

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Захист атмосферного повітря від забруднення
газоподібними домішками**

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

**Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2021**

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Захист атмосферного повітря від забруднення газоподібними домішками

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів рівня вищої освіти бакалавр
за освітньо-професійною програмою ОПП «Екологічна безпека» спеціальності 101 Екологія;
ОПП «Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології» спеціальності 161 Хімічні
технології та інженерія.*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2021

Захист атмосферного повітря від забруднення газоподібними домішками. Лабораторний практикум [Текст]: навч. посіб. для студентів спеціальності 101 Екологія; 161 Хімічні технології та інженерія / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Т. А. Оверченко, О. І. Іваненко, Ю. В. Носачова, М. М. Твердохліб. – Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2021. – 34 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №2 від 9.12. 2021р.)
за поданням Вченої ради Інженерно-хімічного факультету (протокол №10 від 29.11.2021 р.)*

Навчальне видання
**Захист атмосферного повітря від забруднення газоподібними
домішками**
Лабораторний практикум

Укладачі:

Оверченко Тетяна Анатоліївна, к.т.н., старший викладач
Іваненко Олена Іванівна, д.т.н, доцент
Носачова Юлія Вікторівна, к.т.н., доцент
Твердохліб Марія Миколаївна, к.т.н., асистент

Рецензент: ***Фроленкова С. В., к.т.н., доцент***

Відповідальний
редактор: ***Гомеля М. Д., д.т.н., професор***

У методичних вказівках до виконання лабораторних робіт подані основні теоретичні положення, перелічено необхідні прилади, обладнання і матеріали, представлено опис схем лабораторних установок, що використовуються в ході проведення роботи. Викладений порядок виконання визначення концентрації токсичних речовин у повітрі за допомогою газоаналізатора УГ-2, концентрації соляної кислоти у повітрі, вмісту аміаку в атмосфері довкілля, забрудненості атмосферного повітря за допомогою ліхеноіндикації, визначення вуглекислого газу у повітрі, вмісту радіонуклідів цезію та калію у витяжці листового опаду методом гамма-радіометрії, визначення бета-активності продукції листового походження шляхом радіометрії її зольних залишків.

Посібник призначений для студентів-здобувачів ступеня бакалавра, які навчаються за освітньою програмою «Екологічна безпека» спеціальності 101 «Екологія» та за освітньою програмою «Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» на інженерно-хімічному факультеті КПІ ім. Ігоря Сікорського.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021

ПЕРЕДМОВА

Дисципліна «Захист атмосферного повітря від забруднення газоподібними домішками» належить до циклу професійної підготовки, відповідно до освітньо-професійної програми ОПП Екологічна безпека рівня вищої освіти бакалавр спеціальності 101 Екологія; ОПП Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології рівня вищої освіти бакалавр спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія. Метою навчальної дисципліни є вивчення основних джерел забруднення атмосферного повітря, ознайомлення з природоохоронними технологіями захисту атмосфери, що базуються на способах очищення від газоподібних речовин, вибору та розрахунку очисного обладнання з метою зменшення навантаження на навколишнє середовище.

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт спрямовані на засвоєння студентами теоретичних основ навчальної дисципліни, ознайомлення з будовою, принципами дії і використанням сучасного пилогазоочисного обладнання, оволодінням методами контролю паро-газових забруднювачів атмосферного повітря, формування вмінь та навичок проведення досліджень, обробки та аналізу отриманих даних для формування висновків щодо рекомендацій по захисту довкілля.

Перед початком виконанням лабораторних робіт студенти мають обов'язково пройти загальний інструктаж з техніки безпеки, ознайомитися зі стендом або установкою для виконання експериментальних досліджень під наглядом викладача. Порушення або невиконання студентом вимог техніки безпеки при проведенні лабораторних робіт кваліфікується як грубе порушення правил внутрішнього розпорядку КПІ ім. Ігоря Сікорського з відповідними наслідками.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Визначення концентрації токсичних речовин у повітрі за допомогою газоаналізатора УГ-2

Мета роботи: навчитися визначати концентрацію токсичних речовин у повітрі робочої зони промислових приміщень за допомогою універсального газоаналізатора УГ – 2.

