїну до появи блідо-рожевого забарвлення. Суміш перемішують, добавляють 2 мл 1-відсоткового розчину натрій діетилдитіокарбамату, забарвлену сполуку купруму(II) екстрагують двома порціями (об'ємами по 10 мл) чотирихлористого вуглецю. Вимірюють оптичну густину неводного розчину на фотоколориметрі при довжині хвилі 450-500 нм. Для обчислення вмісту Купруму(II) користуються калібрувальним графіком.

2.9.3. Фотоколориметричне визначення сумарного вмісту нітрат- і нітрит-йонів

Нині внаслідок неконтрольованого застосування мінеральних добрив актуальною є потреба визначати нітрат- та нітрит-йони в продуктах харчування, кормах тощо. Визначення суми NO_3^- та NO_2^- ґрунтується на відновленні нітратів до нітритів у кислому середовищі цинковим пилом із наступною взаємодією утворених нітритів із реактивом Грісса (сульфанілова кислота і α-нафтиламін).

Нітрит-йони утворюють червоний азобарвник із реактивом Грісса. Інтенсивність забарвлення утвореної сполуки пропорційна концентрації нітрит-йонів у досліджуваному розчині, її вимірювання проводять при довжині світлової хвилі 520 нм.

Обладнання та реактиви: фотометр; світлофільтр (λ = 520 нм; кювети з товщиною шару 3 см); 3,5 М розчин оцтової кислоти; цинковий порошок; 0,6-відсотковий розчин сульфанілової кислоти; 0,60-відсотковий розчин α-нафтиламіну; 2 М розчин натрій ацетату; 2,4 н розчин хлоридної кислоти; концентрована хлоридна кислота; технічні та аналітичні терези; конічні колби; мірні колби на 1000 мл, 500 мл, 100 мл (10 шт.); мірні піпетки на 1 мл, 2 мл, 5 мл, 10 мл.

Методика експерименту

Під час проведення реакції слід дотримуватися таких вимог:

1) діазотування проводити в сильнокислому розчині за якнайнижчої температури;

2) реакція з α-нафтиламіном повинна відбуватись після повного завершення реакції діазотування за низької кислотності розчину.

До досліджуваного розчину об'ємом 1 мл, у якому міститься 1-10 мкг нітрат-йонів, додають 3,5 М розчин оцтової кислоти об'ємом 9 мл та цинкового пилу (на кінчику скальпеля). Суміш перемішують протягом 20 с. Після цього наливають піпеткою 1 мл 0,6-відсоткового розчину сульфанілової кислоти, а через 3-4 хв. додають 1 мл 0,6-відсоткового розчину α-нафтиламіну та 1 мл 2 М розчину натрій ацетату. Суміш розводять дистильованою водою в мірній колбі до об'єму 50 мл і через 10 хв. вимірюють оптичну густину при λ = 520 нм.

Виготовлення реактиву Грісса:

1) сульфанілова кислота – 0,6-відсотковий розчин у 2,4 н хлоридній кислоті;

2) α-нафтиламін – 0,6 г реактиву змішують із 1 мл концентрованої хлоридної кислоти і в мірній колбі місткістю 100 мл доводять дистильованою водою до риски.

Контрольні питання

1. Укажіть шляхи надходження сполук Феруму в навколишнє середовище.
2. Опишіть сутність фотоколориметричного визначення загального Феруму.
3. Які джерела надходження нітратів і нітритів у навколишнє середовище?
4. Опишіть сутність фотоколориметричного визначення загального вмісту нітратів і нітритів.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ СТАНУ ҐРУНТІВ

Ґрунтовий шар є самостійною земною оболонкою − *педосферою*. Ґрунт є продуктом спільної дії клімату, рослин, тварин і мікроорганізмів на поверхневі шари гірських порід. За В. І. Вернадським, **ґрунт** – це біокісне тіло, яке складається разом із живих та кісних (неорганічних) тіл – мінералів, повітря, води, органічних решток.

Найважливіша властивість ґрунту – родючість – здатність забезпечувати умови для продукування рослинами органічної речовини. Родючість зумовлена всією сукупністю властивостей ґрунту.

Із кожним роком стає все актуальнішою проблема вичерпання земельних ресурсів. Однак, оцінюючи ресурси, слід пам'ятати положення, які також очевидні:

1) Земля – це замкнута хімічна система, її маса постійна, і з космосом вона обмінюється лише енергією;

2) маса будь-якого хімічного елемента у складі всієї землі практично не змінюється;

3) усі ресурси Землі, окрім тих, які використовуються на виробництво енергії, потенційно відновлюються.

Отже, вичерпання ресурсів нібито не повинно бути, але воно є – людство розуміє та відчуває ці проблеми з кожним роком усе більш гостро.

Площа суші земної кулі, яка використовується в господарстві, складає земельний фонд планети. Загальна площа суші на Землі – 149 млн км^2, із них 14 млн км^2 займають льодовики. У середньому на кожного мешканця Землі припадає 1 га орної землі, лугів, пасовищ. Однак ця величина постійно знижується у зв'язку зі зростанням народонаселення планети та виходом частини земель зі сільськогосподарського обігу. Щорічно виходить із використання 5-7 млн га земель різного виду. За думкою експертів ООН, на початку XXI ст. для сільськогосподарського виробництва може бути загублено до 650-700 млн га земель.

У різних країнах і континентах розораність земель досить різна. Так, у Бразилії вона складає 1,1 %, в Австралії − 1,2 %, Канаді − 2,4 %, Африці − 9 %, Індії − 30,2 %, Європі − 31 %.

Освоювання нових земель, особливо за рахунок руйнування лісів, пов'язане з порушеннями екологічних систем, зміною ґрунтового

режиму, у ряді випадків із труднощами природно-кліматичного та техніко-економічного характеру.

Значна частина земель у всіх країнах світу щорічно вибуває зі сільськогосподарського обігу у зв'язку з ерозією ґрунтів, хімічним і радіоактивним забрудненнями ґрунтів, засоленням, заболоченням, а також прямим знищенням і захопленням ґрунтів під споруди, будівлі, водосховища та ін.

Під **ерозією ґрунту** розуміють різноманітні процеси руйнування та змиву ґрунтового покриву потоками води або вітром. У зв'язку з цим розрізняють водну та вітрову ерозію. Часто вітрову ерозію називають ще еоловою (Еол – грецький бог вітрів).

Розрізняють природну геологічну ерозію, яку відвернути неможливо і яка особливої шкоди не завдає (вона проходить поступово і майже непомітно).

Прискорена або руйнівна ерозія виникає під впливом діяльності людини. За цього виду ерозії втрати компонентів ґрунту не компенсуються, і ґрунт частково або навіть повністю втрачає свою родючість. Процеси руйнування ґрунту можуть проходити у сотні й тисячі разів швидше, ніж за умов природної ерозії.

Товщина верхнього родючого шару ґрунту, який уміщує гумус, у багатьох типах ґрунтів рідко перевищує 20 см. На його утворення природа затратила не менше 2-7 тис. років. Прискорена ерозія може викликати повне руйнування цього шару за 10-30 років, а деколи він змивається всього лише за одну зливу або здувається за одну пилову бурю. Спеціалісти підрахували, що в Україні нині зіпсовано близько 60 % чорноземів. Щороку Україна втрачає 100 тис. га чорноземів.

Причинами прискореної або руйнівної ерозії є: безконтрольне вирубування лісів; нерегульоване випасання худоби; неправильна оранка на схилах; неправильні методи землеробства.

Земельний фонд України нині складається із земельних ресурсів, що мають різне функціональне використання, якісний стан та правовий статус.

Земельні ресурси – сукупний природний ресурс поверхні суші як просторового базису розселення та господарської діяльності, основний засіб виробництва в сільському та лісовому господарстві.

Сільськогосподарська освоєність ґрунтів в Україні перевищує екологічно обґрунтовані межі. Надмірна розораність і, особливо, екстенсивний характер використання ґрунтового покриву спричинили його деградацію, порушили природні процеси ґрунтоутворення. Ґрунти втратили самовідновлювальну здатність.

Достовірна інформація про реальні просторово-часові зміни впливу суспільства на земельні ресурси є одним із найважливіших чинників гуманної оптимізації, багатогранної системи «людина – довкілля». Вивчення сучасного стану та прогнозу розвитку цих процесів, їх взаємодії з іншими факторами є пріоритетом більшості суспільних та природничих наук. Вагоме значення для вирішення поставлених проблем має моніторинг земельних ресурсів та оптимізація його структури і функціональних зв'язків. Система моніторингу земельних ресурсів регулюється, насамперед, Земельним Кодексом України та чинними нормативно-правовими актами.

Моніторинг ґрунтів – система спостережень за станом земельного фонду з метою своєчасного виявлення змін, їх оцінки, відвернення й ліквідації наслідків негативних процесів.

Об'єктом моніторингу є всі ґрунти незалежно від форми власності на них.

Специфіка ґрунтів як об'єкта моніторингу визначається їх місцем та функціями в біосфері. Ґрунтовий покрив є кінцевим приймачем більшості техногенних хімічних речовин, що втягуються в біосферу. Маючи високу ємність поглинання, ґрунт є головним акумулятором, сорбентом і руйнівником токсикантів. Являючи собою геохімічний бар'єр на шляху міграції забруднюючих речовин, ґрунтовий покрив охороняє суміжні середовища від техногенного впливу. Проте можливості ґрунту як буферної системи не безмежні. Акумуляція токсикантів та продуктів їх перетворення в ґрунті призводить до зміни його хімічного, фізичного і біологічного стану, деградації і, зрештою, руйнування. Ці негативні зміни можуть супроводжуватися токсичним впливом ґрунтів на інші компоненти екосистеми − біоту (у першу чергу, видове різноманіття, продуктивність і стійкість фітоценозів), поверхневі та ґрунтові води. Також забруднені ґрунти є вторинним джерелом забруднення атмосфери.

Моніторинг ґрунтів передбачає систематичні спостереження за станом земель (агрохімічна паспортизація земельних ділянок, зйомка, обстеження і вишукування), виявлення в ньому змін, а також оцінювання:

– стану використання ґрунтових ділянок;

– процесів, пов'язаних зі змінами родючості ґрунтів (розвиток водної та вітрової ерозії, втрата гумусу, погіршення структури ґрунту, заболочення й засолення), заростання сільськогосподарських угідь, забруднення земель пестицидами, важкими металами, радіонуклідами та іншими токсичними речовинами;

– стану берегових ліній річок, морів, озер, заток, водосховищ, лиманів, гідротехнічних споруд;

– процесів, пов'язаних з утворенням ярів, зсувів, селевими потоками, землетрусами, карстовими, кріогенними та іншими явищами;

– стану ґрунтів населених пунктів, територій, зайнятих нафтогазодобувними об'єктами, очисними спорудами, гноєсховищами, складами паливно-мастильних матеріалів, добрив, стоянками автотранспорту, захороненням токсичних промислових відходів і радіоактивних матеріалів, а також іншими промисловими об'єктами.

За результатами оцінювання стану ґрунтів складають звіти, прогнози та рекомендації, що подаються до місцевих органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування та Держземагентства для вжиття заходів із запобігання та ліквідації наслідків негативних процесів.

Контрольні питання

1. Дайте визначення поняття «моніторинг ґрунтів». Що охоплює система моніторингу ґрунтів?
2. З яких етапів складається моніторинг ґрунтів?
3. Які документи складаються після проведення моніторингу ґрунтів?

ТЕМА 3.1. Методи розділення пробного майданчика для проведення моніторингу ґрунтів

Методи розділення території на досліджувані квадрати

Мінімальна площа пробного майданчика має бути 40-100 га, у відкритому біотопі – 10-30 га (бажано не менше 20 га), у замкнутому біотопі – залежно від складності ландшафту та загального рівня рослинної щільності. Якщо досліджуваний біотоп менше 10 га (наприклад, «острівець» лісу серед полів), то необхідно обстежувати декілька таких ділянок і дані об'єднати так, щоб загальна площа перевищувала 20 га. Слід враховувати вплив крайового ефекту в таких ситуаціях.

Форма пробного майданчика має бути за можливістю квадратною (якщо це не обмежується фізичними особливостями місцевості).

Опис пробного майданчика має бути детальний зі включенням особливостей морфологічної, біотичної складової. Опис має включати:

– назву пробного майданчика;

– загальну характеристику ландшафту на пробному майданчику та його околицях (наприклад, орна земля, змішаний листяний ліс, ялиновий ліс, болото з рідкими соснами і тому подібне);

– площу майданчика має бути вказано в гектарах або квадратних кілометрах, висоту над рівнем моря – у метрах. Якщо пробна ділянка

знаходиться на схилі, то треба вказати напрям схилу, його мінімальну та максимальну висоти;

– щодо характеристики ґрунту, необхідно дати лише загальну інформацію, яку легко отримати під час візуального спостереження (наприклад, сухий піщаний ґрунт, торф, глина);

– загальну топографію пробного майданчика (горби, долини, струмки, ставки, головні дороги і тому подібне), бажано у вигляді ескізу;

– характеристику рослинності, включаючи:

а) ярус дерев − домінантні та пригнічені види, їх висоту, вік, замкнутість або відкритість крон і тому подібне;

б) ярус чагарників − домінантні та інші важливі види, їх висота, приблизний об'єм поширення і густина (рідкий, середній або густий);

в) надґрунтовий покрив – домінантні та пригнічені види з приблизним об'ємом поширення;

г) будь-яка інша супутня інформація – наприклад, кількість штучних гніздовищ, термін збирання врожаю, кількість і вигляд тварин, що пасуться, і тому подібне.

Розмір чотирикутників має бути не більше 100 х 100 м у відкритому або 50 х 50 м у замкненому біотопі. У відкритому ландшафті кілочки, які використовуються як орієнтири, мають бути із загостреними кінцями (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Приклад застосування методу розділення майданчика на чотирикутники

А	А1	А2	А3	А4
Б	Б1	Б2	Б3	Б4
В	В1	В2	В3	В4
Г	Г1	Г2	Г3	Г4
	1	2	3	4

А1...Г4 – номери чотирикутників обстеження

Мапи відбору зразків. Перед початком відбору зразків необхідно підготувати схематичні карти пробного майданчика. Для кожного чотирикутника обстеження складається окрема карта. Масштаб мапи має відповідати масштабу майданчика обстеження, проводиться топографічна зйомка місцевості.

Для зображення різних об'єктів і процесів, їх якісних і кількісних характеристик на мапах використовують особливу мову – умовні позначки. Умовні позначки виконують одночасно дві функції – визначають просторове положення об'єктів і вказують їх вигляд і деякі характеристики. Розрізняють площадкові (або масштабні), лінійні, позамасштабні

та пояснювальні умовні знаки. Перелік усіх використаних на карті умовних знаків та їх пояснення містить легенда до карти.

Рельєф Землі зображується пошаровим забарвленням. Так, низовини, що мають висоти від 0 до 200 м-коду, замальовуються зеленим кольором, а піднесеності, що мають висоти від 200 до 500 м-коду, – світло-коричневим. Відповідність висоти кольоровому забарвленню відстежується відповідно до таблиці, розміщеної знизу карти, яка має назву шкали висот. Користуючись нею, можна швидко визначити приблизну висоту якої-небудь ділянки території. Аналогічно побудовано шкалу глибин. Висоти деяких гірських вершин або низовин, а також глибини океанічних западин вказуються на мапах у метрах.

Корисні копалини земної кулі (вугілля, нафта, газ, золото, алмази та ін.) вказують на мапах спеціальними міжнародними позначками, які вказані в «Умовних позначеннях» мапи.

На кожній мапі необхідно відзначити таку інформацію: назва пробного майданчика, рік, час початку та закінчення відбору зразка, прізвище спостерігача, погоду, відмітки про склад та частини пробного майданчика.

Методи відбору зразків та їх маркування

3.1.1. Методика відбору ґрунтових зразків за профілем

У межах гомогенної частини ділянки, що вивчається, необхідно вибрати фактичну пробну площу, скласти опис профілю, який є універсальним, відображає показники в межах усієї ділянки. Після видалення підстилки зразок ґрунту відбирають за генетичними горизонтами або за фіксованими шарами.

Верхній шар органічної речовини (горизонт – Про) відбирають окремо. Якщо зразки відбираються на фіксованій глибині, результати наводяться за рівнях, які наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Рівні щодо глибини відбору зразків

Рівень I		**Рівень II**	
Обов'язковий	**Рекомендований**	**Обов'язковий**	**Рекомендований**
0-10 см	0-5 см	0-10 см	0-5 см
10-20 см	5-10 см	10-20 см	5-10 см
	10-20 см	20-40 см	10-20 см
		40-80 см	20-40 см
			40-80 см

Для відбирання зразків органічних горизонтів (тобто поверхневі та глибинні горизонти Про і Н) слід застосовувати іншу стратегію аналізу. Якщо зразок відбирають за шарами, то глибину та товщину шару, як це

визначено в описі профілю, необхідно екстраполювати на пробну площу. У кожному дослідженому рівні або шарі слід відібрати декілька окремих або один узагальнений репрезентативний для даного рівня зразок; слід також вказувати кількість окремих зразків, складових узагальненого зразка та дату відбору.

Рекомендується збирати таку кількість ґрунту, якої б вистачило для можливого повторного аналізу в майбутньому.

3.1.2. Відбір зразків методом «прямокутника»

З метою досягнення точності результатів аналізу ґрунту на кожному квадраті відбирається один змішаний зразок, який готують із 5 індивідуальних зразків масою близько 200 г, відібраних по діагоналі ділянки. Масу змішаного зразка встановлюють відповідно до мети аналізу (близько до 1 кг).

3.1.3. Зберігання та підготування зразків

Відібраний зразок ґрунту поміщують у пакет з етикеткою, на якій вказують: номер зразка, місце відбору, рельєф місцевості, шар ґрунту, дату відбору. Усі записи на етикетках дублюються в табл. 9. Крупне коріння і камінчики (> 2 мм) слід видалити вручну. У лабораторії всі зразки висушують за температури не вище 40 ^{o}C. Безпосередньо перед початком аналізу зразок ґрунту подрібнюють, просівають через сито діаметром 1-2 мм.

Результати виконання роботи заносять у робочий зошит за формою, яку подано в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Відомість відбору зразків

Дата відбору зразка	Місце відбору зразка	Номер чотирикутника дослідженого об'єкта	Найме-нування зразка	Маркування зразка	Шар ґрунту	Примітка

ТЕМА 3.2 Визначення вмісту вологості в ґрунті

Вологоємність ґрунту – величина, що кількісно характеризує водоутримуючу місткість ґрунту; здатність ґрунту поглинати й утримувати в собі певну кількість вологи під дією капілярних і сорбційних сил.

Залежно від умов, що утримують вологу в ґрунті, розрізняють декілька видів вологоємності ґрунту: максимальну адсорбційну, капілярну, найменшу та повну.

Максимальна адсорбційна вологоємність ґрунту, зв'язана волога, сорбована волога, орієнтовна волога – найбільша кількість міцно зв'язаної води, що утримується сорбційними силами.

Чим важчий гранулометричний склад ґрунту і вищий уміст у ньому гумусу, тим більша частка зв'язаної, майже недоступної вологи ґрунту.

Капілярна вологоємність ґрунту – максимальна кількість вологи, що утримується в ґрунті капілярними (менісковими) силами над рівнем ґрунтових вод. Капілярна вологоємність ґрунту залежить від потужності шару, у якому вона утримується, і його віддаленості від дзеркала ґрунтових вод. Чим більша потужність шару і менша його віддаленість від дзеркала ґрунтових вод, тим вища капілярна вологоємність ґрунту.

Найменша або польова вологоємність (НВ) – відповідає такій кількості води, яка складається зі всіх форм ґрунтової вологи, окрім підґрунтової, гравітаційної та капілярно-підпертої. Це верхня межа доступної рослинам ґрунтової вологи після стікання гравітаційної води.

Повна вологоємність (ПВ) – найбільша кількість вологи, яку здатний утримувати ґрунт, коли всі пори (капілярні та некапілярні) заповнені водою, а поглинальна здатність ґрунту повністю реалізована.

Отже, інтервал доступної рослинам вологи обмежується двома величинами – повною вологоємністю і вологістю стійкого утримання. Оптимальною для більшості сільськогосподарських рослин така вологість ґрунту – 60 % ПВ або 80 % НВ.

Відношення маси вологи до маси ґрунту або, відповідно, її об'єму до об'єму ґрунту, виражене у відсотках, **називається показником вологоємності ґрунту.**

Сукупність фізичних та фізико-хімічних явищ, що зумовлюють зміну кількості вологи в ґрунті та швидкості її пересування, називають водним режимом ґрунту. До водного режиму ґрунту належить надходження, вбирання та затримання ним води, її переміщення та витрачання, зміна її фізичного стану тощо.

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: бюкси; аналітичні терези; ексикатор; сушильна шафа; зразки ґрунту.

Розрахунок результатів ґрунтового аналізу здійснюється на основі абсолютно сухого ґрунту.

Для аналізу беруть 5 г ґрунту, уміщують у бюкс із точно відомою масою та зважують із точністю до 0,001 г (*А*). Висушують до постійної маси за температури 105 °С, охолоджують в ексикаторі та зважують. Ваги мають бути високочутливими, краще використовувати аналітичні терези.

Уміст вологи у % у ґрунті, що досліджується, визначають за формулою:

$$\frac{(A-B)\cdot 100}{(B-M)},$$

де *А* – маса ґрунту в бюксі до висушування, г;

В – маса ґрунту в бюксі після висушування, г;

М – маса порожнього бюксу, г.

Результати експерименту заносять у робочий зошит та таблицю, роблять висновок про вміст вологості в ґрунті.

Результати виконання роботи заносять у робочий зошит у формі табл. 3.4

Таблиця 3.4

Результати визначення вмісту вологості в ґрунті

Найменування зразка	Місце відбору зразка	Маса бюксу, г			Температурний режим проведення аналізу, °С	Уміст вологи в ґрунті, %
		порожнього	з навіскою	після висушування		

Контрольні питання

1. Сформулюйте поняття «вологість ґрунту».
2. Проаналізуйте типи вологоємності ґрунту.
3. Охарактеризуйте етапи проведення аналізу за визначенням умісту вологості в ґрунті.
4. Пояснити взаємозв’язок вологості в ґрунті зі вмістом у ньому хімічних елементів.
5. Пояснити формулу розрахунку вмісту вологості в ґрунті.

ТЕМА 3.3. Визначення механічного складу ґрунту та ґрунтоутворювальної породи

Тверда фаза ґрунтів і ґрунтоутворювальних порід містить частки різного розміру, які називаються ***механічними елементами***. Ці елементи мають мінеральне, органічне й органо-мінеральне походження, є

уламками гірських порід, окремими зернами первинних і вторинних мінералів, гумусовими речовинами, органічними та мінеральними сполуками. Механічні елементи перебувають у ґрунті або в ґрунтоутворювальній породі як у вільному стані (наприклад, у піску), так і сполученими в структурні одиниці – агрегати (грудки) різної величини, форми й міцності. Близькі за розміром і властивостям частки поєднуються у фракції (табл. 3.5), при цьому всі механічні фракції об'єднуються в дві великі групи: фізична глина з розміром часток до 0,01 мм (мул, дрібний і середній пил) та фізичний пісок із розміром часток понад 0,01 мм.

Фракції механічних елементів складають ґрунти або породи в різних кількісних співвідношеннях. Відносний уміст у ґрунті або ґрунтоутворювальній породі (висушеній за температури + 105 °С) фракцій механічних елементів називається **механічним складом**, який впливає на процеси ґрунтоутворення. Механічний склад впливає на фізичні, водно-фізичні, фізико-механічні, повітряні, теплові властивості, окисно-відновні умови, поглинальну здатність, накопичення в ґрунті гумусу, зольних елементів, Нітрогену та, як наслідок, на сільськогосподарське використання ґрунтів.

Так, ґрунт із більшим умістом глинистих часток відрізняється вищою вологоємністю, краще забезпечений живильними елементами й гумусом. Однак агрокультурна обробка цих ґрунтів вимагає більших енергетичних витрат, тому такі ґрунти прийнято називати *важкими*. Ґрунт із високим умістом піщаних часток *(легкі ґрунти)*, навпаки, має високу водопроникність (через більшу пористість) і низьку вологоємкість, збіднений гумусом й елементами живлення рослин, має незначну поглинальну здатність, але легко піддається обробці.

Таблиця 3.5

Фракції механічних елементів та їх склад

Фракції механічних елементів	**Розмірність фракцій, мм**	**Склад**
1	2	3
Камені	понад 10	переважно уламки гірських порід (ґрунт і породи валунні, галечникові)
Гравій	1,5-10	уламки порід і первинних мінералів
Пісок	0,05-1,5	уламки первинних мінералів, насамперед кварцу й польових шпатів
Пил	0,005-0,05 (великий і середній пил)	уламки первинних мінералів, насамперед кварцу й польових шпатів; для середнього пилу також характерний підвищений уміст слюдистих мінералів
	0,001-0,005 (дрібний пил)	уламки первинних і вторинних мінералів

Закінчення табл. 3.5

1	2	3
Мул	0,0001-0,001 (мулиста фракція)	переважно уламки високодисперсних вторинних мінералів; із первинних мінералів найчастіше зустрічаються кварц, ортоклаз і мусковіт
	до 0,0001 (колоїди)	

Усе різноманіття ґрунтів і ґрунтоутворювальних порід за механічним складом можна об'єднати в групи з характерними для них фізичними, фізико-хімічними і хімічними властивостями. В основу цього групування покладено співвідношення фізичного піску й фізичної глини. За співвідношенням умісту часток різного розміру (головним чином, за вмістом часток менших за 0,005 мм) ґрунти й ґрунтоутворювальні породи поділяються на такі великі групи – *піски, супіски, суглинки й глини* (табл. 3.6).

Співвідношення уламкових часток у ґрунтоутворювальних породах різного походження визначає механічний склад розвинених із них ґрунтів. Із супіщаних (наприклад, алювіальних – річкових або еолових – утворених діяльністю вітру) ґрунтоутворювальних порід утворюються супіщані ґрунти, із суглинних порід (алювіальних, делювіальних, тобто утворених при площинному змиві на схилах або іншого походження) – суглинні ґрунти.

Таблиця 3.6

Групи й підгрупи ґрунтів і ґрунтоутворювальних порід за механічним складом (за В. В. Добровольським, 2001 р.)

Групи	**Підгрупи**	**Уміст часток (%) менше 0,005 мм (дрібний пил і мул)**
Глина	важка	понад 60
	легка	30-60
Суглинок	важкий	20-30
	середній	15-20
	легкий	10-15
Супісок	важка	6-10
	легка	3-6
Пісок		до 3

Існує кілька способів визначення механічного складу ґрунтів і ґрунтоутворювальних порід. Відносно складні методи з використанням спеціального устаткування:

– **седиментаційний аналіз** – заснований на відокремленні часток унаслідок швидкості осадження (седиментації) їх у воді, залежно від

маси й розміру: швидкість осадження частки (υ) пропорційна її радіусу (R) у другому ступені, тобто $\upsilon = f(R^2)$ (закон Стокса);

– **ситовий гранулометричний аналіз** – широко застосовується для визначення механічного складу піщаних і супіщаних ґрунтів за допомогою стандартного набору сит із наступним зважуванням виділених фракцій;

– **аналіз за методом Рутковського** – дозволяє виділити глинисту, пилувату й піщану фракції, ґрунтуючись на здатності часток ґрунтів і ґрунтоутворювальних порід набухати у воді.

До гранично простих методів відносять розрізняння на дотик, метод розкачування для віднесення ґрунту й ґрунтоутворювальної породи до глинистої, суглинистої, супіщаної або піщаної групи. Останні методи широко застосовують у польових дослідженнях (зокрема на польових навчальних практиках) завдяки їх простоті й швидкості проведення, однак їх результати дають лише орієнтовну уяву щодо механічного складу ґрунту або ґрунтоутворювальної породи.

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: зразки ґрунту; бланки опису зразка ґрунту; фарфорова ступка; дистильована вода; колби на 250 мл; хімічні стакани на 250 мл; вологі серветки; поліетиленовий (або паперовий) пакет для сміття.

Невелику кількість ґрунтового матеріалу (обсяг однієї чайної ложки), очищують від сторонніх предметів (гілочки, стебла й коріння трав, уламків каменів, вугілля і т. д.), акуратно розтирають у фарфоровій ступці до однорідної розсипчастої маси й змочують водою з колби до густої в’язкої (тістоподібної) консистенції.

Отриману масу скачують у кульку діаметром близько 1,5-2 см.

Кульку розкачують на більш-менш рівній поверхні (стіл, поверхня зошита, долоня і т. д.) у шнур довжиною близько 5 см і рівномірною товщиною близько 4-5 мм.

Отриманий шнур акуратно згинають у кільце також на більш-менш рівній поверхні (стіл, поверхня зошита, долоня і т. д.). Не допускається згинання в кільце пересохлого або перезволоженого шнура: якщо шнур висох, то необхідно додати небагато води й розкатати матеріал знову, якщо він перезволожений – злегка обдути його для випаровування води з поверхні.

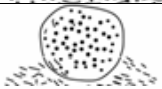
За характером розкачування матеріалу в шнур визначається його морфологія, наявність і густина тріщин. Далі обґрунтовують відношення

дослідженого ґрунтового матеріалу до тієї або іншої групи (підгрупи) механічного складу (табл. 3.7).

Виходячи з механічного складу, для кожного зразка визначаються, спираючись на табл.12 і 13, загальні особливості його мінералогічного складу. Ці висновки зіставляються з висновками про особливості мінералогічного складу, отриманими за аналізом фарбування ґрунтового зразка.

Таблиця 3.7

Визначення механічного складу ґрунту й ґрунтоутворювальної породи методом скачування

Морфологічні властивості зразка під час скачування		**Групи та підгрупи механічного складу**	
Не скачується в кульку		пісок	пісок
Важко скачується в кульку, легко розсипається на механічні елементи		легкий супісок	Супісок
Скачується лише кулька, яка не розкачується в шнур		важкий супісок	
Скачується в кульку та шнур, яка розсипається на окремі сегменти		легкий суглинок	Суглинок
Скачується кулька і шнур із кінцями, що стоншуються при згортанні в кільце, дає тріщини й розсипається на сегменти		середній суглинок	
Скачується кулька і шнур із кінцями, що стоншуються при згортанні в кільце, і не розсипається, але дає тріщини		важкий суглинок	
Скачується кулька і шнур із кінцями, що стоншуються при згортанні в кільце і не розсипається, але дає одну-дві неглибокі тріщини		легка глина	Глина
Скачується кулька і шнур із кінцями, що стоншуються при згортанні в кільце, і не розсипається та не дає тріщин		важка глина	

Контрольні питання

1. Сформулюйте визначення поняття «механічний склад ґрунту».
2. Охарактеризувати головні механічні властивості ґрунту.

3. Як визначити механічний склад ґрунту в польових умовах?
4. Які головні розбіжності між глиною та суглинком?
5. Охарактеризуйте властивості основних груп і підгруп механічного складу ґрунтів.
6. До якої групи механічного складу можна віднести ґрунт, якщо зразок скачується в кульку і шнур із кінцями, що стоншуються під час згортання в кільце й не розсипаються, але дає тріщини?

ТЕМА 3.4. Визначення щільності та твердої фази ґрунту

Мета роботи: формування знань студентів щодо визначення щільності ґрунту та твердої фази ґрунту в лабораторних умовах.

Загальними фізичними властивостями ґрунту є щільність твердої фази та щільність ґрунту.

Щільність твердої фази (*d*) – це інтегрована щільність усіх компонентів твердої фази ґрунту (уламки гірських порід, новоутворені мінерали, органічні частки) або маса одиниці об'єму ґрунту, за винятком пор.

Поверхневі шари ґрунту мають меншу щільність, ніж нижні, тому що щільність гумусу становить 1,4-1,8 г/см^3, а щільність мінеральних компонентів – 2,3-3,3 г/см^3. Найщільнішою вважають тверду фазу ілювіальних та солонцюватих шарів, найнижчою – торфяних та сильногумусових шарів. Для більшості ґрунтів щільність твердої фази складає 2,40-2,65 г/см^3, а для торфяних – 1,4-1,8 г/см^3.

Щільність ґрунту (*p*) – маса одиниці об'єму ґрунту в природному непорушеному й сухому стані.

Завдяки наявності пор, заповнених повітрям, щільність ґрунту значно менша, ніж щільність його твердої фази. Щільність ґрунту верхніх шарів становить 0,8-1,2 г/см^3, а нижніх – 1,3-1,6 г/см^3. Ця величина залежить від мінералогічного та гранулометричного складу ґрунту, його структури, умісту органічної речовини, обробки ґрунту. Оптимальна щільність становить 1,0-1,2 г/см^3 і коливається від 0,4 (торф) до 1,66 г/см^3 (ілювіальні горизонти).

За лабораторних умов щільність ґрунту визначають із розсипчастого зразка ґрунту. Набагато точніше проводять визначення за польових умов у природному стані ґрунту.

Щільність твердої фази ґрунту визначають *пікнометричним* засобом. Для її обчислення треба знати обсяг і масу твердої фази ґрунту. Під час

пікнометричного методу об'єм твердої фази знаходять шляхом витиснення води насипним ґрунтом.

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: мірні циліндри на 100 мл; колби на 100, 250 мл; аналітичні терези.

1. Визначення щільності ґрунту.

Зважують склянку з відмітками або мірний циліндр. Насипають у неї ґрунт із нерозтертого зразка, ущільнюючи його в міру наповнення (постукують склянку об долоню руки). Ґрунт насипають до певної відмітки – 50 або 100 дм^3. Склянку з ґрунтом зважують. Щільність ґрунту знаходять за формулою:

$$d = m / V,$$

де d – щільність, г/см^3;

m – маса сухого ґрунту, г;

V – обсяг ґрунту, дм^3 (50 або 100).

Результати записують у формі табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Результати визначення щільності ґрунту

Назва зразка	Маса склянки, г	Маса склянки з ґрунтом, г	Маса ґрунту (m), г	Об'єм ґрунту (V), дм^3	Щільність ґрунту (d), г/см^3

2. Визначення щільності твердої фази ґрунту.

У скляну колбу наливають 250 мл дистильованої води, кип'ятять приблизно півгодини для видалення з неї розчиненого повітря й охолоджують до кімнатної температури.

У пікнометр (або мірну колбу на 100 мл) наливають до відмітки прокип'ячену й охолоджену дистильовану воду, вимірюють t^o і зважують. Зважують 9-10 г повітряно-сухого ґрунту. Із пікнометра виливають приблизно $^1/_2$ обсягу води й усипають у нього ґрунт. Цю суміш ґрунту з водою кип'ятять у пікнометрі близько 30 хв. для видалення повітря, доливаючи дистильованої води під час википання до половини його обсягу.

Після кип'ятіння пікнометр зі вмістом охолоджують до кімнатної температури і доливають прокип'ячену й охолоджену воду до мітки, витирають зовні фільтрувальним папером і зважують. Щільність твердої фази обчислюють за формулою:

$$d = A \cdot [(B + A) - C]^{-1} \cdot \underline{d}h_{20\text{-}1},$$

де d – щільність твердої фази ґрунту, г/см^3;
А – маса сухого ґрунту, г;
B – маса пікнометра з водою, г;
C – маса пікнометра з водою й ґрунтом, г;
dh_{20} – щільність води, прийнята за 1 г/см^3.
Результати записують за формою в табл. 3.9.

Таблиця 3.9

Результати визначення щільності твердої фази ґрунту

Назва зразка	Маса сухого ґрунту (*A*), г	Маса мірної колби з водою (*B*), г	Маса мірної колби з водою й ґрунтом (*C*), г	Щільність твердої фази ґрунту (*d*), г/см^3

Контрольні питання

1. Сформулюйте визначення поняття «щільність ґрунту».
2. Сформулюйте визначення поняття «щільність твердої фази ґрунту».
3. Охарактеризуйте етапи визначення щільності ґрунту.
4. Охарактеризуйте етапи визначення щільності твердої фази ґрунту.
5. Проаналізуйте формулу для обчислення щільності твердої фази ґрунту.

ТЕМА 3.5. Визначення кислотності ґрунту

Мета роботи: формування вмінь та навичок студентів із визначення кислотності ґрунтів.

Реакція ґрунту виявляється при взаємодії його з водою або розчинами солей. Вона визначається співвідношенням водневих і гідроксильних йонів у ґрунтовому розчині і характеризується показником pH:

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

Якщо pH = 7, то реакція нейтральна, при pH > 7 – лужна, при pH < 7 – кисла. У ґрунтах pH коливається в межах від 3,5 (поверхневі торфяники) до 8-9 (солончаки та солонці). Оптимальний pH (близько 7) характерний для некарбонатних ґрунтів.

Виділяють ***актуальну*** (активну) і ***потенційну*** кислотність ґрунту залежно від того, за якої взаємодії вона вимірюється.

Актуальна кислотність ґрунту зумовлена наявністю йонів Гідрогену в ґрунтовому розчині. Залежить від наявності в ґрунтовому розчині вільних кислот, гідролітично кислих солей, ступеня їх дисоціації. Актуальна кислотність ґрунту вимірюється під час взаємодії ґрунту з дистильованою водою, а саме розведенні у співвідношенні 1:2,5. Деколи pH ґрунту визначається за допомогою електроду безпосередньо в ґрунті за природних умов. Класифікацію ґрунтів за рівнями актуальної кислотності ґрунту подано в табл. 3.10.

Таблиця 3.10

Класифікація ґрунтів за рівнями актуальної кислотності

Показник кислотності	Рівень pH	Показник кислотності	Рівень pH
Сильнокислі	3-4	Слаболужні	7-8
Кислі	4-5	Лужні	8-9
Слабокислі	5-6	Сильнолужні	9-11
Нейтральні	7		

Потенційна кислотність – здатність ґрунту під час взаємодії з розчинами солей проявляти властивості слабкої кислоти. Потенційна кислотність визначається властивостями твердої фази ґрунту, що зумовлює появу додаткових йонів Гідрогену в розчині під час взаємодії з добривами або хімікатами. Характеризує сумарну концентрацію кислот та кислотних агентів, що існують у даному ґрунті, як у дисоційованому, так і недисоційованому стані.

Актуальна кислотність ґрунтів, що мають pH < 7, під дією кислих дощів знижується на 1-2 одиниці. Надлишкова кислотність токсична для багатьох рослин і мікроорганізмів. Для більшості культурних рослин оптимум pH ґрунтового розчину перебуває в межах 5,5…7,0, і тільки люпин, чайний кущ і деякі інші віддають перевагу кислим ґрунтам. Оптимальні значення pH ґрунту для вирощування основних сільськогосподарських культур наведено в табл. 3.11.

Таблиця 3.11

Оптимальні значення pH ґрунту для деяких рослин

Значення pH ґрунту	Рослинність	Значення pH ґрунту	Рослинність
5,0-7,7	Овес	6,7-7,4	Капуста
5,0-5,5	Картопля	6,0-7,0	Горох
5,5-7,5	Жито озиме	6,8-7,5	Буряк їстівний
7,0-7,5	Цукровий буряк	6,5-7,1	Соя
6,0-7,5	Пшениця ярова	5,5 і більше	Редис, ріпа
7,0-8,0	Люцерна	6,3-6,7	Томати

Закінчення табл. 3.11

6,3-7,6	Пшениця озима	Близько 7	Гірчиця
6,0-7,0	Конюшина	5,9-6,5	Льон
6,8-7,5	Ячмінь	5,5-7,0	Морква
6,5 і більше	Буркун	6,0-6,8	Соняшник
6,0-7,0	Кукурудза	6,0-7,9	Огірки
4,5-6,0	Люпин	7,1-7,4	Коноплі
5,5-7,5	Просо	6,0-7,0	Салат
5,6 і більше	Тимофіївка	4,8-6,2	Чай
4,7-7,5	Гречка	6,5-9,0	Бавовник

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: мірні циліндри на 150 мл; конічні колби на 250 мл; хімічні склянки на 100 мл; 1 н KCl; pH-метр; аналітичні терези.

1. Приготування водної витяжки ґрунту.

Зразок повітряно-сухого ґрунту масою 30 г, зважений на аналітичних вагах із похибкою не більше 0,1 г, помістити в конічну колбу. До зразка слід додати мірним циліндром 150 мл дистильованої води, закрити пробкою, перемішати протягом 3 хв. і залишити на 5 хв. для відстоювання.

2. Вимірювання pH водної витяжки.

Ґрунтову суспензію обсягом 15-20 мл, отриману за рекомендаціями п. 1, перелийте в хімічну склянку і виміряйте pH. Показання pH-метра зчитуйте не раніше, ніж через 1,5 хв. після занурення електродів у вимірювальне середовище, після припинення дрейфу pH-метра.

3. Приготування сольової витяжки з ґрунту.

Зразок повітряно-сухого ґрунту масою 30 г, зважений на аналітичних вагах із похибкою не більше ніж 0,1 г, розмістити в конічну колбу. До проби долити мірним циліндром 75 мл 1 н розчину KCl, закрити пробкою й перемішувати протягом 1 хв.

4. Вимірювання pH сольової витяжки.

Ґрунтову суспензію об'ємом 15-20 мл, отриману за рекомендаціями п. 3, переливають у хімічну склянку та виміряють pH. Показники pH-метра зчитують не раніше ніж через 1,5 хв. після занурення електродів у вимірювальне середовище, після припинення дрейфу pH-метра.

Одержані результати заносять до табл. 3.12.

Таблиця 3.12

Результати вимірювання кислотності ґрунту

Маркування зразка	Місце відбору зразка	pH водної витяжки	Оптимальна pH для рослинності	pH сольової витяжки	Оптимальна pH для рослинності

Контрольні питання

1. Сформулюйте визначення поняття «актуальна кислотність ґрунту».
2. Сформулюйте визначення поняття «потенційна кислотність ґрунту».
3. Як визначити актуальну кислотність ґрунту?
4. Як визначити потенційну кислотність ґрунту?
5. У чому полягає принципова різниця між актуальною та потенційною кислотністю?
6. Наведіть приклади оптимального значення pH ґрунту для деяких рослин.

ТЕМА 3.6. Визначення форм знаходження важких металів у ґрунті

Термін «важкі метали» пов'язаний із високою відносною атомною масою. Ця характеристика зазвичай ототожнюється з уявленням про високу токсичність. Однією з ознак, які дають змогу відносити метали до важких, є їх густина. У сучасній кольоровій металургії розрізняють важкі кольорові метали – густина 7,14-21,4 г/см^3 (цинк, олово, мідь, свинець, хром та ін.) і легкі кольорові метали – щільність 0,53-3,5 г/см^3 (літій, берилій та ін.) Згідно з однією класифікацію, до групи важких металів належить більше 40 елементів із високою відносною атомною масою й густиною понад 6 г/см^3. За іншою класифікацією, до цієї групи включають кольорові метали з густиною більшою, ніж у заліза (свинець, мідь, цинк, нікель, кадмій, кобальт, олово, сурма, вісмут, ртуть).

Згідно з відомостями, які подано в «Довіднику з елементарної хімії» за редакцією А. Т. Пилипенко (1977 р.), до важких металів віднесено елементи, густина яких становить понад 5 г/см^3.

Отже, важкі метали − це елементи періодичної системи Д. І. Мендєлєєва з відносною молекулярною масою понад 50: V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi та ін. Їх відносять до пріоритетних забруднювачів, спостереження за якими обов'язкове в усіх середовищах. Уявлення про обов'язкову токсичність металів є неточним, оскільки Цинк, Молібден, Кобальт, Манган, Ферум – елементи, які необхідні для життєдіяльності живих організмів. За думкою Виноградова В. І., мікроелементом метал стає тоді, коли знаходиться в ґрунті, рослинності, біоті в нетоксичних концентраціях. Практично всі метали (близько 92), які активно беруть участь у біологічних процесах, входять до складу вітамінів, гормонів, регулюють активність ферментів.

Установлено, що для білкового, вуглеводного і жирового обміну речовин необхідні Mo, Fe, V, Co, W, B, Mn, Zn; у синтезі білків беруть участь Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, Co; у кровотворенні − Co, Cu , Mn, Ni, Zn; у диханні – Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, Co. Справедливе твердження про те, що немає шкідливих речовин, є шкідливі концентрації. Тому йони Купруму, Кобальту або навіть Хрому, якщо їх уміст у живому організмі не перевищує природного, можна іменувати мікроелементами, а якщо вони генеалогічно пов'язані із заводською трубою, то це вже важкі метали.

Перш за все нас цікавлять ті метали, які найширше й у значних обсягах використовуються у виробничий діяльності і в результаті накопичення в довкіллі становлять серйозну небезпеку з точки зору їх біологічної активності та токсичних властивостей. До них відносять Плюмбум, Меркурій, Кадмій, Цинк, Бісмут, Кобальт, Нікол, Купрум, Станум, Стибій, Ванадій, Манган, Хром, Молібден і Арсен.

Форми знаходження важких металів у довкіллі досить різноманітні. В атмосферному повітрі важкі метали наявні у формі органічних і неорганічних сполук у вигляді пилу й аерозолів, а також у газоподібній формі (Меркурій).

У водних середовищах метали наявні в трьох формах: зважені частинки, колоїдні частинки і розчинені сполуки. Останні представлено вільними йонами й розчинними комплексними сполуками з органічними (гумінові та фульвокислоти) і неорганічними (галогеніди, сульфати, фосфати, карбонати) лігандами. У кінцевому підсумку важкі метали у водних екосистемах концентруються в донних відкладах та біоті. Сорбція важких металів донними відкладами залежить від особливостей складу останніх і вмісту органічних речовин.

У ґрунтах важкі метали містяться у водорозчинній, йонообмінній і адсорбованій формах.

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: аналітичні ваги; фільтр «синя стрічка»; муфельна піч; 1 М амоній ацетат; 0,1 М хлоридна кислота; нітратна кислота (конц.); 0,1 М натрій гідроксид; вода дистильована (усі реактиви, використані для аналізу, повинні бути кваліфікації хімічно чисті (х. ч.) або чисті для аналізу (ч. д. а).

Розподіл фізико-хімічних форм важких металів у ґрунтах проводять послідовним виділенням за двома паралельними схемами (рис. 3.1, права й ліва частини схеми). Виділення проводиться протягом доби за нормальних умов і періодичного перемішування. Співвідношення твердої та рідкої фаз 1:5. Розчин відокремлюється від залишку за

допомогою паперового фільтру «синя стрічка»; залишок на фільтрі двічі промивається дистильованою водою.

Йонообмінні форми виділяли шляхом обробки наважки ґрунту 1 М розчином ацетату амонію відповідно до методики, розробленої Ф. І. Павлоцькою при вивченні форм знаходження радіонуклідів у ґрунтах (рис. 3.1, ліва частина схеми). Йонообмінна форма є близьким резервом водної міграції техногенних забруднювачів. Обмінними називають катіони, які утримуються ґрунтом за рахунок електростатичних сил і можуть бути заміщені еквівалентною кількістю катіонів із розчинів нейтральних солей.