Теоретичні положення

Найбільша питома вага забруднень атмосферного повітря припадає на частку оксидів вуглецю, сірки та азоту, вуглеводнів і промислового пилу. Основними джерелами забруднення атмосфери є транспорт (~70 %), а також промисловість, теплові електростанції. В атмосферу Землі щорічно викидається 250 млн т пилу, 200 млн т оксиду вуглецю, 150 млн т діоксиду сірки, 50 млн т оксиду азоту, більш 50 млн т різних вуглеводнів і 20 млрд т діоксиду вуглецю.

На сьогоднішній час у світі експлуатується понад 250 млн автомобілів, які викидають відпрацьовані гази, що містять приблизно 200 речовин, у тому числі вуглеводні, що мають канцерогенні властивості. Кожна машина, що пройшла 15 тис. км, споживає 4350 кг кисню, а викидає 3250 кг диоксиду вуглецю, 520 кг оксиду вуглецю, 93 кг вуглеводнів, 27 кг оксиду азоту. Тверді частки сажі та вуглеводні утворюють аерозолі, що осідають у безпосередній близькості від дороги. Час перебування дрібних часток в атмосфері складає від одного до 4 тижнів. Таким чином, в 102 містах України з населенням 41 млн концентрація шкідливих речовин в атмосфері іноді в десятки разів перевищує допустиму.

Прилади та обладнання

- газоаналізатор універсальний УГ-2;
- комплект індикаторних засобів УГ-2.

Пристрій УГ – 2

Принцип роботи пристрою

Повітрязаборний пристрій УГ-2 (рис. 1) складається з гумового сильфону 1 із двома фланцями, циліндра з пружиною 2, що знаходяться всередині корпусу. У внутрішніх гофрах сильфону встановлені розпирні кільця для надання твердості сильфону і збереження сталості об'єму. На верхній пластині знаходиться нерухома втулка 3 для утримання штоку 4 при стискуванні сильфону. На штуцер 9 із внутрішньої сторони встановлена гумова трубка 6, що через нижню частину фланцю з'єднується з внутрішньою порожниною сильфону. Вільний кінець гумової трубки служить для приєднання індикаторної трубки при аналізі. На циліндричній поверхні штоку 4 розташовані чотири повздовжні канавки з двома поглибленнями 5 для фіксації двох положень штоку фіксатором 7.

Виготовлення індикаторних трубок

Перед заповненням скляні індикаторні трубки миють хромовою сумішшю, водою і сушать при температурі 120 – 130 °С. Висушені трубки повинні зберігатися в ексикаторі.

В один кінець скляної індикаторної трубки вставляють стрижень, у протилежний кінець трубки вкладають тампон з вати і ущільнюють вату за допомогою стрижня до 2 – 3 мм. Виймають стрижень. Через лійку в індикаторну трубку насипають до краю індикаторний порошок з ампули, розкритої перед застосуванням. Ампулу з індикаторним порошком, що залишився, відразу ж закривають заглушкою за допомогою гумової трубки довжиною 25 мм або пересипають у порожню ампулу, і ампула запаюється.

Трубку тримають вертикально, постукуючи по стінці. Стрижнем ущільнюють стовпчик індикаторного порошку і вкладають другий ватний тампон товщиною 2 – 3 мм. Довжина ущільненого стовпчика індикаторного порошку контролюється довжиною стрижня від кінця до нанесеної на ньому поділки. Недостатнє ущільнення індикаторного порошку в трубці контролюється тривалістю ходу штоку до заклацування фіксатору у канавці штоку.