Залишок після виділення йонообмінних форм оброблюється 0,1 М розчином хлоридної (соляної) кислоти. Багато авторів розглядають цю форму як «рухливу», доступну для рослинності. Такий підхід обґрунтований експериментальними даними про можливість утворення в області рослинних корінців кислого середовища із pH 1-3. На цій основі було розроблено гранично допустимі концентрації (ГДК) для рухливих форм металів у ґрунтах.

Залишок після виділення доступних форм озоляють за температури $450 \pm 50\ ^{o}C$ та обробляють концентрованою нітратною (азотною) кислотою при нагріванні для виділення фіксованих форм важких металів. Фіксовані (консервативні) форми розглядаються як віддалений резерв водної міграції, вони надовго виводять важкі метали з активних обмінних і міграційних процесів.

Права частина схеми (рис. 3. 1) демонструє послідовне виділення форм знаходження важких металів, пов'язаних з органічними речовинами гумусового походження. Загальноприйнятою методикою є екстракція гумусових речовин із ґрунтів, торфів, річкових і морських опадів лужними розчинами з подальшим виділенням гумінових кислот коагуляцією в процесі підкислення лужних екстрактів. У фільтраті після виділення гумінових кислот утримуються численні речовини індивідуальної природи: карбонові кислоти, амінокислоти, вуглеводи, а також феноли, поліфеноли й фульвокислоти.

Залишок після виділення обробляють 0,1 М NaOH до знебарвлення рідкої фази. Екстракти поєднують і підкислюють хлоридною кислотою до pH 3. Гумінові кислоти відокремлюють від розчину фульвокислот. Осад гумінових кислот озолюють й обробляють концентрованою азотною кислотою під час нагрівання для переводу важких металів у розчин.

Залишок після виділення озолюють за температури $450 \pm 50\ ^{o}C$ та обробляють концентрованою нітратною кислотою під час нагрівання (рис. 3.1, права частина схеми).

Одержані фільтрати аналізують на вміст важких металів відповідно до методик визначення. У зошиті складається схема виділення форм знаходження важких металів у ґрунті.

Контрольні питання

1. Що таке «важкі метали»?
2. Навести етапи виділення форм знаходження важких металів у ґрунті.
3. У яких формах наявні важкі метали у водному середовищі?
4. Поясніть взаємозв'язок водорозчинної форми важких металів у ґрунті з рослинами.
5. Дайте визначення йонообмінної форми важких металів у ґрунті.
6. Від яких чинників залежить уміст важких металів у ґрунті?
7. Поясніть вплив гумусу на вміст важких металів у ґрунті.
8. Проаналізуйте етапи виділення форм важких металів у ґрунтах.

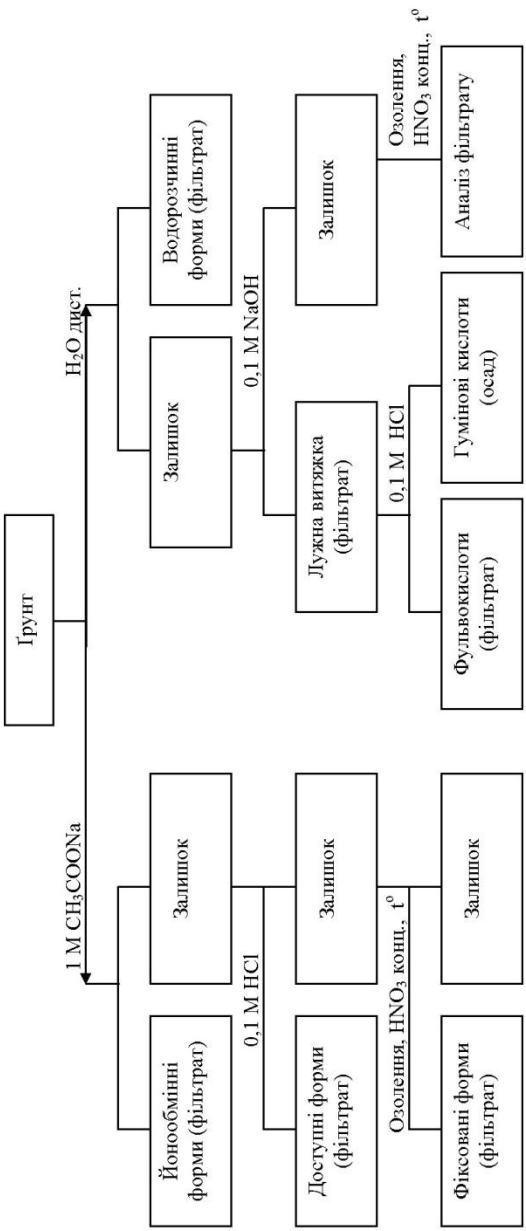


Рис. 3.1. Схема виділення форм знаходження важких металів у ґрунтах

ТЕМА 3.7. Визначення вмісту загального Феруму в ґрунті

Мета роботи: формування знань студентів щодо фотоколориметричного методу визначення вмісту Феруму в ґрунті.

Метод засновано на взаємодії йонів Феруму в лужному середовищі зі сульфосаліциловою кислотою з утворенням забарвленої у жовтий колір комплексної сполуки. Інтенсивність забарвлення, пропорційну масовій концентрації Феруму, вимірюють при довжині хвилі 400-430 нм. Діапазон вимірювання масової концентрації загального Феруму без розведення проби 0,10-2,00 мг/л. У цьому інтервалі сумарна похибка вимірювання з ймовірністю $P = 0,95$ перебуває в межах 0,01-0,03 мг/л.

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: амоній хлорид за ДСТ 3773; амоніак водний за ДСТ 3760, 25-відсотковий розчин; галуни залізоамонійні; хлоридна кислота за ДСТ 3118; сульфосаліцилова кислота за ДСТ 4478; вода дистильована (усі реактиви, використані для аналізу, повинні бути кваліфікації хімічно чисті (х. ч.) або чисті для аналізу (ч. д. а); аналітичні ваги; фотоколориметр будь-якого типу з фіолетовим світлофільтром (λ = 400-430 нм); кювети з товщиною робочого шару 2-5 см; мірні колби на 1 л, 50 мл; піпетки мірні без розподілів об'ємом 50 мл і піпетки мірні з ціною найменшої поділки 0,1-0,05 мл, об'ємом 1,5 і 10 мл 2-го класу за нормативно-технічною документацією.

Підготовка до аналізу

1. Приготування основного стандартного розчину залізоамонійних галунів.

0,8636 г залізоамонійних галунів $FeNH_4(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ зважують із похибкою, що не перевищує 0,0002 г за шкалою ваг, розчиняють у мірній колбі місткістю 1 л у невеликій кількості дистильованої води, додають 2,00 мл хлоридної кислоти густиною 1,19 г/см^3 і доводять до позначки дистильованою водою. 1 мл розчину містить 0,1 мг Феруму.

Термін та умови зберігання розчину – за ДСТ 4212.

2. Приготування робочого стандартного розчину залізоамонійних галунів.

Робочий розчин готують у день проведення аналізу розведенням основного розчину в 20 разів. 1 мл розчину містить 0,005 мг Феруму.

3. Приготування розчину сульфосаліцилової кислоти.

20 г сульфосаліцилової кислоти розчиняють у мірній колбі об'ємом 100 мл у невеликій кількості дистильованої води й доводять цією водою до позначки.

4. Приготування розчину амоній хлориду молярної концентрації 2 моль/л.

107 г NH_4Cl розчиняють у мірній колбі об'ємом 1 л у невеликій кількості дистильованої води й доводять цією водою до позначки.

5. Приготування розчину амоніаку (1:1).

До 100 мл 25-відсоткового розчину амоніаку доливають 100 мл дистильованої води й перемішують.

У мірну колбу об'ємом 100 мл наливають 2 мл робочого розчину, додають 1,00 мл амоній хлориду, 1,00 мл сульфосаліцилової кислоти, 1,00 мл розчину амоніаку (1:1), ретельно перемішуючи після додавання кожного реактиву. За індикаторним папірцем визначають значення pH розчину, яке має бути ≥ 9. Якщо pH < 9, то додають ще 1-2 краплі розчину амоніаку (1:1) і доводять розчин до pH ≥ 9.

Обсяг розчину в мірній колбі доводять до мітки дистильованою водою, залишають відстоятися на 5 хв. для розвитку забарвлення.

Вимірюють оптичну густину забарвлених розчинів, використовуючи фіолетовий світлофільтр (λ = 400-430 нм). Масову концентрацію загального феруму знаходять за калібрувальним графіком.

Для побудови калібрувального графіка в ряд мірних колб об'ємом 50 мл наливають 0,0; 1,0; 2,0; 5,0.10,0; 15,0; 20,0 мл робочого стандартного розчину, доводять до мітки дистильованою водою, перемішують та аналізують, як досліджувану воду. Одержують шкалу розчинів, що відповідають масовим концентраціям заліза 0,0; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 мг/л.

Будують калібрувальний графік, відкладаючи на осі абсцис масову концентрацію Феруму, та на осі ординат − відповідні значення оптичної густини.

Обробка результатів

Масову концентрацію феруму *(X)* в аналізованій пробі, мг/кг з урахуванням розведення обчислюють за формулою:

$$X = \frac{c \cdot 100}{V \cdot m},$$

де *c* – концентрація феруму, знайдена за калібрувальним графіком, мг/л;

V – об'єм фільтрату для аналізу, л;
m – маса наважки, г;
100 – об'єм, до якого розведено пробу, мл.
Результати записуються за формою в табл. 3.13.

Таблиця 3.13

Показники визначення вмісту загального феруму в ґрунті

Маркування зразка	Вага наважки	Об'єм фільтрату	Оптична густина	Концентрація Феруму в фільтраті, мг/дм^3	Загальний вміст Феруму в ґрунті, мг/кг

Контрольні питання

1. Сформулюйте принципи фотоколориметричного аналізу.
2. Опишіть етапи роботи з фотоколориметром.
3. Опишіть послідовність визначення загального феруму в ґрунті.
4. За якою формулою визначається масова концентрація Феруму в ґрунті?
5. Що таке оптична густина розчину?
6. Перелічіть основні види концентрацій розчиненої речовини.

Розділ 4

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

У життєдіяльності людини повітря є головною умовою існування. Без їжі людина може обходитись понад 4 тижні, без води – не більше 3-5 днів, а без повітря – не більше 5 хв. Окрім того, нормальна життєдіяльність людини потребує повітря відповідної чистоти, а перевищення допустимого рівня забруднень украй негативно впливає на її організм. Тому охорона атмосферного повітря є важливою складовою проблеми збереження й оздоровлення навколишнього природного середовища загалом.

Моніторинг у галузі охорони атмосферного повітря проводиться з метою одержання, збору, опрацювання та аналізу інформації щодо рівня забруднення атмосферного повітря, оцінювання та прогнозування його змін і ступеня небезпечності, розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень у галузі охорони атмосферного повітря.

Характер тимчасової та просторової зміни концентрацій шкідливих речовин – знання, потрібне для забезпечення необхідної чистоти атмосферного повітря. Основою для виявлення всіх факторів і закономірностей є спостереження за станом забруднення повітряного басейну. Від можливостей і якості спостережень, що проводяться, залежить ефективність усіх заходів з охорони повітря.

Необхідність організації системи спостережень за забрудненням повітряного басейну в містах та інших промислово розвинених населених пунктах зумовлена тим, що на локальному та регіональному рівнях ступінь забруднення атмосфери може перевищувати санітарно-гігієнічні нормативи.

Моніторинг атмосферного повітря є складовою частиною державної системи моніторингу довкілля України.

У процесі визначення хімічного складу повітря основним видом спостережень є відбір проб повітря на стаціонарних і маршрутних постах. Особлива увага приділяється основним джерелам забруднення – потужним промисловим підприємствам і т. д. При вивченні забруднення атмосферного повітря в містах і навколо окремих джерел велике значення мають відомості щодо характеру та умов викиду шкідливих речовин в атмосферу (холодний або гарячий викид, у якій формі знаходяться викинуті речовини та в якій концентрації).

Відбір проб повітря для визначення концентрації домішок має супроводжуватися спостереженнями за станом димового факела й наступними метеорологічними параметрами:

- швидкість і напрям вітру;
- температура й вологість повітря;
- атмосферні явища, стан погоди;
- тиск атмосферного повітря.

Роль атмосфери в природних процесах біосфери величезна. Атмосфера визначає загальний тепловий режим поверхні нашої планети, захищає її від шкідливого космічного та ультрафіолетового випромінювання. Циркуляція атмосфери впливає на місцеві кліматичні умови, а через них – на режим річок, ґрунтово-рослинний покрив та процеси рельєфоутворення.

Атмосфера – це суміш молекулярних і йонізованих газів, що знаходяться на різних висотах, між якими відбуваються численні реакції.

Основні складові атмосфери поділяються на три групи: постійні, змінні та випадкові.

До першої групи належать: кисень (21 % за об'ємом), азот (близько 78 %) і благородні гази (близько 1 %). До другої групи − вуглекислий газ (0,02-0,04 %) і водяна пара (до 3 %). До третьої групи − випадкові компоненти, визначені місцевими умовами.

Так, поблизу металургійних заводів повітря часто містить сульфур(IV) оксид, техногенні домішки важких металів; у місцях, де відбувається розпад органічних залишків − амоніак та інші газоподібні і рідкі речовини.

Джерел антропогенного характеру, що спричиняють забруднення атмосфери, а також серйозні порушення екологічної рівноваги, у біосфері безліч. Однак найважливішими з них є два: транспорт і важка індустрія.

Під час роботи двигунів у вихлопних газах містяться оксиди нітрогену, сполуки плюмбуму (кількість плюмбуму в повітрі перебуває в прямій залежності від інтенсивності руху і може досягати 4-12 мг/м^3). Під час роботи на сульфуровмісному паливі у вихлопах з'являється сульфур(IV) оксид. Як правило, уміст токсичних речовин у вихлопах бензинових і дизельних двигунів перевищує гранично допустимі концентрації в десятки й сотні разів.

Тисяча автомобілів із карбюраторними двигунами протягом доби викидає близько 3 т чадного газу, 100 кг оксидів нітрогену, 500 кг сполук неповного згоряння бензину. Під час спалення горючих копалин (вугілля, нафти, природного газу) значна частина сульфуру, що міститься в них, перетворюється на сульфур(IV) оксид.

Від індустрії до атмосфери потрапляють різні забруднювачі, найбільш розповсюджений – це сульфур(IV) оксид, оксиди карбону, амоніак, сірководень, фенол, хлор, вуглеводні, сірковуглець, флуоровмісні сполуки, сульфатна (сірчана) кислота, аерозольний пил, важкі метали, радіоактивні сполуки та викиди багатьох інших шкідливих речовин. Кислоти разом із дощем можуть впливати на ґрунт, рослинність та живі організми. Відомо, що в нейтральному середовищі значення pH = 7, а дощова вода у відносно чистому повітрі внаслідок впливу вуглекислоти має pH = 5,6. Окрім викидів хімічних забруднювачів, серйозними забруднювачами атмосфери є викиди великої кількості водяної пари, шум, електромагнітне випромінювання, теплове забруднення (викиди великої кількості нагрітого повітря).

Оцінювання стану повітряного середовища можна виконати, використовуючи як кліматичний моніторинг, так і моніторинг забруднень. До основних параметрів метеорологічних досліджень належать температура повітря (максимальна, мінімальна, добова, середньодобова); характеристики вітру (швидкість і напрям вітру); вологість повітря; атмосферні явища (види хмар, опади рідкі та тверді); стан поверхні в радіусі до 100 м від місця спостереження (трава зелена що або пожовтіла; ґрунт сухий, вологий, мокрий; сніг і т. д.).

Як правило, кліматичний моніторинг проводиться на метеомайданчику.

Частина параметрів визначається візуально, а для деяких із них потрібні спеціальні прилади: термометри; анемометри для визначення швидкості вітру; опадоміри; психрометри для визначення вологості повітря.

Моніторинг забруднень передбачає дослідження впливу атмосферних забруднень на організм людини, тварин і рослин; вивчення найважливіших причин, що призводять до скорочення чисельності та видового різноманіття тварин, рослин, захворюваності людини.

ТЕМА 4.1. Вимірювання швидкості й напряму вітру

Для визначення характеристик вітру застосовується вітромір ІС-20 або ручний анемометр МС-13. Напрям вітру визначається за допомогою флюгера або вимпела й компаса. Анемометр кріпиться на тринозі так, щоб його приймальна частина була розташована на висоті 2 м від поверхні землі.

Необхідно дотримуватися правил експлуатації анемометра, а саме: не чіпати руками чашки на хрестовині та не торкатися верхнього гвинта; стежити за правильністю відліку при переході від сотень до тисяч.

Методика експерименту

Обладнання: вітромір ІС; анемометр МС-13; компас; секундомір.

Анемометр умикають рівно на 10 хв. за секундоміром, початкові й кінцеві показники заносять у книжку спостережень, потім обчислюють різницю відліків, ділять на 600 с (при вмиканні анемометра на 10 хв.) і за графіком, або таблицею, яку наведено в паспорті до приладу, визначають швидкість вітру з похибкою до 0,1 м/с (при використанні таблиці ця точність забезпечується за допомогою інтерполяції).

Напрям вітру визначають протягом 1-2 хв. за 16 румбами, результат записують у градусах відповідно до табл. 4.1. У разі відсутності вітру в графі «Напрям» записують «штиль», у графі «Швидкість» − 0.

Таблиця 4.1

Переведення румбів напряму вітру в градуси

Румби	Градуси	Румби	Градуси
П	360	Пв	180
ППС	22	ПвПвЗ	202
ПС	45	ПвЗ	225
СПС	68	ЗПвЗ	248
С	90	З	270
СПвС	112	ЗПЗ	292
ПвС	135	ПЗ	295
ПвПвС	158	ППЗ	318

Результати визначень записують за формою у табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Показники вимірювання швидкості та напряму вітру

Дата	Швидкість, м/с	Напрям		Примітка
		румби	градуси	

Контрольні питання

1. Чому виникає необхідність визначення напряму та швидкості вітру?
2. Поясніть принцип роботи анемометра.
3. Окресліть етапи проведення роботи з визначення напряму вітру.
4. Поясніть визначення швидкості вітру за допомогою вітроміра.

ТЕМА 4.2. Вимірювання температури, вологості повітря та оцінювання стану погоди

Для вимірювання температури та вологості повітря використовують психрометр. При його експлуатації необхідно дотримуватись усіх правил, викладених в інструкції щодо експлуатації: психрометр підвішують на тринозі так, щоб резервуари були розташовані на висоті 1,5 м від поверхні землі горизонтально назустріч вітру; якщо неможливо визначити напрям вітру, то резервуари термометрів повинні бути звернені в бік, протилежний сонцю. Із приміщення психрометр виносять за 10-15 хв. до спостереження, узимку – за 30 хв. Резервуари термометрів не повинні розташовуватися поблизу стін будинків, парканів, дерев та ін. Батист на резервуарі змоченого термометра треба тримати в чистоті та міняти у міру забруднення не рідше одного разу на 10 днів.

Методика експерименту

Обладнання: термометр; психрометр МВ-4М.

Спостереження за психрометром проводять протягом 10 хв. у такий спосіб: за допомогою піпетки з дистильованою водою акуратно змочують батист змоченого термометра, стежачи за тим, щоб не зірвати пружину, майже до упору заводять аспіратор. Перші відмітки за термометрами (із похибкою до 0,1 ^{o}C) здійснюють за 4 хв. після заводу, за 5-6 хв. після початку аспірації необхідно знову завести аспіратор. Під час вимірювання спостерігач має перебувати з підвітряної сторони від термометра. Виконують 3 вимірювання за сухим та змоченим термометрами, вносять виправлення з перевірочного свідоцтва, що є додатками до кожного термометра. Отримані значення температури за психометричними таблицями використовують для розрахунку абсолютної та відносної вологості; значення атмосферного тиску використовують із бази даних спостережень міської метеостанції за найближчий термін.

Стан погоди оцінюють візуально за характерними ознаками, зазначеними в табл. 4.3, і записують у табл. 4.4.

Таблиця 4.3

Характеристика стану погоди

Шифр	Стан погоди, атмосферні явища	Ознаки
0	–	Атмосферних явищ за шифром від 1 до 9 немає.
1	Ясно	На небі немає хмар
2	Імла	Помутніння повітря за рахунок зважених часток пилу, диму, гарі, повітря має синюватий відтінок
3	Серпанок	Слабке помутніння атмосфери за рахунок перенасичення повітря вологою. Повітря здобуває сіруватий відтінок; видимість понад 1 км

Закінчення табл. 4.3

4	Дощ	Опади у вигляді рідких крапель
5	Мряка	Атмосферні опади у вигляді дрібних крапель, падіння їх майже непомітне для ока
6	Буря	Погіршення видимості на великій території через пил, піднятий сильним вітром
7	Сніг	Опади у вигляді крижаних кристалів
8	Туман	Помутніння атмосфери при горизонтальній видимості менше 1 км
9	Туман (або серпанок) з опадами	Помутніння атмосфери за рахунок туману (або серпанку) за наявності опадів

Таблиця 4.4

Параметри вимірювання щодо оцінювання стану погоди

Дата	Час виміру	Температура повітря, ^{0}C	Вологість повітря	Стан погоди	Примітка

Контрольні питання

1. Чому виникає необхідність щодо визначення температури та вологості повітря?
2. Опишіть принцип роботи психрометра.
3. Наведіть етапи проведення роботи з визначення вологості повітря.
4. Як визначають стан погоди?

ТЕМА 4.3. Гравіметричний метод визначення зважених часток пилу в атмосферному повітрі

Кількість пилу в повітрі визначають за збільшенням маси, отриманої після аспірації повітря через аерозольний фільтр.

Метод рекомендується для визначення разових та середньодобових концентрацій.

Діапазон вимірювальних концентрацій 0,1-10 мг/м^3 під час відбору зразка повітря близько 2 м^3.

Обладнання: фільтри ФПП-15; аспіратор М 822; аналітичні ваги; ексикатор.

Методика експерименту

Відбір проб проводиться всмоктуванням повітря через спеціальні фільтри з певною швидкістю, для чого прилад оснащено повітродувкою,

що створює негативний тиск, ротаметрами для вимірювання швидкості проходження повітря та обладнанням для регулювання швидкості і проходження повітря.

Повітря, проходячи крізь фільтри, залишає на них домішки, що втримуються в ньому. Знаючи швидкість і час проходження повітря, визначають об'єм повітря, що пройшло через цей фільтр. Визначивши кількість домішок, що затрималися на фільтрах, можна визначити кількість домішок, що втримуються в одиниці об'єму повітря.

Для визначення разової концентрації пилу досліджене повітря пропускають крізь фільтр АФА_ХП_18 зі швидкістю до 50 л/хв. або через фільтр (ФПП-15 або ФПД) площею до 36 дм^2 зі швидкістю до 100 л/хв. протягом 20 хв. за допомогою аспіратора М 822. Фільтр перед відбором зразка має бути доведено до постійної маси.