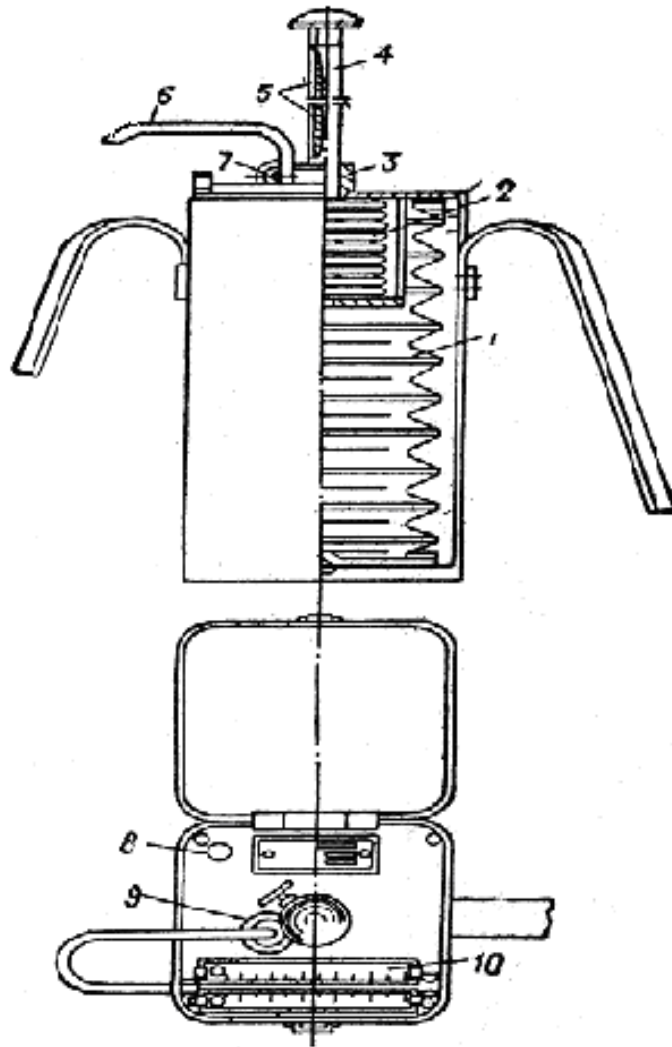


Рис.1. Газоаналізатор універсальний УГ – 2: 1 – гумовий сильфон, 2 – циліндр з пружиною; 3 – нерухома втулка; 4 – шток; 5 – поглиблення штоку; 6 – гумова трубка; 7 – фіксатор; 8 – отвір для зберігання штоку; 9 – штуцер; 10 – підставка зі шкалами.

Порядок виконання роботи

Перед початком роботи індикаторні трубки необхідно витримати 30 хв для досягнення температури навколишнього середовища. Для визначення концентрації обумовленого газу відкривають кришку повітрязаборного пристрою УГ-2, відводять фіксатор, беруть із гнізда шток і вставляють його в направляючу втулку так, щоб кінець фіксатора сковзав по канавці штоку, над якою зазначено обсяг повітря, що просмоктується.

Тиском руки на голівку штоку сильфон стискають доти, поки фіксатор не потрапить у верхнє поглиблення в канавці штоку. При цьому кінець гумової трубки залишають вільним.

Трубку не віджимають. Беруть індикаторну трубку, звільняють від ковпачків, уникаючи засмічення її герметичним матеріалом. Приєднують її до гумової трубки газо-повітряного пристрою, попередньо перевіривши ущільнення індикаторного порошку та розташовують у місці виміру.

При наявності в атмосферному повітрі парів, що заважають визначенню, їх уловлюють фільтр-патроном, який приєднують за допомогою гумової трубки до індикаторної трубки вузьким кінцем встик.

Вимірювання варто починати не пізніше 1 хв після розгерметизації трубок. Надавляючи однією рукою на голівку штоку, іншою відводять фіксатор. Як тільки шток починає рухатися, фіксатор відпускають і включають секундомір. Коли фіксатор увійде в нижнє поглиблення канавки штоку, чутно клацання. Об'єм просмоктуваного повітря повинен відповідати вказаному в табл.1. При просмоктуванні заданого обсягу повітря тривалість ходу штоку повинна вкладатися в межі, зазначені на етикетці вимірювальної шкали для обумовленого газу. Індикаторний порошок після впливу визначеного газу змінює фарбування.