Після відбору проби фільтр не менше години витримують у приміщенні, де проводилося перше зважування, і доводять до постійної маси. Кількість пилу визначають як різницю маси фільтру після та до прокачування аналізованого повітря. Розрахунки результатів аналізу проводять за формулами:

$$C = \frac{m_2 - m_1}{V_o},$$

де C – разова концентрація зважених часток пилу, мг/м^3;

m_1 – маса фільтру без пилу, мг;

m_2 – маса фільтру з пилом, мг;

V_0 – об'єм прокачаного повітря, приведений до нормальних умов, м^3

$$Vo = \frac{T \cdot V \cdot P}{(273 + t) \cdot Po},$$

де T – температура за Кельвіном;

V – об'єм повітря, прокачаного через аспіратор, дм^3;

P – атмосферний тиск на момент відбору зразка, мм рт. ст.;

t – температура повітря під час відбору зразка, 0 ^{o}C;

P_o – тиск за нормальних умов (760 мм рт. ст.).

$$V = W \cdot \tau$$

де, W – швидкість відбору повітря, дм^3/хв.;

τ – час відбору проби.

Результати розрахунків записують у формі, поданій у табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Результати визначення пилу в атмосферному повітрі

Дата	Маса фільтру, мг		Час відбору, хв.	Швидкість відбору, $дм^3$/хв.	Об'єм прокачаного повітря, $м^3$	Температура повітря	Атмосферний тиск	Концентрація пилу, $мг/м^3$
	із пилом	без пилу						

Контрольні питання

1. У чому полягає суть гравіметричного методу визначення зважених часток?
2. Поясніть принцип роботи аспіратора.
3. Поясніть формулу, за якою виконують розрахунок концентрації зважених часток пилу.
4. Обґрунтуйте шкідливий вплив на людину надмірної концентрації зважених часток пилу в атмосферному повітрі.

ТЕМА 4.4. Визначення концентрації нітроген(IV) оксиду в атмосферному повітрі

Метод засновано на взаємодії нітроген(IV) оксиду та сульфанілової кислоти. Під час взаємодії відбувається забарвлення розчину від блідо-рожевого до червоного кольору. За інтенсивністю забарвлення розчину визначають концентрацію нітроген(IV) оксиду.

Чутливість визначення 0,1 мкг в аналізованому об'ємі проби. Діапазон можливих виміряних концентрацій складає 0,03-0,64 $мг/м^3$ при відборі зразка повітря об'ємом 5 л.

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: поглинач МНІІГ ім. Ф. Ф. Ерисмана; аспіратор М 822; фотоколориметр будь-якого типу з фіолетовим світлофільтром (λ = 540 нм); калій йодид; натрій нітрат; оцтова кислота.

1. Поглинальний розчин готують за схемою: 40 г йодистого калію розчиняють в 500 мл води. Одержаний розчин безбарвний і повинен зберігатися в темній склянці.

2. Натрій сульфіт, 0,06-відсотковий розчин готують за схемою: 0,03 г реактиву розчиняють в 50 мл води; розчин готують безпосередньо перед аналізом.

3. Оцтова кислота, 12-відсотковий розчин готують за схемою: 64 мл концентрованої кислоти наливають у мірний посуд на 500 мл і доводять дистильованою водою до позначки.

4. Сульфанілова кислота готується за такою схемою: 0,5 г сульфанілової кислоти розчиняють в 150 мл 12-відсоткового розчину оцтової кислоти; зберігають у темній склянці.

5. α-нафтиламін готують за схемою: 0,2 г α-нафтиламіну розчиняють в 20 мл води при нагріванні до утворення лілових крапель на дні колби. Розчин обережно вливають в розчин 150 мл 12-відсоткового розчину оцтової кислоти.

6. Реактив Грисса-Ілосвая: перед аналізом змішують розчини α-нафтиламіну та сульфанілової кислоти у співвідношенні 1:1.

7. Вихідний стандартний розчин: 0,15 г натрій нітрату розтирають у ступці і розчиняють у мірній колбі на 100 мл. 1 мл розчину відповідає 1000 мкг NO_2.

8. Розчин, 1 мл якого містить 10 мкг NO_2, готують розведенням вихідного стандартного розчину поглинальним розчином у 100 разів.

9. Робочий стандартний розчин готують 10-разовим розбавлянням розчину, що містить 10 мкг/мл NO_2. 1 мл робочого розчину відповідає 1 мкг NO_2.

10. Вода дистильована за Держстандартом 6709.

Усі реактиви, використані для аналізу, повинні бути хімічно чисті (х. ч.) або чисті для аналізу (ч. д. а.).

Для визначення разової концентрації нітроген(IV) оксиду дослідне повітря прокачують через U-подібний поглинальний прилад, наповнений 6 мл поглинального розчину, зі швидкістю 0,25 л/хв. протягом 20 хв. Під час відбору проби уникають освітлення поглинального приладу сонячними променями.

Для аналізу відібраних проб беруть 5 мл розчину з поглинального приладу, переносять у пробірку і додають по 0,5 мл складного реактиву. Уміст пробірок ретельно струшують і за 20 хв. (безпосередньо перед вимірюванням) у пробірки доливають по 5 крапель 0,06-відсоткового розчину натрій сульфіту та ще раз струшують.

Вимірюють оптичну густину розчинів у кюветах товщиною 10 мм на довжини хвилі 540 Нм на КФК відносно води. Одночасно в аналізованій

пробі проводять вимірювання оптичної густини нульової проби, для цього 5 мл поглинального розчину аналізують аналогічно до проб.

Кількість нітроген(IV) оксиду в пробах знаходять за графіком за різницею результатів вимірювання оптичної густини розчинів проб і нульової проби.

Побудова калібрувального графіка. Для побудови калібрувального графіка виготовляють серію стандартних розчинів у мірних колбах ємністю 50 мл відповідно до табл. 4.4. Для одержання шкали стандартів відбирають у пробірки по 5 мл кожного стандартного розчину та проводять усі операції згідно з ходом аналізу. Калібрувальний графік будують за середніми значеннями, обчисленими за результатами вимірювань.

Таблиця 4.6

Розчини для готування шкали стандартів для визначення нітроген(IV) оксиду

Розчин	Номер стандартного розчину						
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Робочий стандартний розчин (1 кг/мл), мл	1	2	4	6	8	10	20
Поглинальний розчин, мл	до 50 мл у кожну колбу						
Відповідає вмісту нітроген(IV) оксиду в 5 мл стандартного розчину, мкг	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	2,0

Розрахунки результатів аналізу проводяться за формулою:

$$C = \frac{C_1 \cdot V_1}{V_2 \cdot V_0},$$

де C – разова концентрація нітроген(IV) оксиду, мг/м^3;
C_1 – концентрація за графіком, мг/мл;
V_1 – об'єм поглинаючого розчину, мл;
V_2 – об'єм поглинаючого розчину, отриманого для аналізу, мл;
V_0 – об'єм прокачаного повітря, приведеного до нормальних умов, м^3

$$V_o = \frac{T \cdot V \cdot P}{(273 + t) \cdot P_o},$$

де T – 0 ^{0}C за Кельвіном;
V – об'єм повітря, прокачаного через аспіратор, дм^3;
P – атмосферний тиск під час відбору зразка, мм рт. ст.;
t – температура повітря під час відбору зразка, 0 ^{0}C;
P_0 – тиск за нормальних умов, (760 мм рт. ст.).

$$V = W \cdot \tau$$

де, W – швидкість відбору повітря, дм^3/хв.;
τ – час відбору проби.

Результати розрахунків заносяться до табл. 4.7.

Таблиця 4.7

Параметри визначення нітроген(IV) оксиду в атмосферному повітрі

Дата	V_1, мл	V_2, мл	τ, хв.	W, дм^3/хв.	V, дм^3	t, 0 ^{0}C	P, мм рт. ст.	C_1, мг/мл	C, мг/м^3

Контрольні питання

1. У чому полягає суть визначення нітроген(IV) оксиду в атмосферному повітрі?
2. Яким умовам мають відповідати реактиви, що використовують для аналізу?
3. Поясніть формулу, за якою виконують розрахунок концентрації нітроген(IV) оксиду.
4. Охарактеризуйте джерела надходження нітроген(IV) оксиду в атмосферне повітря.

ТЕМА 4.5. Визначення запиленості повітря

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: терези аналітичні; фільтрувальний папір (синя стрічка); аркуші паперу А4; ножиці.

Запиленість повітря визначають шляхом збору листків із дерев поблизу й у віддаленні від дороги. З однакової листової поверхні змивають пил, фільтрують і зважують масу осаду після висушування.

Одержаний результат дає кількість пилу. Відразу після змиву пилу розраховують кількість обмитих листків ($П_1$), зривають 5 листочків, краще різних за розміром, протирають їх від води й обводять кожний лист на папері. Потім вирізають за контуром і зважують вирізані проекції листа ($М_1$). Із того ж паперу вирізають квадрат 10 х 10 см і зважують його ($М_2$). Розраховують поверхню обмитого листя за формулою:

$$S = \frac{M_1 \cdot П_1}{5 \cdot M_2}.$$

Після цього можна визначити, скільки пилу осаджується на 1 $м^2$ поверхні листя. Знаючи точний час накопичення пилу (від моменту останнього дощу до досліджень), можна підрахувати швидкість осадження пилу за добу.

ТЕМА 4.6. Експрес-метод визначення концентрації вуглекислого газу

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: шприц на 100 мл; 0,005-відсотковий розчин натрій карбонату; розчин фенолфталеїну.

У шприц об'ємом 100 мл набирають 20 мл 0,005-відсоткового розчину соди з фенолфталеїном, який має рожеве забарвлення, потім набирають 80 мл повітря та струшують протягом 1 хв. Якщо забарвлення не зникає, повітря зі шприца обережно виводять, залишаючи в ньому розчин, набирають нову порцію повітря і знову струшують протягом 1 хв. Цю операцію повторюють 3-4 рази, після чого додають повітря невеликими порціями 10-20 мл, кожного разу необхідно струшувати шприц протягом 1 хв., доки забарвлення розчину не зникне. Підрахувавши загальний об'єм повітря, яке пройшло через шприц, визначають концентрацію CO_2 у повітрі за табл. 4.8.

Таблиця 4.8

Залежність умісту CO_2 від об'єму повітря, яке знебарвлює 20 мл 0,005-відсоткового Na_2CO_3

Об'єм повітря, мл	Концентрація CO_2, %	Об'єм повітря, мл	Концентрація CO_2, %	Об'єм повітря, мл	Концентрація CO_2, %
80	3,20	330	1,16	410	0,84
160	2,08	340	1,12	420	0,80
200	1,82	350	1,08	430	0,76
240	1,56	360	1,04	440	0,70
260	1,44	370	1,00	450	0,66
280	1,36	380	0,96	460	0,60
300	1,28	390	0,92	470	0,56
320	1,20	400	0,88	480	0,52

Контрольні питання

1. Опишіть основні складові атмосфери.
2. Охарактеризуйте основні джерела забруднення атмосфери у великих містах.

3. Охарактеризуйте основні забруднювачі, які потрапляють до атмосфери під час роботи автотранспорту.
4. Чим зумовлена небезпека забруднення навколишнього середовища пилом?
5. Опишіть сутність визначення запиленості повітря.
6. *Обґрунтуйте небезпеку подвоєння сучасної кількості кисню в атмосфері Землі.
7. *У яку погоду забруднення повітря в містах особливо небезпечне?
8. *Чим пояснюється наукове передбачення тієї обставини, що концентрація озону в стратосфері зменшуватиметься ще кілька десятиріч, хоча розвинені країни припиняють застосування фреонів та інших хлорних сполук?

Розділ 5

ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДУ ЗОЛИ РОСЛИН ТА МЕТОДИ БІОІНДИКАЦІЇ

Золою називається залишок, який одержують після спалення та прожарювання органічного матеріалу. Зола рослин містить у своєму складі практично всі елементи (за винятком Нітрогену, який випаровується у вигляді оксидів під час прожарювання). Для аналізу заздалегідь висушені рослини прожарюють, золу розчиняють у відповідному розчиннику, розбавляють водою, за необхідністю нейтралізують і фільтрують, після чого проводять якісний або кількісний аналіз. Аналіз починають із найбільш простих якісних визначень (Ca^{2+} Fe^{2+}, Fe^{3+}, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}) солянокислого витягу.

Індикація – це кількісне та якісне визначення хімічних речовин в об'єктах навколишнього середовища, в організмах людей і тварин.

Серед різних методик одне з провідних місць посідає біоіндикація факторів зовнішнього середовища, яка ґрунтується на врахуванні морфологічних змін живих організмів відповідно до умов розвитку. Цей метод набув значного поширення через ряд переваг живих індикаторів.

Біоіндикатори – організми, присутність, кількість та особливості розвитку яких є показниками природничих процесів, умов або антропогенних змін середовища існування. Біоіндикатори сумують усі без винятку біологічно важливі дані про навколишнє середовище і відображають його стан загалом; показують швидкість перебігу змін у природному середовищі; указують шляхи та місця накопичення в екологічних системах різного роду забруднень і можливі шляхи переміщення останніх ланцюгами живлення.

Під *біоіндикацією* розуміють комплекс специфічних реакцій живого організму або біологічного елемента на дію визначеної речовини, причому ці реакції можна реєструвати і за цими результатами давати оцінку наявності забруднювача та його концентрації. Методи біоіндикації не нові. Ще в минулому столітті шахтарі брали з собою до шахти канарок для визначення грумучого газу. Приклади використання методів біоіндикації можна знайти на будь-якому етапі розвитку людства та в різноманітних видах діяльності людей: у полюванні, для визначення перспективних місць рибальства, прогнозу стихійних лих, під час пошуку корисних копалин та ін. Біоіндикацію перспективних районів

ловлі риби здійснюють спеціальні судна, які орієнтуються у своїй діяльності на кількість та склад планктону. У цьому випадку планктон відіграє роль позитивного стресора та біоіндикатора, стан якого визначає можливі запаси риби у визначеному районі.

Використання з метою визначення стану довкілля живих організмів (рослин, тварин, мікроорганізмів, грибів, лишайників) пов'язане з тим, що деякі з них дуже чутливі до різних факторів середовища існування (до кліматичних та погодних умов, хімічного складу повітря, ґрунтів, води). Унаслідок своєї видової толерантності (здатності організму переносити несприятливий вплив того або іншого фактору середовища «екологічної витривалості») живі організми можуть існувати тільки в окремих межах (діапазонах) дії факторів. Так, склад планктону у водоймах, з одного боку, свідчить про ступінь сприятливості умов існування, а з іншого – характеризує локальні (імпактні) умови існування. Лишайники та хвойні дерева можуть визначати чистоту повітря і наявність промислових забруднень. Видовий склад нижчих рослин і тварин, які мешкають у ґрунтах, є специфічним для різних ґрунтових комплексів, і тому якісні та кількісні зміни цих видів можуть визначати забруднення ґрунтів хімічними речовинами або зміни ґрунтів під впливом господарської діяльності.

Найширше біоіндикація використовується для оцінки ступеня та характеру забруднення поверхневих вод, які використовують для питного водопостачання та з господарською метою, а також для біотестування стічних вод різного ступеня очищення з метою оцінювання роботи очисних споруд.

Характерними морфологічними порушеннями в рослин, які відчувають великий температурний або хімічний стрес, є відмирання органічних ділянок тканини – різні типи некрозів (рис. 5.1). Найбільш часто некрози спостерігають у дерев, які ростуть у промислових містах на вулицях, де зимою посипають солями (наприклад, NaCl). Додатковий розвиток некрозів викликають вихлопи автомобілів. За деякий час появи хлорозів і некрозів у більшості випадків спостерігається дефоліація (скидання листя).

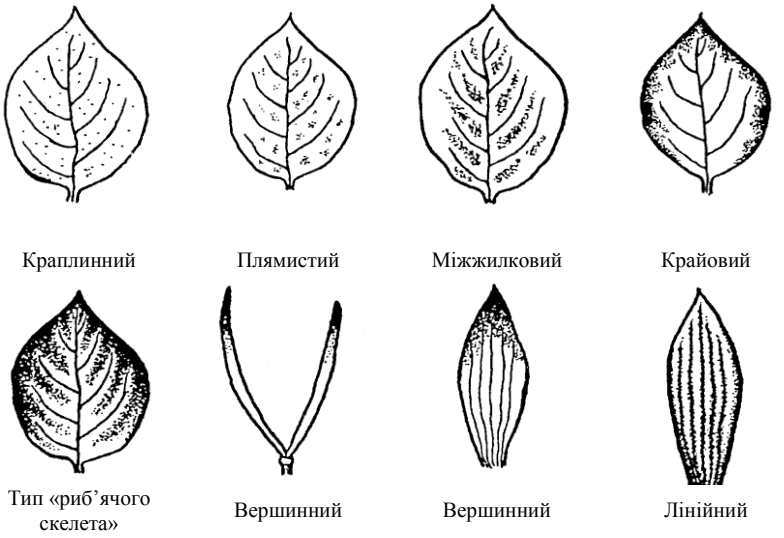


Рис. 5.1. Форми некрозів листя двосім'ядольних та односім'ядольних рослин та на хвої

Значний вплив на рослини чинить радіоактивне випромінювання. У цьому випадку крім багаточисельних появ некрозів з'являються виродливі скривлення та здуття пагінців і листів, зміни числа частин квіток, зміна статі, а іноді відбувається загибель рослин.

Одним із найрозповсюдженіших систем контролю за забрудненнями, де використовуються живі організми, є метод визначення БПК (біологічна потреба кисню). За цим методом фіксують метаболічну активність мікроорганізмів, які окиснюють речовини, що містяться в пробі води. Чим забрудненіша вода, тим у більших кількостях потрібний кисень мікроорганізмам. Саме для швидкого визначення БПК води було розроблено перші біосенсори. *Біосенсор* − це аналітичний пристрій, головною частиною якого є чутливий електрод, який містить ферменти або мікроорганізми між напівпроникними мембранами. Завдання останніх – відреагувати на появу в зоні електроду забруднювача, причому ця реакція, як правило, специфічна. Ферменти, групи клітин або мікроби «пізнають» тільки комплементарний їм хімічний агент. Далі електрод перетворює цю реакцію-відповідь на електричний сигнал, який повинен бути інтерпретований дослідником.

Реакції, які здійснюють біокаталізатори, проходять із великими швидкостями, і тому ферменти в біосенсорах дозволяють робити аналіз

практично миттєво, що є дуже цінною характеристикою для екологічного контролю.

У найближчому майбутньому біосенсори знайдуть широке використання саме в галузі аналізу стану довкілля. Уже зараз їх використовують для виявлення таких токсикантів, як поліхлородифеніли, похідні ДДТ, ароматичні вуглеводні та ін. У деяких випадках біосенсори використовують для оцінювання якості продуктів харчування. Так, у Канаді та Японії виробляють рибні напівфабрикати, на упаковці яких показана біосенсорна оцінка вмісту в рибі ксантинів, проміжних продуктів обміну нуклеїнових кислот, які підлягають виведенню з організму.

На думку американського еколога Ю. Одума (1975 р.), вибираючи біоіндикатор, необхідно враховувати такі положення:

1. Стенотопні види (тобто види, пристосовані до існування в суворо визначених умовах), більш рідкісні в угрупованнях, як правило, є кращими індикаторами, на відміну від евритопних видів (широко розповсюджені, мають широкий діапазон екологічної витривалості).

2. Під час спостережень протягом тривалого часу крупні види є кращими індикаторами, ніж дрібні, тому що швидкість обігу останніх у біоценозах вища і вони можуть не потрапити в пробу на момент дослідів.

3. При виділенні виду (або групи видів), які використовують як індикатор дії будь-якого фактору, необхідно мати польові та експериментальні дані про лімітні значення цього фактору, враховуючи можливі компенсаторні реакції організму та толерантність виду (групи видів).

4. Чисельне співвідношення різних видів (популяцій або угруповань) є найбільш надійним та найкращим індикатором, ніж чисельність одного виду («ціле краще, ніж частина», відображує загальну суму умов).

При активних методах спостережень за станом довкілля види-індикатори можуть укорінюватися в екосистему штучно. Спостереження за організмами-індикаторами в екосистемах, як правило, мають пасивний характер і називаються пасивним моніторингом.

У ряді випадків розрізняють накопичувальні та чутливі індикатори. Накопичувальні індикатори концентрують забруднювальні речовини у своїх тканинах, окремих органах та частинах тіла, які потім використовують для визначення ступеня забруднення довкілля за допомогою хімічного аналізу. Моніторинг із використанням подібних біоіндикаторів потребує складного та дорогого обладнання, трудомістких методик і під силу тільки спеціалізованим лабораторіям. Прикладом подібних індикаторів можуть служити хітинові панцирі ракоподібних личинок комах, які мешкають у воді, мозок, нирки, селезінка, печінка ссавців, черепашки молюсків, мохи.

Чутливі біоіндикатори реагують на зміни стану довкілля зміною чисельності, фенотипу, пошкодженням тканин, соматичними проявами (у тому числі виродженням), зміною швидкості росту та іншими добре помітними (візуально або за допомогою простіших оптичних приладів) ознаками. Прикладами чутливих біоіндикаторів є лишайники, хвоя дерев (її хлороз, некроз) та інші зміни. Проте за допомогою чутливих біоіндикаторів не завжди можливо встановити причини змін, тобто чинників, які визначають чисельність, зовнішній вигляд або форму біоіндикатора. Це є однією з основних вад біоіндикації, оскільки ефект, що спостерігається, може породжуватися різними причинами або їх комплексом. Треба відзначити, що різниця між чутливими та накопичувальними біоіндикаторами недостатньо чітка, тому що при тривалому впливі шкідливих факторів, поряд із зовнішніми (що визначаються візуально) змінами, можуть проявлятись морфологічні (до патологічних) зміни у тканинах і генетичні наслідки, які дослідник під час короткочасних спостережень може не зафіксувати.

Біоіндикацію середовищ (ґрунту, повітря, води) найдоцільніше використовувати разом з інструментальним контролем стану навколишнього природного середовища, який застосовується при імпактному або локальному моніторингу джерел (об'єктів) забруднення. У цьому випадку живі організми-біоіндикатори можуть бути «біосенсорами» забруднення екосистем, які дають змогу з'ясувати, з одного боку, масштаби та закономірності накопичення забруднювальних речовин у живих організмах, а з іншого – виявити потенційні джерела потрапляння забруднювальних речовин до вищих ланок харчових ланцюгів.

У результаті глобального та регіонального антропогенного забруднення з повітрям і водою, а також при скиді та похованні відходів до ґрунту надходить підвищена кількість речовин, що містять катіони металів. Це призводить до збільшення їх надходження до організму рослин та накопичення в органах і тканинах. Підвищена кількість мікроелементів і сполук важких металів викликає порушення метаболізму окисних процесів тканин рослин і відповідні ознаки надмірного (аж до токсичного) вмісту в тканинах та загибелі рослин. За умов різкої нестачі чи надлишку одного чи кількох хімічних елементів виникають адаптовані або неадаптовані форми рослин. В адаптованих рослин надлишок хімічних елементів або виводиться з організму, або концентрується ньому. В останньому випадку порушується нормальний обмін речовин, і виникають нові фізіологічні або анатомічно-морфологічні стійкі форми, з яких поступово відособлюються ендемічні різновиди.

Наукові основи фітоіндикації під час пошуку корисних копалин ґрунтуються на дослідженні геоботанічних аномалій на бруньках, які вказують на поклади нафти, природного газу, рудних тіл, мінералів.

Поява будь-яких відхилень у морфології або аномалії рослин не може бути єдиним критерієм біоіндикації. Поширення організмів у

природі залежить не тільки від наявності необхідних речовин, співвідношення та стану критичних фізичних факторів, а також від діапазону толерантності (стійкості) самих організмів до цих чи інших компонентів середовища. Знаючи цей діапазон, можна оцінювати ґрунти та фізичні умови відповідно до видового складу біоценозу.