Концентрацію обумовленого газу знаходять, сполучаючи нижню границю стовпчика пофарбованого порошку в індикаторній трубці з нульовою оцінкою вимірювальної шкали етикетки. Цифра на шкалі, що збігається з верхньою границею пофарбованого стовпчика порошку, вказує на концентрацію обумовленого газу.

Після закінчення роботи патрон від'єднують від індикаторної трубки, негайно закривають заглушками й укладають на збереження. Вимірювання проводять не менше 2 – 3 разів, щоразу новою трубкою. За результат вимірювання приймається середнє арифметичне значення.

Таблиця 1

Шкідливі речовини, що визначаються газоаналізатором УГ – 2

Речовина, що вимірю- ється	Об'єм повітря, що просмо- ктується	Межі вимірюван- ня, мг/м ³	Трива- лість аналізу, с	Склад індикаторно- го порошку	Колір індикаторного порошку		Речовини, що зава- жають визначен- ню
					почат- ковий	після аналізу	
Аміак	200	2,5 – 30	120	Бромфеноло- вий синій, C ₂ H ₅ OH	жовтий	синій	Пари кислот, луг
Ацетилен	300	50 – 1400	420	KIO ₃ , H ₂ SO ₄	білий	корич- невий	-
Ацетон	300	100 – 2000	420	C ₂ H ₅ OH NH ₂ OH·HCl	синій	жов- тий	Кетони, ефір, ангидрид
Бензин	300	50 – 1000	420	KIO ₃ , H ₂ SO ₄	білий	корич- невий	-
Бензол	1200	2 – 25	1080	KIO ₃ , H ₂ SO ₄	білий	сіробе- жевий	Аромати- чні вугле- водні
Ксилол	300	25 – 500	240	Параформаль дегід, H ₂ SO ₄	білий	черво- ний	Бензол, толуол
Оксиди азоту	300	2,5 – 50	420	CH ₃ COOH, C ₂ H ₅ OH, о-дианізидин	білий	черво- ний	Галогени, озон
Оксид вуглецю	200	5 – 120	420	KIO ₃ , H ₂ SO ₄	білий	Корич- неве кільце	-
Сірчаний ангидрид	300	5 – 30	300	KI, I ₂ , HgI ₂ , крохмаль	сірий	білий	-
Сірково- день	300	5 – 30	300	Pb(CH ₃ COO) ₂ CH ₃ COOH, BaCl ₂	білий	темно- сірий	Меркап- тани
Толуол	300	25 – 500	420	KIO ₃ , H ₂ SO ₄	білий	корич- невий	Спирти, ефір
Углеводні нафти	300	100 – 1500	420	KIO ₃ , H ₂ SO ₄	білий	корич- невий	альдегіди -
Хлор	300	0,5 – 15	300	KBr, K ₂ CO ₃ , KOH	жовтий	черво- ний	Галогени
Етиловий ефір	400	100 - 3000	600	флуоресцеїн CrO ₃ , H ₂ SO ₄	жовтий	зеле- ний	-

Результат вимірювання концентрації обумовленого газу приводять до нормальних умов (Сп): температура $t = 293 \text{ K}$, тиск $P = 101,3 \text{ кПа}$ (760 мм.рт.ст.), відносна вологість $\varphi = 60 \%$. Концентрація (Сп) при н.у. у мг/м^3 обчислюють за формулою:

$$C_{\text{п}} = C_{t,\varphi, P} \cdot ((273 + t) \cdot 101,3 / 293 \cdot P) \cdot K$$

K – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив температури навколишнього повітря на показання індикаторних трубок.

Висновки

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Визначення концентрації соляної кислоти у повітрі

Мета роботи: навчитися самостійно виготовляти індикаторні скляні трубки та визначати концентрацію соляної кислоти у повітрі за їх допомогою.

Прилади та обладнання

- газоаналізатор універсальний УГ-2;
- ваги технічні;
- ваги аналітичні;
- сушильна шафа.

Виготовлення індикаторних скляних трубок

Приготування скла

Для виготовлення індикаторного скла попередньо б'ється скляний брукт. Розбите скло розтирається в ступці і просіюється через сито у послідовності 1; 0,5; 0,25 мм. Скло, що пройшло сито 0,5 мм та затрималося на ситі 0,25 мм, годиться для подальшої роботи.

Скло засипають у хімічну склянку, заливають дистильованою водою і концентрованою НСІ та кип'ятять 15 хв. Потім промивають до нейтрального середовища фільтрату. Знову заливають дистильованою водою і ще раз кип'ятять 15 хв. Після цього відділяють воду декантацією. Скло висушують у сушильній шафі при температурі 105 °С протягом 1 години в тонкому шарі на чашці Петрі.

Виготовлення трубок

Для виготовлення 10 трубок зважують на технічних вагах 4,3 г скла. Додають 1,1 мг вердозилу, зваженого на аналітичних вагах. Піпеткою вводять 0,3 см³ триетиленгліколю (ТЕГ). Все дуже ретельно змішують. Індикаторний порошок має набутися зеленого кольору.

Скляні трубки попередньо обробляють соляною кислотою, ретельно відмивають дистильованою водою та сушать при температурі 105 °С у сушильній шафі. В один кінець скляної трубки вкладають ватний тампон та ущільнюють його до 2 – 3 мм. За допомогою воронки наповнюють трубку індикаторним порошком, потроху постукуючи по стінках трубки для ущільнення порошку. Для запобігання висипанню порошку вкладають ватний тампон і з іншого боку трубки.

Порядок виконання роботи

Для визначення концентрації соляної кислоти у повітрі відкривають кришку повітрязаборного пристрою УГ-2, відводять фіксатор, беруть із гнізда шток і вставляють його в направляючу втулку так, щоб кінець фіксатора сковзав по канавці штоку, над якою зазначено обсяг повітря, що просмоктується. Для визначення концентрації НСІ цей обсяг складає 300 см³.

Тиском руки на голівку штоку сильфон стискають доти, поки фіксатор потрапляє у верхнє поглиблення в канавці штоку. При цьому кінець гумової трубки залишають вільним.

Трубку не віджимають. Індикаторну трубку приєднують до гумової трубки газо-повітряного пристрою та розташовують у місці виміру.

Вимір варто починати не пізніше 1 хв після приєднання трубки. Надавляючи однією рукою на голівку штоку, іншою відводять фіксатор. Як тільки шток починає рухатися, фіксатор відпускають. Коли фіксатор увійде в нижнє поглиблення канавки штоку, чутно клацання. Індикаторний порошок після впливу визначеного газу змінює колір з зеленого на фіолетовий.

Після закінчення роботи патрон від'єднують від індикаторної трубки, негайно закривають заглушками і укладають на збереження. Вимірювання проводять не менше 2 – 3 разів, щоразу новою трубкою. За результат вимірювання приймається середнє значення. Дана робота є лише наочною та не дозволяє визначити точну концентрацію НСІ у повітрі.

Висновки

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Визначення вмісту аміаку в атмосфері довкілля

Мета роботи: за допомогою електрохімічного сенсору визначити вміст аміаку в атмосфері довкілля та над водневими розчинами аміаку різної концентрації.

Теоретичні положення

До складу атмосферного повітря входить аміак в дуже незначних кількостях. Однак завдяки антропогенним діям значна кількість аміаку потрапляє в повітря. Сам аміак відноситься до 4 класу небезпеки. Гранично допустима концентрація аміаку як максимальна разова так і середньо добова складають 0,2 мг/м³. Забрудненням атмосфери вважається пряме чи непряме введення в неї будь-якої речовини, яка впливає на якість і склад зовнішнього повітря і при цьому наносить шкоду людям, живій та неживій природі, екосистемі, будівельним

матеріалам, природним ресурсам, - одним словом, всьому довкіллю. Середній час перебування аміаку в атмосфері складає 5 – 6 діб. Протягом цього часу NH_3 може взаємодіяти як з парами води, так і з іншими інгредієнтами, присутніми в атмосфері, та утворювати нові хімічні сполуки. Це і буде вторинне забруднення атмосферного повітря в результаті хімічних перетворень первинного забруднювача. Найчастіше концентрації забруднюючих речовин вимірюються в мг/м^3 .