Табл. 5.1 містить приклади ознак надмірного вмісту мікроелементів у ґрунті.

Таблиця 5.1

Ознаки надмірного вмісту мікроелементів у ґрунті

Мікроелемент	Ознаки
1	**2**
Цинк	Тканина некротична, хлороз листя, молоде листя жовтіє, вершинні бруньки відмирають, старе листя може опадати без в'янення, жилки забарвлюються в червоні або чорні кольори (на ранніх стадіях пошкодження схожі з нестачею заліза). Перші ознаки з'являються на молодих рослинах, при цьому пошкоджується вся рослина
Манган	Перші ознаки з'являються на молодих рослинах, пошкодження місцеві. Тканина некротична, хлороз розвивається між жилками молодих листків, перетворюючи їх на жовті або білуваті з темно-коричневими або майже білими некротичними плямами, листя скривляється та зморщується (у цьому основна відмінність від голодування)
Ферум	Тканина не є некротичною. Хлороз розвивається між жилками молодих листків, жилки залишаються зеленими, пізніше весь лист стає жовтим або білуватим, що схоже з голодуванням
Купрум	Хлороз молодого листя, жилки залишаються зеленими
Фосфор	Перші ознаки з'являються на дорослих рослинах, пошкоджується вся рослина. Тканина некротична, загальне пожовтіння листя; жовтуваті або коричневі кінці та краї старого листя; поява яскравих некротичних плям; опадання листя, у деяких рослин схоже з калійним голодуванням, в інших – із надлишком Нітрогену
Магній	Листя трохи темніє та зменшується; іноді спостерігається згортання та морщення молодого листя, на пізніх стадіях росту кінці його втягнуті та відмирають, особливо при ясній погоді
Калій	Тканина не є некротичною. На ранніх стадіях – слабкий ріст рослин, світло-зелене забарвлення листя; на пізніх стадіях ріст сповільнюється, на листі з'являються плями, листя в'яне та опадає
Сульфур	Загальне огрубіння рослин; листя маленьке, тьмяно-зелене, стебла тверді, пізніше листя згортається всередину та покривається наростами, краї його стають коричневими, потім блідо-жовтими
Хлор	Загальне огрубіння рослин; листя маленьке, тьмяно-зелене, стебла тверді, у деяких рослин на старих листках з'являються пурпурно-коричневі плями, що призводить до їх опадання
Нітроген амонійний або нітратний	Пошкодження місцеві. Тканини некротичні; хлороз розвивається на краях листків та розповсюджується між жилками, з'являється коричневий некроз, кінці листків згортаються, потім листя опадає (пошкодження в багатьох рослин схоже з голодуванням)

Закінчення табл. 5.1

Кальцій	Хлороз розвивається між жилками з білуватими та некротичними плямами, які можуть бути забарвлені або мати наповнені водою концентричні кільця; у деяких рослин відбувається ріст листових розеток, відмирання паростків та опадання листя (за пошкодженням схожі на нестачу Магнію та Феруму)
Бор	Хлороз кінців та країв листя, який розповсюджується всередину, особливо між жилками, доки весь лист не стане блідо-жовтим або білуватим; опіки країв листків та некроз із загортанням країв, опадання листя
Кобальт	У деяких рослин уздовж основних зелених жилок з'являються прозорі, наповнені водою ділянки; між жилками розвивається також некроз; пізніше листя стають коричневими та опадають

Контрольні питання

1. Що таке індикація та біоіндикація? Наведіть приклади використання методів біоіндикації.
2. За допомогою яких ознак у рослинах можна визначити забруднення довкілля?
3. Які положення варто враховувати під час вибору біоіндикаторів?
4. Наведіть приклади ознак надмірного вмісту мікроелементів.
5. Наведіть приклади накопичувальних та чутливих біоіндикаторів.

ТЕМА 5.1. Якісне визначення деяких аналітичних показників золи рослин

Обладнання: фарфорові чашки, часове скло; мірні циліндри або мензурки на 10 мл; штатив із пробірками; бюретка для титрування; колби на 100 мл; мірні колби на 100 мл; електроплитка; фільтрувальний папір; лійки; спиртівка.

Приготування зольних розчинів

Розчин № 1. Зважити 1 г золи у фарфоровій чашці, змочити її декількома краплями дистильованої води та розчинити в 4-5 мл 25-відсоткового розчину соляної кислоти. Уміст кількісно перенести в мірну колбу на 100 мл, довести об'єм до позначки дистильованою водою та ретельно перемішати.

Розчин № 2. 10 мл розчину № 1 перенести в іншу мірну колбу на 100 мл, додати 2-3 краплі фенолфталеїну і нейтралізувати 1-відсотковим розчином амоніаку до ясно-рожевого забарвлення, після чого вміст колби довести до позначки водою та ретельно перемішати.

Визначення Сульфуру

Реактиви: розчин № 1; 10-відсотковий розчин барій хлориду.

5 мл розчину № 1 перенести у пробірку, нагріти до кипіння та додати 3-4 мл 10-відсоткового розчину хлориду барію. Випадання білого осаду барій сульфату означає, що у складі рослини міститься Сульфур.

Визначення Феруму

Реактиви: розчин № 1; 10-відсотковий розчин калій або амоній роданіду.

3-4 мл розчину № 1 перенести в пробірку та додати 4-5 крапель 10-відсоткового розчину калій або амоній роданіду. Поява рожевого забарвлення вказує на те, що в золі рослин міститься Ферум.

Визначення Кальцію

Реактиви: розчин № 1; насичений розчин амоній оксалату.

3-5 мл розчину № 1 перенести в пробірку, нагріти, додати 2-3 мл насиченого розчину щавлевокислого амонію (амоній оксалату) і знову нагріти. Випадання білого осаду кальцій оксалату свідчить про вміст Кальцію.

Визначення Калію

Калій у розчині золи можна виявити за характерним забарвленням полум'я. Для сполук Калію характерне фіолетове забарвлення полум'я пальника. Дивитися краще через синє скло.

Визначення лужності золи

Реактиви: 0,05 М розчин сульфатної (сірчаної) кислоти; 0,1 М розчин натрій гідроксиду; розчин лакмусу.

Лужністю золи називається число мл 1 н розчину кислоти, яка витрачається на нейтралізацію 1 г золи. Зола має лужну реакцію завдяки великому вмісту вуглекислих солей Калію і Натрію.

1 г золи поміщують у термостійку склянку, додають точно відміряну кількість стандартного розчину 0,05 М сульфатної (сірчаної) кислоти і нагрівають протягом 5 хв. для розкладання вуглекислих

солей. Уміст склянки обережно перемішують, і надлишок кислоти титрують 0,1 М розчином лугу з додаванням універсального індикатора.

Розрахунок величини лужності проводять за формулою:

$$Л = (V - V_1) / 10,$$

де Л − лужність золи, мл;

V − об'єм 0,05 М розчину H_25O_4, мл;

V_1 − об'єм 0,1 М розчину лугу, який пішов на титрування надлишку кислоти, мл.

Іноді лужність виражають у мл 1 н кислоти на 100 г взятої наважки.

Визначення Силіцію

Реактиви: розчин концентрованої хлоридної (соляної) кислоти; розчин нітратної (азотної) кислоти.

1 г золи вмістити у фарфорову чашку, додати по 25 мл концентрованих розчинів соляної та азотної кислот. Уміст ретельно перемішати, чашку накрити часовим склом і нагрівати на водяній бані протягом години. Потім скло зняти і вміст чашки повністю випарити. Залишок просушити у шафі за температури 105-120 °С, розчинити в киплячій воді, яка підкислена соляною кислотою; відфільтровувати через щільний фільтр. За кількістю осаду на фільтрі, що складається з SiO_2; судять про вміст Силіцію в рослинах.

Визначення Нітрогену

Реактиви: сухий реактив на нітрат (див. нижче); буферний розчин (див. нижче); розчин дифеніламіну; реактив Несслера.

Визначення Нітрогену краще проводити безпосередньо на зрізі.

1. Сухий реактив на нітрат помістити в заглиблення фарфорової пластинки, додати 3 краплі буферного розчину та краплю соку рослини, яка досліджується. Поява рожевого забарвлення різної інтенсивності свідчить про наявність нітрат- і нітрит-йонів у соку.
2. Свіжовиготовлений поперечний зріз рослини покласти на предметне скло і додати 1 краплю розчину дифеніламіну. За інтенсивністю синього забарвлення, яке з'являється, роблять висновки про кількість нітратного і нітритного Нітрогену.
3. До краплі соку рослини додати 1 краплю реактиву Несслера. Поява забарвлення (від жовтого до оранжевого) вказує на наявність у соку амоніачного Нітрогену.

Приготування реактивів

1. Сухий реактив на нітрат: 1,0 г $MnSO_4$, 0,2 г α-нафтіламіну змішати з 0,2 г цинкового пилу і 0,4 *г* сульфанілової кислоти, додати 10 г барій сульфату і 7,5 г лимонної кислоти. Усе ретельно перемішати.

2. Буферний розчин: до 1,0 мл концентрованої оцтової кислоти і 3 г натрій ацетату додати 90 мл дистильованої води, перемішати.

Визначення Фосфору

Реактиви: розчин № 2; амоній молібдат; конц. сульфатна (сірчана) кислоти; 1-відсотковій розчин станум(II) хлориду.

5 мл зольного розчину № 2 перенести в пробірку, додати 5 мл сірчанокислого розчину молібденовокислого амонію і 5 крапель 1-відсоткового розчину станум(II) хлориду. Уміст пробірки збовтати протягом 1 хв. Синє забарвлення розчину свідчить про наявність фосфат-йонів.

Приготування реактивів

1. Сірчанокислий розчин молібденовокислого амонію: 2,5 г амоній молібдату розчинити в 20 мл дистильованої води. В іншій колбі змішати 52 мл води і 28 мл концентрованої сульфатної кислоти. Після охолоджування розчини злити в мірну колбу на 100 мл, довести загальний об'єм дистильованою водою до позначки. Зберігати у склянці з темного скла з притертою пробкою.

2. 1-відсотковий розчин станум(II) хлориду: 0,12 г $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ розчинити в 10 мл 10-відсоткового розчину соляної кислоти, підігріваючи на водяній бані (готувати в день проведення аналізу).

Визначення Плюмбуму

Реактиви: 0,2-відсотковий розчин натрій родізонату; буферний розчин (див. нижче).

Багато рослин містять Плюмбум у вигляді сполук, які погано переходять у водний витяг. Солянокислі зольні витяги також не придатні для визначення Плюмбуму, оскільки плюмбум хлорид є малорозчинною сполукою і в солянокислий розчин практично не переходить. Тому для проведення якісного аналізу готують азотнокислий витяг: зольний залишок 5-10 г рослинної продукції розчиняють у нітратній кислоті,

нейтралізують розчином амоніаку та проводять аналіз із натрій родізонатом. Для цього 1 краплю розчину, що досліджується, поміщають на фільтрувальний папір, додають краплю свіжо-приготовленого 0,2-відсотковий розчину натрій родізонату. За наявності йонів Плюмбуму утворюється синя пляма або кільце. Під час додавання 1 краплі буферного розчину, у 10 мл якого міститься 0,19 г натрій гідрогентартрату та 0,15 г винної кислоти і який має pH = 2,8, синій колір перетворюється на червоний. Реакція дуже чутлива: мінімум, що відкривається 0,1 мкг.

Основним джерелом забруднення навколишнього середовища Плюмбумом є автомобільний транспорт: разом із вихлопними газами від автомобіля Плюмбум, що утворюється під час згоряння етильованого бензину, потрапляє в атмосферу. Залежно від інтенсивності руху небезпечна зона уздовж автомагістралей може тягнутися від 10 до 500 м. У межах цієї зони спостерігається підвищений уміст Плюмбуму в об'єктах навколишнього середовища, наприклад у рослинах. За допомогою нескладних дослідів можна побачити, що кількість Плюмбуму зменшується зі збільшенням віддаленості від дороги. Для цього необхідно зібрати близько 100 г рослинної проби на відстані 2, 10, 50, 100 м від автомобільної магістралі, подрібнити, додати певну кількість суміші етилового спирту та води (50 мл) і кип'ятити або випарювати екстракт для того, щоб Плюмбум перейшов у розчин. До екстрактів, що вивчаються, по краплях додавати розчин натрій сульфіду, унаслідок чого випадає чорний осад плюмбум сульфіду різної інтенсивності: чим ближче до дороги, тим осаду більше.

Йони Плюмбуму дають характерне забарвлення і з багатьма іншими реактивами: хроматами, дихроматами, йодидами, дитізоном, n-тетраметил-диамінодифенілметаном, які можна застосовувати для якісного виявлення Плюмбуму.

Контрольні питання

1. Які елементи містяться в золі рослин?
2. Напишіть якісні реакції на сульфати, нітрати, фосфати.
3. Опишіть суть якісного визначення Феруму, Кальцію, Калію, Силіцію.
4. Укажіть джерела забруднення рослин Плюмбумом.
5. Охарактеризуйте сутність якісного визначення Плюмбуму в рослинах.
6. Користуючись додатковою літературою, підготуйте короткі повідомлення про біологічну роль Феруму, Калію, Кальцію, Мангану, Купруму, Магнію, Цинку, Кобальту, Бору, Силіцію.

ТЕМА 5.2. Біоіндикація забруднення повітря за станом хвої сосни

Методика експерименту

Робота проводиться в групах протягом 2-4 днів. Обстеження можна провести цілодобово.

1. Виберіть район, у якому буде проводитися обстеження рослин сосни (Pinus sylvestris).
2. Складіть карту району.
3. Нанесіть на карту промислові підприємства, дороги з інтенсивним транспортним рухом (антропогенне навантаження).
4. На карті визначте точки обстеження. У разі високого антропогенного навантаження вони повинні бути розташовані на відстані 1,5-3 км, у районах із незначним рівнем забруднення – на відстані до 10 км.
5. У районі наміченої точки знайдіть ділянку лісу, де ростуть молоді сосни висотою 1-1,5 м.
6. Оцініть ступінь витоптування ділянки: 1 − витоптування немає; 2 − витоптані стежки; 3 − ні трави, ні чагарників немає; 4 − залишилося небагато трави навколо дерев. Якщо ступінь витоптування території високий − (3-4), експрес-оцінка повітряного забруднення неможлива.
7. Виберіть 5 молодих сосен, що ростуть на відкритому місці (галявині, узліссі, просіці), із 8-15 кільцями бічних пагонів на головному стовбурі, віддалених один від одного на відстані 10-20 м.
8. Біля кожного деревця огляньте хвоїнки ділянки центрального пагону попереднього року (другого зверху). Якщо дерева дуже великі, то обстеження проведіть на бічному пагоні в четвертому зверху кільці.

Користуючись рис. 5.2, визначте клас пошкоджень і всихань хвої. Майте на увазі, що шипик на кінці хвоїнки завжди більш світлий, тому його забарвлення не включається до оцінки.

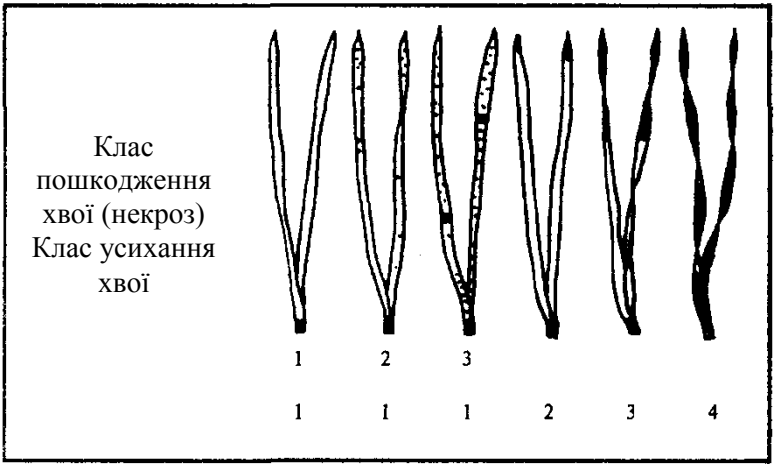


Рис. 5.2. Класи пошкодження й усихання хвої

Класи пошкодження хвої:

1 – хвоїнки без плям;

2 – хвоїнки з невеликим числом дрібних плям;

3 – хвоїнки з великим числом чорних і жовтих плям, деякі з них великі – на всю ширину хвоїнки.

Класи усихання хвої:

1 – немає сухих ділянок;

2 – усох кінчик 2-5 мм;

3 – усохла третина хвоїнки;

4 – уся хвоїнка жорстка або більше ніж половина її довжини – суха.

9. Користуючись рис. 5.3, визначте тривалість життя хвої. Для цього обстежуйте верхівкову частину стовбура за останні роки: кожне кільце – це рік життя. Визначте, скільки років зберігається хвоя (її максимальний вік), причому, якщо на найнижчій з освоєних ділянок частина хвоїнок обпала, то оцінюють приблизну частку, що збереглася. Отже, повний вік хвої визначається кількістю ділянок стовбура з повністю збереженою хвоєю плюс частка збереженої хвої на наступній за ним ділянці. Наприклад, якщо верхівкова частина і дві ділянки між кільцями повністю зберегли хвою, а на наступній ділянці збереглася половина хвої, то показник тривалості життя хвої складає: 3 + 0,5 = 3,5.

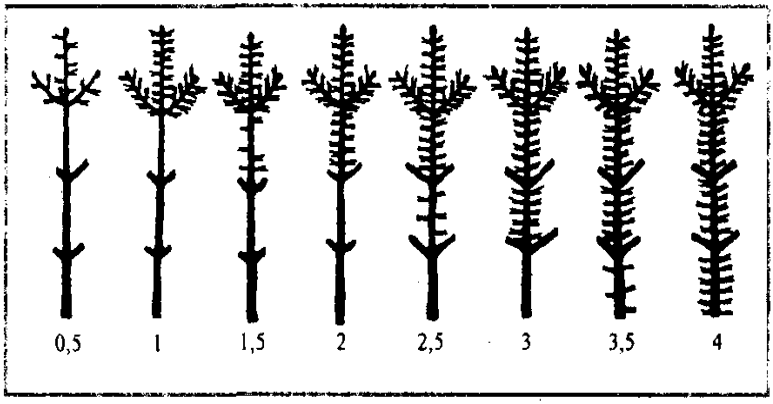


Рис. 5.3. Схема визначення тривалості життя хвої сосни

Опрацювання результатів і висновки

Використовуючи на дані табл. 5.2, зробіть висновок про ступінь забруднення повітря:

Таблиця 5.2

Експрес-оцінка забруднення повітря

Максимальний вік хвої	Клас пошкодження хвої на пагонах другого року життя		
	1	**2**	**3**
4	I	I-II	III
3	*I*	II	III-IV
2	II	III	IV
2	–	IV	IV-V
1	–	IV	V-VI
1	–	–	VI

Умовні позначення ступеня забруднення повітря:

I – ідеально чисте;

II – чисте;

III – відносно чисте («норма»);

IV – забруднене («тривога»);

V – брудне («небезпечно»);

VI – дуже брудне («шкідливо»); прочерк означає неможливі поєднання.

За результатами проведених експериментів зробіть висновок про стан повітряного середовища у вивченому районі, а також води у водоймищі.

Обґрунтуйте можливі причини отриманих результатів. Зробіть практичні пропозиції щодо поліпшення екологічної ситуації в районі.

ТЕМА 5.3. Здатність водних мікроорганізмів здійснювати самоочищення водоймищ

Процес самоочищення водоймищ неймовірно складний як із мікробіологічної, так і з фізико-хімічної точки зору. Однак зрозуміти його основні закономірності можна на прикладі простих дослідів.

Для цього необхідно взяти донний мул із будь-якого водоймища: ставка, озера, не дуже швидкої річки; слизовий наліт із підводних каменів або гранітного облицювання каналів і річок, який зручно зібрати ложкою з нержавіючої сталі. Можна використати донні відклади та наліт зі стінок давно нечищеного акваріуму. Для одного досліду достатньо жмені цього відкладу, який обов'язково потрібно зберегти під шаром води. Крім того, для дослідів береться близько 1 л води з будь-якого водоймища. У крайньому разі, можна використати і водопровідну хлоровану воду, але тоді її необхідно не менше ніж за півгодини аерувати чистим повітрям за допомогою акваріумного мікрокомпресора для видалення вільного хлору з води. Хлор шкідливий для мікроорганізмів і спотворить результати дослідів.

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: мікроскоп; колби на 50 мл; туалетне мило; прилад (див. рис. 18); реактив Несслера; плюмбум ацетат; універсальний індикаторний папір; 1-відсотковий розчин прального порошку; зразок донного мулу; шматочки поліетилену; розчин хлорного вапна; розчин калій гексаціаноферату; розчин солі купруму або плюмбуму.

Перед постановкою дослідів потрібно пересвідчитися в наявності мікроорганізмів у краплі води під мікроскопом. Крапля води буквально кишить різними організмами, серед яких можна пізнати інфузорії, сувійки, стілоніхії, евглени зелені, різні водорості та ін.

Дослід 1. У колбу або склянку з-під ліків поміщують близько 0,5-1 г донного мулу та заливають зверху 30 мл 1-відсоткового розчином туалетного мила, не забуваючи про те, що розчин мила готують на воді, яка не містить хлору. Збовтують колбочку. Її вміст піниться. Неповністю прикривають посудину ватою і залишають на 5-6 год. (можна до наступного дня). Потім знову збовтують уміст колби. Тепер рідина не піниться. Для контролю можна поставити склянку з мильною водою без донного мулу і склянку з мильною водою і донним мулом. У

контрольних посудинах вода має пінитися під час струшування. У першій посудині мило зникає, розчин набуває досить неприємного запаху, до того ж випадає бруднуватий сіро-бурий осад.

Отже, водні мікроорганізми «з'їдають», тобто переробляють органічну частину мила. Продукти їхньої життєдіяльності частково випадають в осад, а частково виділяються у вигляді газів.

Отже, перший і дуже важливий висновок: водні мікроорганізми здатні переробляти органічні відходи.

Визначимо, які гази під час цього утворюються.

Дослід 2. Внесіть у чисту колбу або склянку 0,5 г донного мулу та долийте 30 мл будь-якої рідини, що містить білок: це може бути м'ясний суп або вода, у якій мили м'ясо; розчин яєчного білка, гороховий або квасоляний відвар, сік консервованого зеленого горошку. За допомогою пробок, газовідвідних трубок і шматка гумового шланга зберіть прилад, як показано на рис. 5.4.

У посудини 1 і 2 заздалегідь наливають по 10 мл дистильованої води. Через 5-6 год. або на наступний день можна виявити газоподібні продукти. За запахом відчуваються амоніак і сірководень. Ці речовини можна визначити і за допомогою специфічних реакцій. Якщо до рідини з посудини 1 додати 1-2 краплі реактиву Несслера, то при наявності йонів амонію з'являється характерний червоно-бурий осад. Йони амонію утворюються під час розчинення амоніаку у воді. Для виявлення сірководню в рідині з посудини 2 необхідно додати 2-3 краплі розчину солі плюмбуму або купруму. Якщо в розчині є сірководень, то випаде чорний осад плюмбум або купрум сульфіду.

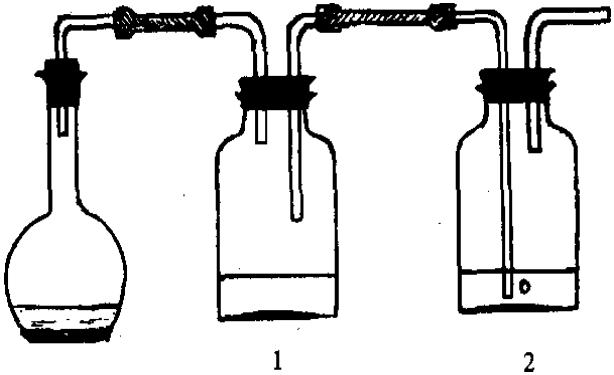


Рис. 5.4. Прилад, за допомогою якого демонструють здатність водних мікроорганізмів здійснювати самоочищення водоймищ

Отже, так виявляється амоніак та сірководень. Далі визначається: чи здатні мікроорганізми переробляти розчини будь-якої природи, чи все підряд вони можуть «з'їдати»?

Дослід 3. У чисту колбу вносять свіжу порцію донного мулу і доливають 30 мл 1-відсоткового розчину будь-якого синтетичного прального порошку. Під час збовтування розчин сильно піниться. Після 5-6 год., доби, двох діб – рідина продовжує пінитися! Ясно, що мікроорганізми «не бажають їсти синтетику»!

Зробивши подібні досліди зі шматочками поліетиленової, полівінілхлоридної, капронової плівки, полістиролу, із 1-відсотковим розчином будь-якого шампуню, можна переконатись, що мікроорганізми або взагалі не переробляють синтетичні матеріали, або роблять це дуже неохоче, занадто повільно.

І останнє важливе питання: як упливають на мікроорганізми такі шкідливі речовини, як йони важких металів (наприклад, Купруму, Плюмбуму), похідні синильної кислоти (наприклад, калій гексаціаноферат), фенол, хлорне вапно?

Дослід 4. У декілька колбочок вносять по 0,5 г донних залишків і доливають по 30 мл 10-відсоткових розчинів кожної зі згаданих речовин. Суміш у колбочках ретельно перемішують і залишають на 2-3 год. Потім рідину в усіх колбочках обережно зливають, залишки промивають декілька разів чистою водою і вливають у кожну колбочку по 30 мл 1-відсоткового розчину туалетного мила. Через 5-6 год. або наступної доби перевіряють: піниться рідина під час збовтування чи ні? Підсумки виходять невтішні: розчини продовжують пінитися багато годин опісля. Отже, токсичні речовини дезактивували мікроорганізми, та останні не змогли переробляти органічні рештки.

Отже, не можна скидати неочищені промислові стоки у водоймища: останні позбавляються своїх санітарів!

Можна зібрати модель очисної споруди (рис. 5.5). У склянку Вульфа поміщують шар промитого річкового піску, потім шар донного мулу, потім знов шар чистого річкового піску. Склянку заповнюють 1-відсотковим розчином туалетного мила. Швидкість виходу очищеної води регулюють 1-3 краплями на годину.

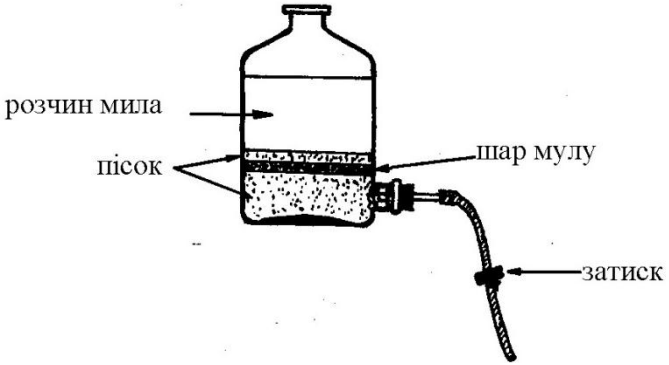


Рис. 5.5. Модель очисної споруди

Зрозуміло, що пити цю очищену воду не можна. А перевірити, чи дійсно вода стала чистішою, можливо. Для цього у воду необхідно додати декілька крупинок перманганату калію. Якщо вода чиста, розчин залишиться малиновим, якщо ні – незабаром побуріє. Ця реакція дозволить порівняти чистоту води до її очищення та після.

Контрольні питання

1. Опишіть сутність процесу самоочищення води.
2. Опишіть мікроорганізми, які мешкають у воді.
3. Від яких чинників залежить швидкість процесу самоочищення води?
4. Як впливають йони важких металів на здатність мікроорганізмів здійснювати очищення води?
5. Запропонуйте способи очищення води від органічних речовин.

ТЕМА 5.4. Визначення інтенсивності виділення вуглекислого газу ґрунтом як біотест на щільність заселення живими організмами

Екологічно чистий ґрунт густо населений живими організмами, мікробами, комахами, черв'яками, гризунами. В Україні на один гектар поверхні ґрунту припадає від 12,5 млн до 2 млрд різноманітних безхребетних тварин, а в одному грамі ґрунту мешкає до 10 млрд мікроорганізмів. Усе це населення дихає, поглинаючи кисень і виділяючи вуглекислий газ.

Тому в ґрунтовому повітрі кисню міститься звичайно менше, ніж в атмосферному, а вуглекислого газу – більше:

Повітря	**O_2, %**	**CO_2, %**
Атмосферне	21	0,034
Ґрунтове (верхній шар 15-30 см)	11-21	0,034-8,0

Чим щільніше заселений ґрунт, тим більше в ньому виділяється вуглекислого газу. Ґрунтові організми в цьому випадку виступають у ролі біоіндикаторів ґрунтового середовища. Кількісним показником біоіндикації є швидкість виділення організмами вуглекислого газу – маса CO_2, яка виділяється з одного га на годину (кг/га за годину). Чим більшою є ця швидкість, тим біологічно активніший ґрунт, тим екологічно він кращий.

За умов доброї повітряної проникності виділення CO_2 у літній період може досягати 7,5 кг/га за годину, в донних відкладах чистих водоймищ – 2,02 кг/га за годину, а дуже забруднені промисловими відходами мули практично не «дихають», швидкість виділення CO_2 складає всього 0,0096 кг/га за годину.

За складом ґрунтового повітря неможливо визначити швидкість виділення вуглекислого газу. Наприклад, у разі малого вмісту CO_2 швидкість його виділення може бути високою, якщо проникність ґрунту значна і CO_2 вільно надходить до атмосфери.

І навпаки, велике накопичення CO_2 у ґрунтовому повітрі спостерігається під час слабкого виділення вуглекислоти ґрунтовими мікроорганізмами за умов слабкого газообміну між ґрунтом й атмосферою.

Для того, щоб оцінити рівень біологічної активності ґрунту, потрібно виміряти кількість CO_2, яку виділяє ґрунт або будь-який інший субстрат, наприклад, донні відклади.

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: прилад (див. рис. 5.6); 0,2 н розчин натрій гідроксиду; 0,05 н розчин хлоридної кислоти; фенолфталеїн; бюретка для титрування; конічні колби на 250 мл.

Принцип такого вимірювання полягає в тому, що невелику ділянку поверхні ґрунту ізолюють від навколишнього середовища посудиною, у яку вміщують чашку з розчином лугу, який поглинає CO_2. Через певний проміжок часу посудину-ізолятор виймають, а луг із чашки відтитровують кислотою.

Під час досліджень необхідна висока точність результатів, які враховують початкову кількість CO_2, що знаходилася в атмосферному повітрі під ковпаком-ізолятором.

Цю кількість CO_2 віднімають від маси CO_2, що була поглинута лугом під час досліду. Треба відзначити, що ця поправка вельми мала і, як правило, нею можна нехтувати.

Для визначення швидкості виділення CO_2 із ґрунту в польових умовах виконують такі операції.

1. Ділянку поверхні ґрунту перед установкою на неї посудини-ізолятора звільняють від наземних частин рослин, вистригають ножицями всі зелені пагінці. Це необхідно зробити, щоб виключити втрати CO_2 на фотосинтез або його виділення рослинами, якщо ізолятор непроникний для світла.

2. На поверхню ґрунту на підставці (рис. 5.6) установлюють чашку з 10 мл 0,2 н розчину лугу (KOH або NaOH). Чашку накривають посудиною-ізолятором, заглиблюючи його в ґрунт на 1,5-2 см. Для запобігання нагрівання посудину прикривають зовні білим папером або фанерою. У разі необхідності установку маскують травою.

3. Час експозиції для першого визначення вибирають у межах 4-6 год. на день. Якщо інтенсивність виділення мала і декілька паралельних титрувань дають великий (10 % і більше) розкид даних, час експозиції збільшують.

4. Початковий розчин лугу титрують у лабораторії 0,05 н розчином соляної кислоти за наявності фенолфталеїну. Розчин із чашки титрують тим же розчином HC1 у польових умовах або в лабораторії.

5. Швидкість виділення CO_2 із ґрунту визначають за формулою:

$$V = (a - b) \cdot 1{,}1 / S \cdot t \cdot 100,$$

де V – кількість CO_2, що виділилась із ґрунту, кг/га на годину;

a – кількість 0,05 н HC1, яку витрачено на титрування вихідного розчину лугу, мл;

b – кількість 0,05 н HC1, яку витрачено на титрування лугу з чашки після експонування на ґрунті, мл;

1,1 – маса CO_2, еквівалентна масі HC1, що міститься в 1 мл 0,05 н розчину HC1, мг/мл;

S – площа ґрунту під судиною-ізолятором, м^2;

t – експозиція, год.

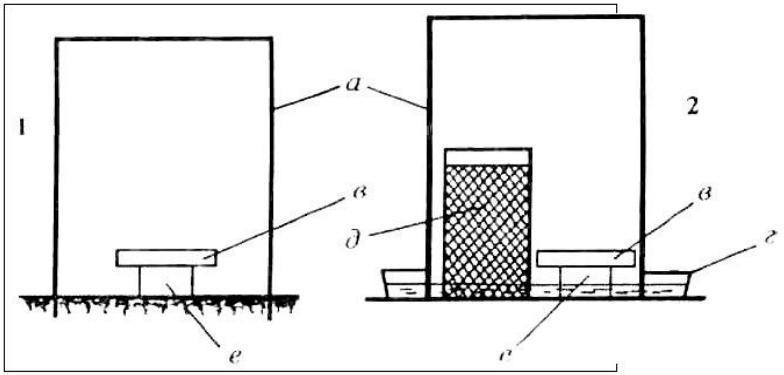


Рис. 5.6. Визначення «дихання» ґрунту (мулу) за методом Штатнова:

1 – установка на ґрунті в польових умовах;
2 – установка в лабораторії;
а – посудина-ізолятор;
в – чашка з лугом;
г – піддон;
д – хімічна склянка з ґрунтом (мулом);
е – підставка.

Під час проведення дослідів у польових умовах потрібно мати на увазі, що інтенсивність виділення CO_2 ґрунтом змінюється протягом доби і протягом року залежно від вологості ґрунту та його температури. Тому для одержання достовірних результатів, визначення швидкості виділення CO_2 на одній і тій же ділянці повторюють багато разів, кожний раз відзначаючи умови проведення досліду (температуру повітря, вологість ґрунту, тривалість експозиції).

Якщо виділення CO_2 вивчається на двох і більше ділянках, результати дослідів можна порівнювати між собою тільки під час їх одночасної постановки.

Для вивчення виділення CO_2 із ґрунту або інших субстратів (наприклад, із мулу водоймища) у лабораторних умовах, до конструкції установки вносять деякі зміни. Основою установки є широкий піддон із невеликим (2-3 см) шаром води. У ньому на підставці розміщують чашку з лугом, а також хімічну склянку із субстратом, що досліджується (ґрунтом, мулом водоймища та ін.). Потім установлюють посудину-ізолятор так, щоб його нижня кромка була занурена у воду на піддоні.

На лабораторній установці можна вивчати вплив різних забруднювачів

на біологічну активність ґрунтів або мулу. Так, дослідження донних відкладів річок, які забруднені сполуками важких металів, показали найбільш низьку швидкість виділення CO_2 – від 0,096 кг/га (найзабрудненіші) до 0,9859 кг/га (відносно чисті).

Експериментально було встановлено, що додавання органічних решток, наприклад листів до донних відкладів, збільшують біологічну активність мулу на 15-20 %.

Необхідно зазначити, що визначення інтенсивності виділення CO_2 ґрунтами і донними відкладами водоймищ є обов'язковою складовою частиною комплексних досліджень, які проводяться під час вивчення ступеня забруднення водоймищ і ґрунтів.

Контрольні питання

1. Яким чином можна оцінити рівень біологічної активності ґрунту?
2. Охарактеризуйте сутність агрономічного методу дослідження біологічної активності ґрунту?
3. Як впливають органічні рештки на біологічну активність ґрунту?

Розділ 6
МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

ТЕМА 6.1. Визначення якості меду

У продуктах бджільництва можуть виявитися небезпечні для людини речовини у зв'язку з тим, що навколишнє середовище забруднене викидами підприємств і автотранспорту, застосуванням у землеробстві пестицидів, а також використанням багатьма бджолярами хімічних препаратів для профілактики захворювання та лікування бджіл. Окрім того, деякі бджолярі з метою одержання великої кількості меду застосовують експресний метод одержання фальсифікованого меду. Це досягається шляхом годівлі бджіл цукровим сиропом. Для підвищення в'язкості в такий мед додають желатин для створення подоби кристалізації борошно або крохмаль, а також бурякову і крохмальну патоку, крейду та ін.

Для визначення якості меду застосовують органолептичні та лабораторні методи аналізу.

При застосуванні органолептичного методу визначають колір, аромат, смак і консистенцію меду.

Колір меду. Натуральний бджолиний мед може бути безбарвним (прозорим), ясно-бурштиновим (ясно-жовтим), бурштиновим (жовтим), темно-бурштиновим (темно-жовтим), темним із різними відтінками. Тривале зберігання меду надає йому темнішого забарвлення. Однак колір не є постійною ознакою, на основі якої можна визначити якість меду.

Аромат меду. Аромат є найбільш об'єктивним показником для визначення якості меду органолептичними випробуваннями. Він може бути слабким, сильним, неясним, тонким, видавати запах квітів, з яких бджоли збирали нектар, із приємним і неприємним запахом.

Смак меду. Бджолиний натуральний квітковий мед усіх видів має солодкий смак і чинить подразнювальну дію на слизову оболонку ротової порожнини та глотки (відчувається терпкість різної інтенсивності). Цими властивостями не володіє цукровий мед і штучно інвертований цукор. Присмак меду може бути різноманітним. Бродіння меду надає йому кислуватого та кислого смаку. Відповідно до стандарту, мед має бути солодким, приємним на смак, без сторонніх присмаків (гіркий, кислий, карамелеподібний, плісенний тощо).

Консистенцію меду (в'язкість) визначають за характером стікання меду з ложки або шпателя. За цією ознакою мед може бути рідким, в'язким, дуже в'язким та загуслої консистенції, коли шпатель занурюється в мед під тиском.

Зрілість меду – одна з характерних ознак його якості. Її визначають за температури 20 °С. Мед ретельно перемішують ложкою або шпателем, які потім витягують і повільно обертають. Якщо мед стікає з ложки, його вважають незрілим, а якщо «навертається» на шпатель або ложку – зрілим. У незрілому меді води міститься понад 22 %. Такий мед не можна зберігати, він може бродити. Ознаками бродіння вважають активне шумовиння меду і газовиділення в усій масі зі специфічним запахом і присмаком.

У меді містяться механічні домішки: природні (пилкові зерна рослин), небажані (бджоли або частини їх тіла, личинки) і сторонні (шматочки різних матеріалів). Для виявлення домішок і різних добавок у меді застосовують лабораторні методи дослідження.

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: набір пробірок; розчин йоду в спирті або KI; 5-відсотковий розчин таніну; 5-відсотковий розчин $AgNO_3$; 9-відсотковий розчин CH_3COOH; розчин $Ca(OH)_2$; 1-відсотковий розчин крохмалю.

Виявлення борошна або крохмалю. У пробірку влити 3-5 мл водного розчину меду (1:2) і додати 3-5 крапель розчину йоду в спирті або водного розчину калій йодиду. Якщо розчин посиніє, то в меді є борошно або крохмаль.

Виявлення домішок желатину. У пробірку налити 5 мл водного розчину меду (1:2) і додати 5-10 крапель 5-відсоткового розчину таніну. Утворення білих пластівців свідчить про наявність у меді желатину, помутніння вказує на негативну реакцію.

Виявлення домішок цукрової (бурякової) патоки. У пробірку налити 5 мл водного розчину меду (1:2) і додати 5-10 крапель 5-відсоткового розчину аргентум нітрату. Помутніння або білий осад вказує на позитивну реакцію, тобто на наявність в меді цукру. Натуральний мед не дає осаду. Цукровий мед має і свої органолептичні показники: запах старих стільників, прісний смак, консистенція такого свіжого меду рідка, а в разі зберігання – густа, клейка, липка.

Виявлення крейди. У пробірку влити 3-5 мл водного розчину меду (1:2) і додати декілька крапель оцтової есенції. Якщо розчин «зашипить» із виділенням вуглекислого газу, то в меді наявна крейда.

Визначення падевого меду. Падевий мед готується бджолами зі солодких речовин (падь або медяна роса), які скупчуються на листі і стеблах різних рослин, що являє собою виділення позаквіткових нектароносних тканин дерев або виділення комах – тлі, капустянки, червців, листоблішок та ін. Мед із паді, як правило, темний, із різними відтінками, запах його дуже слабкий, на смак він найчастіше не відрізняється від квіткового меду, хоча може бути неприємним, гіркуватим або кислуватим. Кристалізація падевого меду призводить до утворення салоподібної або грубозернистої маси. На відміну від квіткового, падевий мед містить підвищену кількість мінеральних солей, декстринів, нітрогеновмісних та інших речовин. У Західній Європі падевий мед цінується вище, ніж квітковий.

Для визначення падевого меду в пробірку наливають 1 частину водного розчину меду (1:1) і додають 2 частини вапняної води. Суміш нагрівають до кипіння. У випадку падевого меду утворюються пластівці бурого кольору, які випадають в осад.

Визначення меду, що зазнав нагрівання. Нагрівання меду понад 60 °С призводить до руйнування в ньому ферментів, вітамінів, унаслідок чого знижується його якість. Підігрітий мед можна визначити органолептично (з'являється смак карамелі), а також реакцією на діастазу: у пробірку налити 10 мл водного розчину меду (1:2), додати 1 мл 1-відсоткового розчину крохмалю, збовтати і витримати 1 год. на водяній бані за температури 40 °С. Суміш охолодити до кімнатної температури та додати до неї декілька крапель розчину йоду. Якщо в меді наявна діастаза, то рідина забарвлюється в синій колір.

Раніше визначали якість меду за допомогою «хімічного» копіювального олівця. Однак ця методика не дає достовірних результатів.

Контрольні питання

1. Які методи використовуються для визначення якості меду?
2. Які показники якості меду визначають органолептичним методом?
3. Як у меді визначають наявність крохмалю, желатину та цукрової патоки?
4. З якою метою деякі «бджолярі» підмішують у мед крохмаль, желатин, бурякову патоку, крейду?
5. Яким чином визначають мед, що зазнав нагрівання?

ТЕМА 6.2. Експрес-метод визначення тетраметилтіурамдисульфіду (ТМТД) у зерні

Кількісні і навіть якісні визначення пестицидів досить складні. За умов навчальної лабораторії можливо реалізувати метод якісного визначення наявності одного з пестицидів – тіураму.

Тетраметилтіурамдисульфід (ТМТД, арозан, померзан, помарзол, терзан, тірам, тіурам, тьюаде, тетратіон А) належить до карбаматних пестицидів і має формулу $C_6H_{12}N_2S_4$. У чистому вигляді є білим кристалічним порошком із температурою плавлення 155-156 °С. Погано розчиняється у воді, спирті, ефірі, добре розчиняється в розбавлених лугах, ацетоні, хлороформі, гексані. Випускається у вигляді 50-відсоткового порошку, що змочується.

Застосовується в аграрному виробництві як ефективний фунгіцид для протравлення насіння кукурудзи, пшениці, гороху, цукрового буряку, льону, проти патогенних грибів у розрахунку 2-8 кг/т, а для насіння бавовника – 30 кг/т.

Принцип методу. Метод засновано на руйнуванні барвників рослинних пігментів розчином лугу з подальшою екстракцією препарату гексаном, взаємодії з реактивним силікагелем, який імпрегновано купрум(II) сульфатом, з утворенням купрум(II) тіурамату.

Чутливість методу – 15 мг/кг зерна.

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: силікагель марки КСК або КСМ; HCl(конц.) і HNO_3; 1-відсотковий розчин $CuSO_4$; 0,5-відсотковий розчин NaOH; н-гексан.

Приготування реактиву силікагелю. Силікагель марки КСК або КСМ заливають на 18-20 год. соляною кислотою (1:1), потім кислоту зливають, силікагель промивають водою і кип'ятять протягом 2-3 год. із розбавленою (1:1) нітратною (азотною) кислотою. Дають силікагелю відстоятися і промивають дистильованою водою до нейтральної реакції промивних вод, сушать у сушильній шафі протягом 4-6 год. за температури 130 °С. Потім силікагель подрібнюють, просівають через сито з отворами 0,2 мм, далі через сито з отворами 0,04 мм для відсівання дрібного силікагелю (його відкидають).

Просіяний силікагель заливають на 1 год. 1-відсотковим розчином купрум(II) сульфату. Рідину зливають, силікагель підсушують спочатку на фільтрувальному папері, а потім у сушильній шафі за температури 100 °С. Зберігати силікагель необхідно в добре закритих склянках.

10 г зерна поміщують у широкогорлу склянку на 100-200 мл із притертою пробкою, заливають 10-20 мл 0,5-відсоткового розчину гідроксиду натрію, періодично струшують протягом 30 хв. Потім додають 10 мл н-гексану і струшують протягом 30 хв.

Для дослідження гороху і кукурудзи не треба енергійно струшувати, оскільки утвориться стійка емульсія. Після розділення шарів екстракт гексану зливають декантацією, фільтрують через паперовий фільтр, до фільтрату додають 0,2 г реактивного силікагелю і струшують 30-50 с. Наявність ТМТД визначається за забарвленням силікагелю в зелений колір.

Контрольні питання

1. Для чого визначають залишкові кількості пестицидів у зерні?
2. Опишіть сутність методу визначення ТМТД у зерні.

ТЕМА 6.3. Визначення соланіну в картоплі

Серед речовин, які можуть спричиняти отруєння організму людини, можна назвати соланіни. У картоплі соланін міститься, головним чином, у шкірці і зовнішніх шарах, які видаляються під час очищення. Кількість соланіну в картоплі невелика (до 0,01 %), але при порушенні агротехнічної обробки, неправильному зберіганні, проростанні й позеленінні картоплі кількість соланіну збільшується більш ніж у 10 разів і може досягти 500 мг/кг. Підвищення кількості соланіну надає картоплі гіркий смак. У ростках і м'якоті біля очок соланіну завжди більше.

Соланін – речовина середньої токсичності, виявляє подразнювальну дію на слизові травного тракту, пригнічує діяльність центральної нервової системи. Під час потрапляння до організму в підвищених кількостях може викликати типові ознаки отруєння.

Наявність соланіну в картоплі легко визначити за умов навчальної лабораторії.

Якісне визначення соланіну в картоплі за В. І. Ніловою

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: розчин CH_3COOH (конц.); розчин H_2SO_4 (конц.), (густина 1,84 г/см^3); 5-відсотковий розчин H_2O_2; фарфорові чашки або предметне скло.

Із бульби картоплі роблять декілька зрізів товщиною 1 мм:

1) від верхівки до основи осі, що ділить бульбу на рівноцінні половинки;

2) поперечні – біля основи та верхівки бульби;

3) із боків;

4) у ділянках біля вічок.