Іноді використовують об'ємні одиниці, які мають переважно безрозмірний характер - %, ppm. В закордонній літературі для газів часто використовують $1 \text{ ppm}_{\text{об}} = 1 \text{ см}^3/\text{м}^3$. Для ідеального газу при 298 К (25 °С) і тиску 101,325 кПа (760 мм рт.ст.) справедливо:

$$1 \text{ ppm}_{\text{об}} = 1 \text{ см}^3/\text{м}^3 = (\text{молекулярна маса/молекулярний об'єм}) \cdot \text{мг/м}^3 = (1/22,4) \cdot M \cdot 10^3 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3} / 10^6 (298/273) \text{ К} \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{дм}^3 = 0,0409 \cdot M \text{ мг/м}^3,$$

де M – молекулярна маса.

Нижче наведені приклади перерахунку $\text{ppm}_{\text{об}}$ в концентрації в мг/м^3 для реальних газів:

$$1 \text{ ppm}_{\text{SO}_2} = 64,066/22,4 = 2,86 \text{ мг/м}^3 \text{ SO}_2$$

$$1 \text{ ppm}_{\text{NO}_2} = 46,01/22,4 = 2,05 \text{ мг/м}^3 \text{ NO}_2$$

$$1 \text{ ppm}_{\text{NO}} = 30,01/22,4 = 1,34 \text{ мг/м}^3 \text{ NO}$$

Для визначення ГДК NH_3 в повітрі використовують різні методи:

1. Колориметричне визначення продукту, який має колір після взаємодії аміаку з розчином Неслера.
2. Взаємодія аміаку з натрієвосаліцилатним реактивом в присутності гіпохлориту натрію і колориметричне визначення продукту реакції.
3. Лінійно-колористичне визначення по реакції з бромфеноловим синім на приладі УГ-1 чи УГ-2.

Перші два методи вимагають значного часу (20 – 30 годин), а останній має першу риску шкали, що відповідає 3 мг/м^3 .

В останні роки розроблено новий метод визначення NH_3 в повітрі за допомогою електрохімічних реакцій, які реалізуються в електрохімічному сенсори (рис. 2).

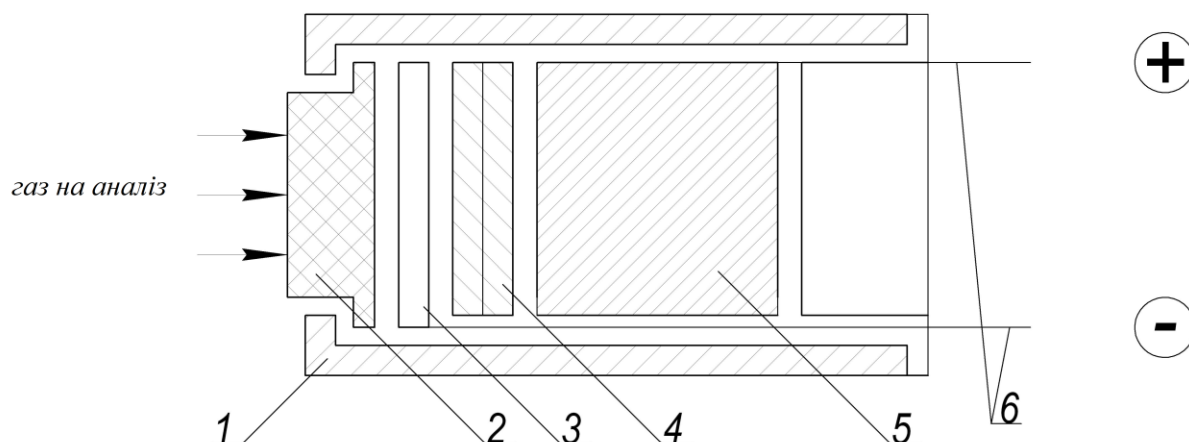


Рис. 2. Будова електрохімічного сенсору: 1 – корпус; 2 – дифузійний канал; 3 – робочий електрод; 4 – діафрагма; 5 – допоміжний електрод; 6 – струмовідводи.