Зрізи поміщують у фарфорову чашку або на предметне скло. На них наносять по краплі спочатку концентрованого CH_3COOH, потім концентрованої H_2SO_4 декілька крапель 5-відсоткового H_2O_2. Майже негайно в місцях зрізу, що містять соланін, з'являється інтенсивне темно-малинове або червоне забарвлення.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте токсичну дію соланіну на організм людини.
2. Опишіть сутність методу визначення соланіну в картоплі.

ТЕМА 6.4. Визначення нітратів у продуктах харчування

Нині виробництво добрив складає близько 23 кг на одну людину на рік, причому половина всіх добрив – азотні. Як органічні, так і мінеральні добрива містять Нітроген, який у ґрунті перетворюється на нітрати та разом із водою потрапляє в рослини. У кореневій системі, у стеблах, листах і плодах нітрати відновлюються під дією ферментів до йонів амонію NH_4^+, який стає основою амінокислот та далі – білків. Отже, мінеральний Нітроген перетворюється на органічний.

За природних умов, наприклад, у лісі, уміст нітратів у рослинах невеликий, вони повністю переходять в органічні сполуки. Але вміст нітратів у рослинах, які вирощують на удобреному полі, перевищує природний уміст майже в 20 разів.

Для оцінки придатності продуктів рослинництва до вживання в їжу необхідно знати гранично допустимий уміст нітратів. Наприклад, для картоплі він складає 80 мг/кг; капусти – 300 мг/кг; моркви – 300 мг/кг; томатів – 60 мг/кг; цибулі – 60 мг/кг; огірків – 150 мг/кг; кавунів – 45 мг/кг; буряку – 140 мг/кг. Лідерами накопичування нітратів є зелені культури – кріп, салат, петрушка.

6.4.1. Визначення нітратів за методом О. Л. Ричкова

Для оцінювання в продуктах умісту нітратів їх відновлюють цинком до нітрит-йонів, якими діазотирують ріванол з утворенням сполуки з інтенсивним забарвленням. У санітарно-гігієнічній практиці концентрацію нітрат-йонів визначають за інтенсивністю забарвлення. За умов навчальної лабораторії це зробити складно, тому потрібна модифікація методу.

Передбачимо, що в продукті міститься гранично допустима концентрація нітрату. Тоді необхідно розбавити пробу так, щоб концентрація нітрат-йонів зрівнялася з межею виявлення речовини за цим методом. Якщо концентрація нітрат-йонів перевищена, то розчин під час проведення реакції забарвиться в блідо-рожевий колір.

Кількість розбавлень можна обчислити за формулою:

$$X = [\text{ДСТ} / (м \cdot К)] + 1,$$

де X – число розбавлень;

ДСТ – норма ГДК;

$м$ – межа виявлення цим методом;

$К$ – табличний коефіцієнт умісту вологи в продукті.

Межа виявлення нітрат-йонів для ріванольного способу – 20 мг/л. Коеффіцієнт вологи ($К$) для огірків, томату, редису, салату, баклажанів, капусти, перцю, кабачків, щавлю, дині, кавуну, буряку – 0,9; для картоплі, моркви, зеленого горошку, фруктів – 0,8; для м'яса – 0,5.

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: розчин ріванолу; цинковий порошок.

З усього об'єму розведеного продуктового соку відбирають 2,0 мл, змішують із 1,0 мл солянокислого розчину ріванолу та додають на кінчику шпателю цинковий порошок. Якщо в розчині більше 20 мг/л нітрат-йонів, то жовте забарвлення розчину поступово знебарвлюється і змінюється на рожеве. Це означає, що норми нітратів у продукті перевищені.

Наприклад, якщо норма вмісту нітратів для буряку 1400 мг/кг, то 1 мл бурякового соку треба розбавити у 78,5 рази (1400 / 20 · 9 + 1 = 78,5).

Таке розведення призводить до зникнення специфічного забарвлення буряку і не заважає визначенню. Розбавлення проводять дистильованою водою. У нашому прикладі до 1 мл соку потрібно додати 77,5 мл дистильованої води, таким чином, загальний об'єм складе 78,5 мл. Сік відбирають з середньої частини плоду.

Потрібно зазначити, що температура не повинна перевищувати 18 °С.

Окрім того, за результатами одиночного аналізу одного плоду не можна робити висновок про вміст нітратів у всій партії продуктів, необхідно зробити декілька аналізів, щоб дослідження було вдостовірним.

6.4.2. Визначення нітратів у продукції рослинництва з використанням дифеніламіну

Сутність методу полягає у візуальному оцінюванні забарвлених сполук, які утворюються під час взаємодії нітратів із дифеніламіном. Нижня межа виявлення нітрат-йонів у пробі − 100 мг/л (100 мг/кг). Метод може бути використаний для визначення нітратів у всіх продуктах рослинництва. Результати, одержані цим методом, потрібно розглядати як орієнтовні. Цей метод показує загальну кількість окисників, а не тільки нітрат-йонів.

Підготовка проб до аналізу. Проби для аналізу подрібнюють, зелені культури – ножем до розмірів часток 0,5-1 см. Видавлюють сік і використовують його для аналізу.

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: KNO_3, $NaNO_3$; дифеніламін; H_2SO_4 (конц.); мірні колби на 1000 мл, 100 мл і 200 мл; предметне скло.

Приготування розчину нітратів для порівняння. Основний розчин 3000 мг/л (нітрат-йони). 4,89 г калій нітрату або 4,11 г натрій нітрату, висушених за температури 100-105 °С до постійної маси, зважують із точністю до другого десяткового знаку, переносять його в мірну колбу об’ємом 1000 мл, розчиняють у дистильованій воді та доводять об’єм розчину до позначки. Зберігають розчин протягом 1 року.

Розчин № 1. 1500 мг/л. Основний розчин розбавляють дистильованою водою в 2 рази.

Розчин № 2. 750 мг/л. Розчин № 1 розбавляють водою в 2 рази.

Розчин № 3. 300 мг/л. Основний розчин розбавляють у 10 разів.

Розчин № 4. 150 мг/л. Основний розчин розбавляють у 20 разів.

Розчин № 5. 100 мг/л. Розчин № 3 розбавляють у 3 рази.

Розчин № 6. 50 мг/л. Розчин № 4 розбавляють у 3 рази.

Розчини № 1-6 готуються в мінімальних об’ємах і використовуються як порівняльні для оцінки вмісту нітратів у зразках.

Приготування розчину дифеніламіну. Наважку 1 г дифеніламіну розчиняють у 100 г концентрованої сульфатної (сірчаної) кислоти (густина 1,84 г/см^3).

На предметне скло послідовно на відстані 15 мм один від одного наносять послідовно краплі розчинів порівняння. На це ж скло наносять краплі соку зразків продуктів, які досліджують. Одночасно додають по 1 краплі розчину дифеніламіну в сульфатній (сірчаній) кислоті. Забарвлення розвивається протягом 20-30 с. Інтенсивність забарвлення розчинів порівняння змінюється від блідо-голубої до інтенсивно-синьої. Порівнюють інтенсивність забарвлення розчинів порівняння і соку зразків, які аналізують, та оцінюють концентрацію нітрат-йонів.

Контрольні питання

1. Опишіть процеси трансформації Нітрогену в рослинах.
2. Охарактеризуйте норми вмісту нітратів у продуктах рослинництва.
3. Опишіть вплив нітратів на організм людини.
4. Сутність визначення вмісту нітратів методом О. Л. Ричкова.
5. Як визначаються нітрати за допомогою дифеніламіну?

ТЕМА 6.5. Аналіз молока та молочних продуктів

6.5.1. Визначення кислотності молока

Кислотність визначає свіжість молока. Кислотність молока виражають у градусах Тернера. Під градусом Тернера (Т) розуміють об'єм в $см^3$ (мл) водного розчину натрій гідроксиду молярної концентрації 0,1 моль/л, який необхідний для нейтралізації 100 мл молока або іншого кисломолочного продукту. Оскільки молярна концентрація натрій гідроксиду чисельно дорівнює молярній концентрації еквівалентів, яку раніше називали нормальною концентрацією, то можна зустріти й таке визначення: під градусом Тернера розуміють об'єм у мл 0,1 н розчину натрій гідроксиду, який необхідний для нейтралізації 100 мл продукту, що досліджується.

Кислотність свіжого молока зумовлено наявністю в ньому білків, фосфатів і цитратів, невеликої кількості розчиненої вуглекислоти і органічних кислот. Під час зберігання молока внаслідок розвитку мікроорганізмів, які зброджують молочний цукор, накопичується молочна кислота, і кислотність молока зростає. Під час підвищення кислотності відбувається сквашування білкових фракцій молока, особливо швидко під час нагрівання. Свіже молоко повинно мати 16-18 і не більше ніж 21 градус кислотності.

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: 0,1 н розчин NaOH; 1-відсотковий спиртовий розчин фенолфталеїну; піпетки на 10 мл; конічні колби на 250 мл; бюретки для титрування; крапельниця для фенолфталеїну.

У конічну колбу на 100 мл відміряють піпеткою 10 мл добре перемішаного молока, додають 20 мл дистильованої води і 2-3 краплі фенолфталеїну. Суміш ретельно перемішують і титрують із бюретки 0,1 н розчином лугу під час безперервного перемішування до появи слабо-рожевого забарвлення, яке не зникає протягом 1 хв. Титрування потрібно провести з однаковою швидкістю, оскільки під час швидкого титрування виходять занижені результати, порівняно з повільним.

Кислотність молока (Х) у градусах Тернера визначають за формулою:

$$X = 10 \cdot V \cdot 14 K,$$

де V – об'єм 0,1 н розчину NaOH, мл;

К – поправка до нормальності (точно 0,1 н розчин має К = 1);

10 – коефіцієнт перерахунку на 100 мл молока.

Іноді кислотність молока та молочних продуктів виражають масовою часткою молочної кислоти у відсотках (%). Перерахування здійснюють так: 1 мл 0,1 н розчину лугу (тобто 1 °Т) відповідає 0,009 г молочної кислоти. Якщо, наприклад, кислотність дорівнює 20 °Т, то в 100 мл молока вміст кислот у перерахунку на молочну кислоту становить $20 \cdot 0{,}009 = 0{,}18$ г, або 0,18 % за масою.

Розходження між паралельними визначеннями не повинне перевищувати 1 °Т.

6.5.2. Визначення пероксидази за реакцією з йодисто-калієвим крохмалем

Відсутність пероксидази свідчить про високу ефективність пастеризації молока. Пероксидаза руйнується при 75 °С і вище.

Наявність пероксидази встановлюють, вводячи в молоко гідроген пероксид і йодисто-калієвий крохмаль. Пероксидаза, яка міститься в молоці, розкладає гідроген пероксид. Вільний активний кисень окиснює калій йодид із виділенням йоду, який утворює з крохмалем сполуки синього кольору.

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: пробірки в штативі; піпетка на 5 мл; крапельниці; 0,5-відсотковий розчин H_2O_2; розчин йодистокалієвого крохмалю.

Розчин йодисто-калієвого крохмалю готують таким чином:

3 г крохмалю змішують із 10 мл холодної дистильованої води до одержання однорідної маси. Окремо в колбі кип'ятять 100 мл дистильованої води і під час безперервного помішування до розведеного крохмалю додають воду, не допускаючи утворення грудок. Одержаний розчин доводять до кипіння, охолоджують, додають 3 г калій йодиду і перемішують до розчинення кристалів. Розчин зберігають у темному прохолодному місці не більше 2 діб.

У пробірку відміряють 5 мл молока, додають 5 крапель йодисто-калієвого розчину крохмалю і 5 крапель 0,5-відсоткового розчину гідроген пероксиду. Після додавання кожного реактиву вміст пробірки ретельно перемішують і спостерігають за зміною забарвлення молока. Якщо фермент пероксидаза відсутній, колір молока в пробірці не змінюється. Отже, молоко пастеризувалося за температури вище за 80 °С. За наявністю пероксидази молоко набуває темно-синього забарвлення.

6.5.3. Визначення кислотності кефіру

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: ті ж, що й для визначення кислотності молока.

У конічну колбу на 100 мл піпеткою вносять 10 мл добре перемішаного продукту, додають 20 мл дистильованої води, пропускаючи її через піпетку, щоб змити залишки продукту зі стінок піпетки. Ретельно перемішавши вміст колби, додають 3 краплі розчину фенолфталеїну і титрують при постійному збовтуванні лугом до появи незникаючого протягом 1 хв. слабо-рожевого забарвлення.

Кислотність кефіру в градусах Тернера визначають за такою ж формулою, як і для розрахунку кислотності молока. До реалізації допускається кефір, який має кислотність не вище від 80-120 °Т.

6.5.4. Визначення кислотності сметани

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: технічні терези; хімічна склянка на 100 мл; мірний циліндр на 100 мл; бюретка для титрування; крапельниця; скляна паличка; реактиви ті ж, що й для визначення кислотності молока.

У хімічну склянку на 100 мл поміщують 5 г сметани. Потім додають 30-40 мл дистильованої води, ретельно перемішуючи продукт скляною паличкою, додають 3 краплі розчину фенолфталеїну. Титрують до появи слабо-рожевого забарвлення, що не зникає протягом 1 хв.

Об'єм 0,1 н розчину лугу, витраченого на титрування 5 г сметани, помножують на 20 і одержують кислотність у °Т.

Контрольні питання

1. Який показник свідчить про свіжість молока та молочних продуктів?
2. Що розуміють під градусом Тернера?
3. Які речовини зумовлюють кислотність молочних продуктів?
4. Опишіть сутність методу визначення кислотності молока.
5. Опишіть сутність методу визначення пероксидази в молоці.

ТЕМА 6.6. Визначення показників м'ясних продуктів

6.6.1. Визначення свіжості м'яса

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: пробірка на 15-20 мл із корковою пробкою; каучукова пробка з отвором; скляна паличка; склянка на 60 мл із притертою пробкою; водяна баня; мірна піпетка на 1 мл; хімічна склянка на 0,5-1,0 л; суміш Ебера (містить 1 мас. ч. 25-відсоткового розчину HCI, 3 мас. ч. C_2H_5OH і 1 мас. ч. диетилового етеру); розчин метиленової сині (5 мл насиченої при кімнатній температурі спиртового розчину метиленової сині розбавляють дистильованою водою до 200 мл); насичений розчин КОН в етанолі; хлороформ.

Проба на амоніак

Під час гниття м'яса відбувається розпад амінокислот з утворенням амоніаку та інших продуктів розпаду. Амоніак, що утворюється під час розкладу білків та аміни при додаванні хлоридної кислоти (HCl), дає помітну неозброєним оком хмаринку хлориду амонію і хлоридів алкіламонію.

У пробірку наливають 1 мл суміші Ебера, що складається з HCI, етанолу й диетилового етеру. Закривають пробірку корковою пробкою та злегка струшують. На кінець скляної палички, пропущеної через отвір у гумовій пробці, наносять дрібно розмелену пробу м'ясного

фаршу. Відкривають пробірку і швидко вставляють пробку зі скляною паличкою, але так, щоб зразок, який досліджується, не торкався стінок і знаходився на 1 см вище від поверхні рідини. Якщо м'ясо не зовсім свіже, то на темному фоні чітко видно, як із м'ясної проби «сповзає» біла хмаринка.

Знебарвлення метиленової сині

У склянку об'ємом близько 60 мл поміщують 5 г добре подрібненого м'яса, після чого наповнюють її майже доверху теплою дистильованою водою і додають 1 мл розчини метиленової сині. Закривши склянку притертою пробкою, ставлять її на водяну баню, нагріту до 45 °С, і витримують за цієї температури, спостерігаючи, протягом якого часу відбувається знебарвлення рідини. Якщо забарвлення метиленової сині зникає менш ніж за 1 год., це означає, що м'ясо перебуває в прогресуючій стадії розкладання.

Проба на ізонітрил

Гниття м'яса супроводжується утворенням первинних, вторинних і третинних амінів. Під час нагрівання первинних амінів із хлороформом за наявності КОН утворюються ізонітрили, які мають неприємний запах:

$$R{-}NH_2 + CHCl_3 + 3KOH \rightarrow \underset{\text{ізонітрил}}{R{-}NC} + 3KCl + 3H_2O$$

У пробірку поміщують 1-2 г добре розмеленого м'яса. Обережно підливають до проби 1 мл гарячого насиченого розчину КОН у спирті і 3-4 краплі хлороформу. Швидко перемішують рідину скляною паличкою і відразу виливають уміст пробірки в хімічну склянку, що знаходиться у витяжній шафі. Ополоскують пробірку холодною водою і випробовують її на запах. Якщо м'ясо свіже, то відчувається ароматичний ефіроподібний запах; м'ясо, яке зберігається деякий час, але ще не почало розкладатися, видає злегка неприємний запах. У випадку, коли розкладання вже почалося, з'являється нудотний запах ізонітрилів.

Переліченими способами не можна аналізувати ковбасу, м'ясні консерви, а також солоне м'ясо.

6.6.2. Визначення аналітичних показників зразків м'ясних виробів

Визначення вологи

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: бюкс; тигель; ексикатор; сушильна шафа; пісок.

Заздалегідь у бюкс помістити висушений пісок, який за масою в 2 рази перевищує масу наважки продукту.

Зважити бюкс з піском. До бюксу покласти дрібно розмелену пробу продукту, ретельно перемішати з піском і знов зважити. Вмістити тигель в сушильну шафу і за температури 150 °С протягом 40 хв. просушити. Потім бюкс охолодити в ексикаторі до кімнатної температури і знов зважити. Уміст вологи в продукті визначити за формулою:

$$X = ((m - m_1) / (m - m_0)) \cdot 100\ \%\ ,$$

де m_0 – маса бюкса з піском (г);

m – маса бюкса з піском і наважкою до просушування;

m_1 – маса бюкса з піском і наважкою після просушування.

Нормальний уміст вологи в різних ковбасних виробах наведено у табл. 6.2.

Визначення натрій хлориду

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: водяна баня; електрична плитка; колби на 200-250 мл; бюретка для титрування; 0,05 н р-н $AgNO_3$; 10-відсотковий розчин $KCrO_4$.

5 г дрібно розмеленої проби зважити в хімічній склянці з точністю до 0,01 г і додати 100 мл дистильованої води, перемішати. Нагрівати склянку з наважкою на водяній бані за температури 40 °С протягом 30 хв., періодично помішуючи скляною паличкою. Через 30 хв. водний витяг відфільтровувати, 10 мл фільтрату перенести в колбу і титрувати 0,05 н розчином нітрату срібла за наявності 0,5 мл 10-відсоткового розчину калій хромату до оранжевого забарвлення.

Уміст хлориду натрію визначити за формулою:

$$X = ((0{,}00292 \cdot V \cdot 100 \cdot 10^3) / V_1 \cdot m) \cdot 100\ \%,$$

де 0,00292 − уміст натрій хлориду, еквівалентний 1 мл 0,05 н розчину нітрату срібла, г;

V − об’єм 0,05 н розчину нітрату срібла, який витрачається на титрування, мл;

V_1 − об’єм водного витягу, мл;

m − маса наважки, г.

Нормальний уміст натрій хлориду в різних ковбасних виробах наведено в табл. 6.1.

Визначення крохмалю

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: предметне скло, скляна паличка; розчин Люголя.

На поверхню свіжого розрізу ковбасного виробу нанести 2 краплі розчину Люголя. За наявністю крохмалю поверхня забарвлюється в синій або чорно-синій колір. Нормальний уміст крохмалю у різних виробах наведено в табл. 6.2.

Визначення нітритів

Методика експерименту

Обладнання та реактиви: хімічна склянка на 50 мл; фільтрувальний папір; лійка; мірні колби на 100, 200-250, 500 і 1000 мл; водяна баня й електрична плитка; 0,1 н розчин NaOH; 10-відсотковий розчин $ZnSO_4$; 10-відсотковий розчин амоніаку; 0,1 н HCl; стандартні розчини $NaNO_2$; розчин реактиву Грісса.

Робочий розчин: 1 г натрій нітриту ($NaNO_2$) перенести у колбу на 1 л і довести загальний об'єм дистильованою водою до 1 л, 10 мл цього розчину перелити в колбу на 500 мл і довести загальний об'єм дистильованою водою до 500 мл.

Розчин порівняння. 5 мл робочого розчину перенести в колбу на 100 мл і довести загальний об'єм дистильованою водою до 100 мл. У 1 мл цього розчину міститься 0,001 мг $NaNO_2$.

Солі азотистої кислоти (нітрити) застосовують для надання м'ясопродуктам приємного рожевого відтінку. Це також збільшує окисну та мікробіологічну стабільність, смак і запах продукту. Але на утворення «корисного» рожевого пігменту використовується не більше за 10 % внесеного нітриту. Азотиста кислота, яка утворюється з нітриту в шлунку, усмоктується через стінку кишечника та розноситься по всьому організму, де синтезуються нітрозоаміни.

Визначення засноване на реакції Грісса, за якою нітрити в ацетатному середовищі утворюють нітрогенобарвник.

20 г дрібно розмеленої проби вмістити в хімічну склянку, залити нагрітою до 50 °С дистильованою водою. Настояти 10 хв., постійно перемішуючи. Відфільтровувати в колбу на 200 мл. Наважку, що залишилася на фільтрі, промити 2-3 рази дистильованою водою. 20 мл витягу помістити в колбу на 100 мл, додати 10 мл 0,1 н розчину NaOH

і 40 мл 10-відсоткового розчину $ZnSO_4$ для осадження білків. Суміш у колбі нагрівати протягом 7 хв. на водяній бані. Після охолоджування довести загальний об'єм до 100 мл дистильованою водою, перемішати та відфільтровувати. В іншу колбу помістити 5 мл цієї суміші, додати 2 мл 10-відсоткового розчину амоніаку, 2 мл 0,1 н розчину HCl, 2 мл дистильованої води і 5 мл стандартного розчину $NaNO_2$ (див. нижче) для посилення забарвлення. Потім додати 15 мл реактиву Грісса і через хвилину визначити інтенсивність забарвлення за калібрувальною шкалою (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

Калібрувальна шкала для визначення нітритів

Мірні колби на 100 мл	Робочий розчин $NaNO_2$, мл	10-відсотковий розчин амоніаку, мл	0,1 н розчин HCl, мл	Дистильована вода, мл	Уміст нітриту натрію, мг
1	0	5	10	до позначки	0
2	1,0	5	10	до позначки	0,001
3	2,0	5	10	до позначки	0,002
4	4,0	5	10	до позначки	0,004
5	6,0	5	10	до позначки	0,006

Розчини в мірних колбах перемішати. Потім із 5 мірних колб у 5 конічних колб на 100 мл перенести по 15 мл приготованих розчинів і додати по 15 мл реактиву Грісса. Через 15 хв. порівняти забарвлення цього розчину із забарвленням проби.

Уміст нітриту визначають за формулою:

$$X = [(M \cdot 200 \cdot 100 \cdot 30) / (m \cdot 5 \cdot 20 \cdot 10^6)] \cdot 100\ \%,$$

де М – уміст нітриту, знайдений за калібрувальним графіком;

200 − розведення наважки, мл;

5 і 20 – об'єм взятого фільтрату, мл;

m – маса наважки, г;

30 – об'єм доданих реактивів, мл;

10^6 – коефіцієнт перерахунку в г;

100 – розведення витягу.

Одержані результати порівняти з даними табл. 6.1.