Сам сенсор представляє собою первинний прилад, де генерується електричний струм, пропорційний концентрації NH_3 в повітряній зоні. Сенсор розміщено в зонді, який через кабель з'єднується з приладом (рис. 3), який безпосередньо реєструє концентрацію NH_3 в газовому середовищі в мг/м^3 . Сенсор розрахований на вимірювання концентрації NH_3 від 0 до 1500 ppm NH_3 . Живлення приладу відбувається від джерела постійного струму напругою 9V.

Порядок виконання роботи

Визначення вмісту аміаку в повітрі лабораторії

Ввімкнути прилад, дочекатися встановлення сталого фонового значення концентрації NH_3 в приміщенні та через кожні 30 с зафіксувати три показники на табло. Визначити середнє між трьома показниками концентрації аміаку в приміщенні. Перерахувати показники приладу в мг/м^3 на ppm NH_3 .

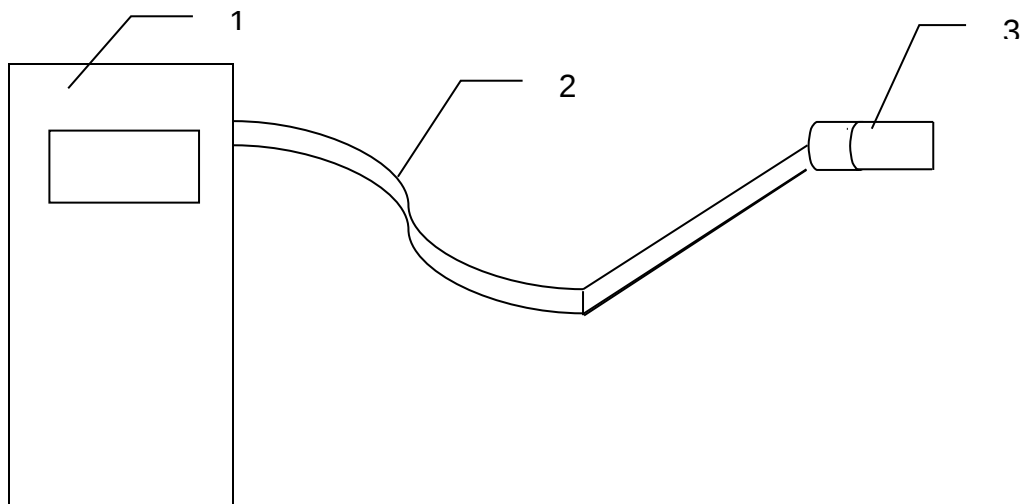


Рис. 3. Схематичне зображення приладу для вимірювання концентрації аміаку в повітряній зоні: 1 – реєструючий прилад; 2 – кабель; 3 – зонд з сенсором.

Визначення вмісту аміаку над водним розчином

Приготувати з 25 % водного розчину аміаку розчини з концентраціями: 0,4 %, 0,3 %, 0,2 % та 0,1 %. Розчини кожної концентрації розміщують в конічній колбі, і над поверхнею рідини вимірюють концентрацію аміаку після встановлення сталою значення, фіксуючи через кожні 30 с три показники приладу. Визначають середнє між трьома показниками концентрації аміаку. Перерахувати показники приладу в мг/м^3 на ppm NH_3 . Будують графік залежності $C_{\text{NH}_3 \text{ газ}} = f(C_{\text{NH}_3 \text{ розчин}})$.

Висновки

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Оцінка забрудненості атмосферного повітря за допомогою ліхеноіндикації

Мета роботи: навчитися оцінювати ступінь забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами за допомогою лишайників.

Теоретичні положення

Лишайники – своєрідна група комплексних організмів – гриба (мікобіонта) й водорості (фікобіонта), які утворюють єдине симбіотичне співжиття, що відрізняється вільними морфологічними типами й особливими фізіологобіохімічними процесами. Вегетативне тіло лишайника, яке називають таломом або сланню, цілком складається з переплетення грибних гіфів. Водорості або розкидані безсистемно серед грибних гіфів у всій товщі слані (рис. 4а), або розташовані окремим диференційованим шаром трохи нижче її поверхні (рис. 4б).