Таблиця 6.2

Нормальний уміст NaCl, крохмалю, вологи і $NaNO_2$, (%)

Вид продукції	Волога	NaCl	$NaNO_2$	Крохмаль
Ковбаса варена (вищий сорт)	50-70	2,2-2,8	0,005	–
Ковбаса варена (перший сорт)	60-70	2,0-2,4	0,005	2

Закінчення таблиці 6.2

Ковбаса варена (другий сорт)	72	2,4	0,005	2
Сосиски (вищий сорт)	65-70	2,0-2,5	0,003-0,005	–
Сосиски (перший сорт)	70-75	2,1-2,4	0,005	–

Контрольні питання

1. Які хімічні показники визначають свіжість м’яса?
2. Які процеси відбуваються під час гниття м’яса?
3. Опишіть сутність визначення вологи у м’ясі.
4. Опишіть сутність визначення крохмалю та хлориду натрію у м’ясі.
5. Для чого застосовують нітрити для виготовлення м’ясної продукції?
6. Охарактеризуйте сутність визначення нітритів у м’ясній продукції.
7. Які норми вмісту хлориду натрію, нітритів, крохмалю у м’ясних продуктах?

ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК

Аналіз за методом Рутковського полягає у виділенні глинистої, пилуватої та піщаної фракцій, ґрунтується на здатності часток ґрунтів і ґрунтоутворювальних порід набухати у воді.

Аналітичні терези – чутливий вимірювальний прилад для визначення маси речовин із точністю до 0,0001 г. Ця точність необхідна для проведення кількісного аналізу.

Біоіндикатори – організми, наявність, кількість та особливості розвитку яких є показниками природничих процесів, умов або антропогенних змін середовища існування. Біоіндикатори об'єднують усі без винятку біологічно важливі дані про навколишнє середовище і відображають його стан загалом; показують швидкість перебігу змін у природному середовищі; вказують шляхи і місця накопичення в екологічних системах різного роду забруднень і можливі шляхи переміщення останніх ланцюгами живлення.

На думку американського еколога Ю. Одума (1975 р.), вибираючи біоіндикатор, необхідно враховувати такі положення:

1. Стенотопні види (тобто види, які пристосовані до існування в суворо визначених умовах), більш рідкісні в угрупованнях, як правило, є найкращими індикаторами, на відміну від евритопних видів (широко розповсюджені, мають широкий діапазон екологічної витривалості).

2. Під час спостережень протягом тривалого часу крупні види є кращими індикаторами, ніж дрібні, тому що швидкість обігу останніх у біоценозах вища і вони можуть не потрапити в пробу на момент дослідів.

3. При виділенні виду (або групи видів), які використовують як індикатор дії будь-якого фактору, необхідно мати польові та експериментальні дані про лімітні значення цього фактору, враховуючи можливі компенсаторні реакції організму і толерантність виду (групи видів).

4. Чисельне співвідношення різних видів (популяцій або угруповань) є більш надійним та найкращим індикатором, ніж чисельність одного виду («ціле краще, ніж частина», відображує загальну суму умов).

Біоіндикація – це комплекс специфічних реакцій живого організму або біологічного елемента на дію визначеної речовини, причому ці реакції можна реєструвати, а за цими результатами давати оцінку наявності забруднювача та його концентрації.

Важкі метали − це елементи періодичної системи Д. І. Мендєлєєва з відносною молекулярною масою понад 50: V, Cr, Mn, Fe, Co,

Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi та ін. Їх відносять до пріоритетних забруднювачів, спостереження за якими обов'язкове в усіх середовищах.

У сучасній кольоровій металургії розрізняють важкі кольорові метали – густина 7,14-21,4 г/см^3 (цинк, олово, мідь, свинець, хром та ін.) і легкі кольорові метали – щільність 0,53-3,5 г/см^3 (літій, берилій та ін.). Згідно з однією класифікацією, до групи важких металів належить понад 40 елементів із високою відносною атомною масою й густиною понад 6 г/см^3. За іншою класифікацією, до цієї групи включають кольорові метали з густиною більшою, ніж у заліза (свинець, мідь, цинк, нікель, кадмій, кобальт, олово, сурма, вісмут, ртуть).

Вологоємність ґрунту – величина, що кількісно характеризує водоутримуючу місткість ґрунту; здатність ґрунту поглинати й утримувати в собі певну кількість вологи дією капілярних і сорбційних сил.

Вологоємність ґрунту капілярна – максимальна кількість вологи, що утримується в ґрунті капілярними (менісковими) силами над рівнем ґрунтових вод.

Вологоємність ґрунту максимальна адсорбційна − зв'язана волога, сорбована волога, орієнтовна волога – найбільша кількість міцно зв'язаної води, що утримується сорбційними силами.

Вологоємність ґрунту (НВ) найменша (польова) – відповідає такій кількості води, яка складається з усіх форм ґрунтової вологи, крім підґрунтової, гравітаційної та капілярно-підпертої. Це верхня межа доступної рослинам ґрунтової вологи після стікання гравітаційної води.

Вологоємність повна (ПВ) – найбільша кількість вологи, яку здатний утримувати ґрунт, коли всі пори (капілярні і некапілярні) заповнені водою і поглинальна здатність ґрунту повністю реалізована.

Гравіметричний (ваговий) аналіз є найбільш вивченим методом кількісного аналізу. Він є основним методом визначення відносних атомних мас елементів. За допомогою цього методу аналізу встановлено хімічний склад більшості речовин, ним користуються для встановлення чистоти речовин. Суть гравіметричного аналізу полягає в тому, що складову частину речовини, яку визначають, відокремлюють осаджуванням у вигляді важкорозчинної сполуки відомого сталого складу і потім зважують.

Ґрунт − це біокісне тіло, яке складається разом із живих та кісних (неорганічних) тіл – мінералів, повітря, води, органічних решток.

Ерозія ґрунту − це різноманітні процеси руйнування та змиву ґрунтового покриву потоками води або вітром. У зв'язку з цим розрізняють водну та вітрову ерозію. Часто вітрову ерозію називають ще еоловою (Еол − грецький бог вітрів).

Закон Бугера-Ламберта-Бера встановлює залежність оптичної густини забарвленого розчину від концентрації речовини, товщини

шару і молярного коефіцієнта поглинання ε і має такий математичний вираз:

$$A = C \cdot \varepsilon \cdot l.$$

Земельні ресурси – сукупний природний ресурс поверхні суші як просторового базису розселення та господарської діяльності, основний засіб виробництва в сільському та лісовому господарстві.

Чим важчим є гранулометричний склад ґрунту і вищим уміст у ній гумусу, тим більша частка зв'язаної, майже недоступної вологи ґрунту.

Індикація – це кількісне та якісне визначення вмісту хімічних речовин в об'єктах навколишнього середовища, в організмах людей і тварин.

Йонний добуток води – добуток концентрацій йонів Гідрогену і гідроксид-йонів за сталої температури. Ця величина є сталою.

Кислотність ґрунту актуальна зумовлена наявністю йонів Гідрогену в ґрунтовому розчині. Залежить від наявності в ґрунтовому розчині вільних кислот, гідролітично кислих солей, ступеня їх дисоціації.

Кислотність потенційна – здатність ґрунту під час взаємодії з розчинами солей проявляти властивості слабкої кислоти. Потенційна кислотність визначається властивостями твердої фази ґрунту, що зумовлює появу додаткових йонів Гідрогену в розчині під час взаємодії з добривами або хімікатами. Характеризує сумарну концентрацію кислот та кислотних агентів, що існують у цьому ґрунті, як у дисоційованому, так і недисоційованому стані.

Колориметричний метод. Основою колориметричного методу аналізу є реакції утворення або руйнування забарвлених сполук, тобто сполук, які здатні поглинати світло. У практиці навчальних лабораторій можна рекомендувати використання методу візуальної колориметрії, зокрема метод стандартних серій. Сутність методу стандартних серій полягає в тому, що розчин, що досліджується, порівнюють із набором стандартних розчинів, які мають бути свіжовиготовленими і відрізнятися один від одного не менш ніж на 11-15 %. Для найточнішого визначення елементу використовують спеціальні прилади: фотоелектроколориметри (ФЕК). Під час роботи ФЕКу частіше за все використовують метод градуйованої кривої, заснований на побудові калібрувального графіка в осях «оптична густина – концентрація» (для стандартних розчинів). Вимірявши оптичну густину розчину, за графіком знаходять концентрацію досліджуваної речовини.

Методи кислотно-основного титрування (метод нейтралізації). Основою цих методів є реакція нейтралізації. Точка еквівалентності фіксується за допомогою індикаторів, що змінюють своє забарвлення залежно від реакції середовища (значення pH).

Методи комплексоутворення. Ці методи дають можливість визначати цілу низку катіонів (Mg^{2+}, Ca^{2+}, Zn^{2+}, Hg^{2+}, Al^{3+} та ін.) й аніонів (CN^-, F^-, Cl^-), що мають здатність утворювати малодисоційовані комплексні йони. Особливе місце займає комплексон ІІІ (трилон Б), який широко використовують у кількісному аналізі. Точку еквівалентності встановлюють за допомогою металіндикаторів.

Методи окиснення-відновлення. Ці методи засновані на окисно-відновних реакціях, що протікають між речовинами: що визначається і речовиною робочого розчину (перманганатометрія, йодометрія, хроматометрія та ін.).

Методи осадження. Методом осаджувального титрування визначають елемент, який, взаємодіючи з титрованим розчином, може осідати у вигляді малорозчинної сполуки; у такому випадку змінюються властивості середовища, що дає змогу встановити точку еквівалентності.

Механічні елементи ґрунту − тверда фаза ґрунтів і ґрунтоутворювальних порід, що містить частки різної розмірності.

Молярним коефіцієнтом поглинання називають оптичну густину одномолярного розчину при товщині шару 1 см.

Моніторинг ґрунтів − система спостережень за станом земельного фонду з метою своєчасного виявлення змін, їх оцінювання, відвернення й ліквідації наслідків негативних процесів

Моніторинг довкілля − це комплексна система спостережень, оцінювання і прогнозу змін біосфери та її окремих компонентів під впливом антропогенних факторів. Дві альтернативні концепції було розроблено на початку 70-х рр. ХХ ст. Ю. Ізраелем та І. Герасимовим.

Моніторинг довкілля за Ю. Ізраелем (1974, 1979 рр.) – система спостережень, оцінювання та прогнозу антропогенних змін стану абіотичних компонентів біосфери, зворотної реакції екосистем на ці зміни та антропогенних змін, що пов’язані з господарською діяльністю людини.

Моніторинг довкілля за І. Герасимовим (1975 р.) – це система спостережень, контролю та управління станом довкілля.

Моніторинг біосферний (глобальний) – це спостереження за фоновим станом довкілля на значних територіях.

Моніторинг екологічний – це система контролю стану екологічних систем (біогеоценозів) і природних комплексів, зміни стану окремих видів природних ресурсів (водних, земельних, рослинних, ресурсів тваринного світу та ін.).

Моніторинг санітарно-гігієнічний – це система спостережень за якістю довкілля, головним чином з точки зору охорони здоров’я населення.

Оптична густина розчину A дорівнює десятковому логарифму відношення початкової інтенсивності пучка світла I_o до інтенсивності пучка світла I, який пройшов крізь усю товщину l забарвленого розчину:

$$A = \lg \frac{I_0}{I} \cdot l$$

Потенціометричний метод аналізу призначено для визначення вмісту йонів Гідрогену в широкому діапазоні pH (від 0 до 14) і температур (від 0 до 100 °C). Суть потенціометричного аналізу полягає у визначенні вмісту йонів за допомогою вимірювання електрохімічного потенціалу електрода, зануреного в досліджуваний розчин. Потенціометричний аналіз було розроблено наприкінці XIX ст., після того, як В. Г. Нернст вивів рівняння, яке пов'язує значення потенціалу металічного електрода з концентрацією йонів цього ж металу в розчині. У потенціометрії використовують два типи електродів: індикаторний і стандартний (або електрод порівняння). Значення потенціалів електродів порівняння відомі. Це дає змогу застосовувати їх в абсолютній потенціометрії, коли необхідно визначати абсолютне значення потенціалу індикаторного електрода, а не тільки її зміну в процесі титрування. Найчастіше використовують такі стандартні електроди: каломельний та хлоросрібний.

Седиментаційний аналіз полягає у відокремленні часток унаслідок швидкості осадження (седиментації) їх у воді, залежно від маси й величини: швидкість осадження частки (υ) пропорційна її радіусу (R) у другому степені, тобто $\upsilon = f(R^2)$ (закон Стокса).

Ситовий гранулометричний аналіз широко застосовується для визначення механічного складу піщаних і супіщаних ґрунтів за допомогою стандартного набору сит із наступним зважуванням виділених фракцій.

Твердість (жорсткість води) – сумарний уміст солей магнію та кальцію у воді називається її *загальною твердістю (жорсткістю)*. Загальну твердість води поділяють на *тимчасову* (або *карбонатну*) *і постійну* (*або некарбонатну*).

Тимчасова твердість води зумовлена наявністю кальцій і магній гідрогенкарбонатів, її можна усунути тривалим кип'ятінням води:

$$Me(HCO_3)_2 \rightarrow MeCO_3\downarrow + H_2O + CO_2.$$

Постійна твердість води зумовлена наявністю у воді солей сильних кислот – магній і кальцій сульфатів і хлоридів; кип'ятінням постійну твердість води усунути неможливо.

Твердість води прийнято виражати числом міліеквівалентів (мекв) йонів Mg^{2+} і Ca^{2+} що містяться в 1 л води (1 мекв = 20,04 мг/л Ca^{2+} або 12,16 мг/л Mg^{2+}).

Воду, що містить менш ніж 4 мекв/л йонів Ca^{2+} і Mg^{2+}, називають м'якою, від 4 до 8 – середньої твердості, понад 8 – твердою.

Технохімічні терези – вимірювальний прилад для визначення маси речовин із точністю до 0,01 г.

Титриметричний (об'ємний) метод. Цей метод має ряд переваг перед гравіметричним. Це швидкість аналізу, відносна простота операцій, достатня точність, у зв'язку з чим його досить широко використовують у лабораторній практиці. Під час цього аналізу зважування замінюють вимірюванням об'ємів як речовини, що визначається, так і робочих розчинів, що використовуються в цьому визначенні. Якщо потрібно провести об'ємним методом аналіз сухої речовини, то беруть її точну наважку масою 0,1-0,2 г, розчиняють у мірній колбі, перемішують, піпеткою відбирають певний об'єм розчину, у разі необхідності додають буферну суміш, індикатор та інші реагенти та проводять титрування.

Методи титриметричного аналізу поділяють на 4 групи: методи кислотно-основного титрування (метод нейтралізації); методи осадження; методи окиснення-відновлення; методи комплексоутворення.

Хроматографічний аналіз – це фізико-хімічний метод розділення складних сумішей газів, пари, рідин або розчинених речовин на окремі компоненти за допомогою сорбції в динамічних умовах. Хроматографію розрізняють за характером середовища, у якому проводиться розділення (молекулярну адсорбційну, осадову, йонообмінну і розподільну), за способами проведення процесу (колонкову, капілярну, паперову і тонкошарову). Хроматографія – це сучасний і високоефективний метод, що дозволяє достатньо швидко і надійно визначати зміст окремих компонентів у сумішах, концентрувати та ідентифікувати ці компоненти. Метод ефективний не тільки в хімічному аналізі, але й у хімічній технології. У біології та агропромисловій сфері хроматографічне розділення й концентрування використовують перед кількісним визначенням мікроелементів, а також для виявлення пестицидних сполук у довкіллі. Під час технологічного контролю харчових виробництв хроматографія служить для очищення речовин, аналізу сумішей органічних кислот, амінокислот та інших продуктів.

Щільність твердої фази (d) – це інтегрована щільність усіх компонентів твердої фази ґрунту (уламки гірських порід, новоутворені мінерали, органічні частки) або маса одиниці об'єму ґрунту, за винятком пор.

Щільність ґрунту (ρ) – маса одиниці об'єму ґрунту в природному непорушеному й сухому стані.

ЛІТЕРАТУРА

1. Александрова Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л. Н. Александрова. – М. : Наука, 1980. – 287 с.
2. Алексеев С. В. Практикум по экологии : [учебное пособие] / С. В. Алексеев, Н. В. Груздева, А. Г. Муравьев, Э. В. Гущина ; [под ред. С. В. Алексеева]. – М. : АО МДС, 1996. – 192 с.
3. Бондаренко Г. Н. Концепция формообразования и геохимии техногенных радионуклидов / Г. Н. Бондаренко // Сб. наук. работ ДНЦ РНС. – К., 2000. – Вып. 1. – С. 26–48.
4. Бобровський А. Л. Екологія поверхневих вод : у 2 кн. Кн. 1. Гідроекосистеми: основні поняття і принципи : [підручник] / А. Л. Бобровський. – Рівне, 2005. – 319 с.
5. Бобровський А. Л. Екологія поверхневих вод : у 2 кн. Кн. 2. Основи інженерного управління гідроекологічними процесами : [підручник] / А. Л. Бобровський. – Рівне, 2005. – 331 с.
6. Бубела Т. З. Фізико-хімічні вимірювання : [навч. посібник] / Т. З. Бубела. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 152 с.
7. Бухвалов В. А. Методы экологических исследований / В. А. Бухвалов, Л. В. Богданова, Л. З. Купер. – М. : Варяг, 1995. – 167 с.
8. Горбунов Н. И. Минералогия и коллоидная химия почв / Н. И. Горбунов. – М. : Наука, 1974. – 314 с.
9. Гусаров А. В. Аудиторно-практические работы по курсу география почв с основами почвоведения / А. В. Гусаров. – Казань, 2008. – 36 с.
10. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього середовища : [навч. посіб.] / В. С. Джигирей. – 5-те вид., випр. і доп. – К. : Т-во «Знання», КОО, 2007. – 422 с.
11. Дуган О. М. Екологія : [навч. посібник для дистанційного навчання] / О. М. Дуган, Г. О. Статюха. – К. : Університет «Україна», 2007. – 214 с.
12. Елпатьевский П. В. Геохимия миграционных потоков в природно-техногенных геосистемах / П. В. Елпатьевский. – М. : Наука, 1993. – 252 с.
13. Заверуха Н. М. Основи екології : [навчальний посібник] / Н. М. Заверуха, В. В. Серебряков, Ю. А. Скиба. – К. : Каравела, 2011. – 304 с.

14. Закон України «Про охорону земель» (ст. 1) ; м. Київ, 19 червня 2003 року № 962-IV [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/962-15/page.
15. Запольський А. К. Основи екології : [підручник] / А. К. Запольський, А. І. Салюк ; [за ред. К. М. Ситника]. – К. : Вища школа, 2005. – 382 с.
16. Зырин Н. Г. Нормирование содержания тяжелых металлов в системе почва-растение / Н. Г. Зырин, Г. В. Каплунова, Л. В. Сердюкова // Химия в сел. х-ве. – 1985. – № 6. – С. 45–48.
17. Израэль Ю. А. Глобальные системы наблюдений. Прогноз и оценка природной среды. Основы мониторинга / Ю. А. Израэль // Метеорология и гидрология. – 1974. – № 7. – С. 38.
18. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль. – Л. : Гидрометеоиздат, 1979. – 376 с.
19. Клименко М. О. Моніторинг довкілля : [підручник] / М. О. Клименко, А. М. Прищепа, Н. М. Вознюк. – К. : Видавничий центр «Академія», 2006. – 360 с.
20. Клименко М. О. Метрологія, стандартизація та сертифікація в екології : [підручник] / М. О. Клименко, П. М. Скрипчук. – К. : Видавничий центр «Академія», 2006. – 368 с.
21. Кузнецова И. А. Полевой практикум по экологии / И. А. Кузнецова, А. К. Ибрагимов, В. В. Неручев, Г. А. Юлова. − М. : Наука, 1994. − 73 с.
22. Лурье Ю. Ю. Химический анализ производственных сточных вод / Ю. Ю. Лурье, А. И. Рыбникова. − М. : Химия, 1974. − 335 с.
23. Мітрясова О. П. Практикум з хімічного моніторингу довкілля : [навч. посібник]. – Миколаїв : Вид-во МДАУ, 2005. – 120 с.
24. Мітрясова О. П. Хімія. Загальна хімія. Хімія довкілля : [навчальний посібник] / О. П. Мітрясова. – К. : Видавничий дім «Професіонал», 2009. – 336 с.
25. Моисеенко Т. И. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: Технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология / Т. И. Моисеенко, Л. П. Кудрявцева, Н. А. Гашкина ; Ин-т водных проблем РАН. – М. : Наука, 2006. – 261 с.
26. Новиков Ю. В. Методы исследования качества воды водоемов / Ю. В. Новиков, К. О. Ласточкина, З. Н. Болдина ; [под ред. А. П. Шицковой]. – М. : Медицина, 1990. – 400 с.
27. Назаренко І. І. Ґрунтознавство : [підручник] / І. І. Назаренко, С. М. Польчина, В. А. Нікорич. – Чернівці : Книги – ХХІ, 2004. – 400 с.

28. Орлов Д. С. Химия почв : [учебн. для студентов вузов] / Д. С. Орлов. – М. : МГУ, 1992. – 400 с.
29. Охрана и оптимизация окружающей среды / [под ред. А. А. Лаптева]. – К. : Лыбидь, 1990. – 256 с.
30. Перегуд Е. А. Быстрые методы определения вредных веществ в воздухе / Е. А. Перегуд, М. С. Быховская, Е. В. Гернет. – М. : Химия, 1970. – 360 с.
31. Постанова КМУ «Про затвердження Положення про моніторинг земель» від 20 серпня 1993 р. № 661 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/661-93-%D0%BF.
32. Погребенник В. Д. Оперативне вимірювання інтегральних параметрів водного середовища та донних відкладів : [монографія] / В. Д. Погребенник. – Львів : Сполом, 2011. – 280 с.
33. Романова Н. В. Основи хімічного аналізу : [навч. посібник] / Н. В. Романова. – К. : Освіта, 1992. – 192 с.
34. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – Л. : Гидрометеоиздат, 1979. – 447 с.
35. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / [под ред. А. Д. Семенова]. – Л. : Гидрометеоиздат, 1977. – 543 с.
36. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде : [справочное издание] / М. Т. Дмитриев, Н. И. Казнина, И. О. Пинигина. – М. : Химия, 1989. – 368 с.
37. Татарина Л. Ф. Экологический практикум для студентов и школьников (Биоиндикация загрязнения окружающей среды) / Л. Ф. Татарина. – М. : Аргус, 1997. – 80 с.
38. Шитиков В. К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В. К. Шитиков, Г. С. Розенберг, Т. Д. Зинченко. – Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
39. Экология родного края / [под ред. Т. Я. Ашихминой]. – Киров : Вятка, 1996. – 720 с.

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

Навчальне видання

Олена Петрівна МІТРЯСОВА
Віктор Миколайович СМИРНОВ

ПРАКТИКУМ З ХІМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ

Навчальний посібник

Редактор, технічний редактор *С. Куришко.*
Комп'ютерна верстка *М. Шевчук.*
Друк *О. Мішалкіна.* Фальцювально-палітурні роботи *Ю. Шаповалова.*

Підп. до друку 26.12.2013 р.
Формат 60x84$^{1}/_{16}$. Папір офсет.
Гарнітура «Times New Roman». Друк ризограф.
Ум. друк. арк. 9,30. Обл.-вид. арк. 7,06.
Тираж 100 пр. Зам. № 4031.

Видавець і виготовлювач: ЧДУ ім. Петра Могили.
54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.
Тел.: 8 (0512) 50-03-32, 8 (0512) 76-55-81, e-mail: rector@chdu.edu.ua.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3460 від 10.04.2009 р.