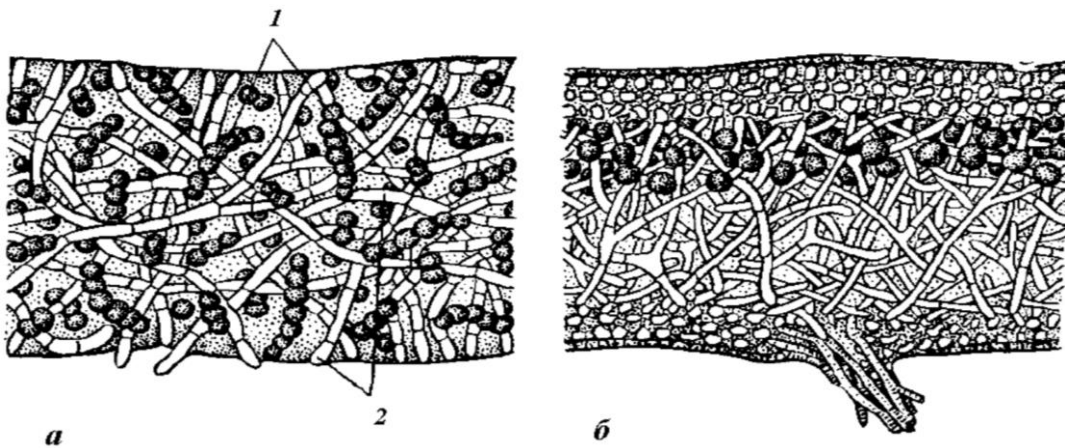


Рис. 4. Клітини водорості, охоплені гіфами гриба: а – поперечний розріз гомеомірного талому; б – поперечний розріз гетеромірного талому (1 – клітини водорості, 2 – гіфи гриба)

Водоростевий та грибний компоненти лишайника перебувають у дуже складних взаєминах. Мікобіонт поводить себе як паразит і сапрофіт

на тілі водорості, а фікобіонт, у свою чергу, паразитує на лишайниковому грибі. При цьому паразитизм фікобіонта завжди носить більш помірний характер, ніж паразитизм гриба. Слань лишайників дуже різноманітна за розмірами, формою, будовою та забарвленням. Залежно від зовнішнього вигляду розрізняють три основних морфологічних типи лишайників:

1. *Накипні*, талом яких являє собою скоринку, що міцно зчеплена зі субстратом (корою дерева, поверхнею каміння) (рис. 5). Такі лишайники неможливо відокремити від субстрату без ушкодження. Як правило, накипні слані мають невеликі розміри, а їхній діаметр становить кілька міліметрів або сантиметрів (іноді може досягати й 20 – 30 см).

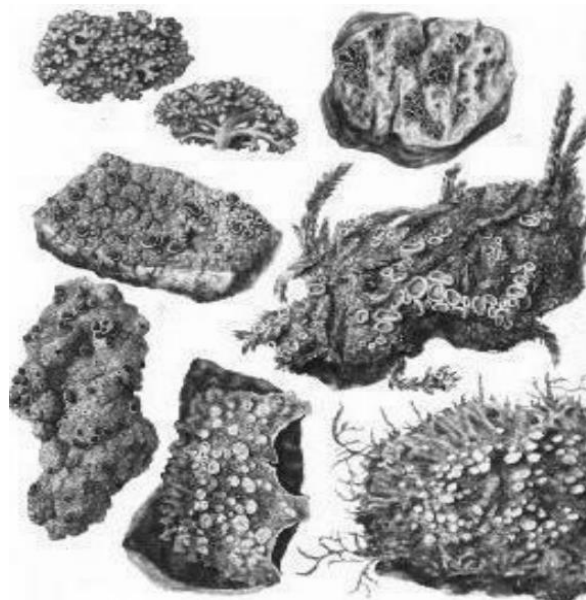
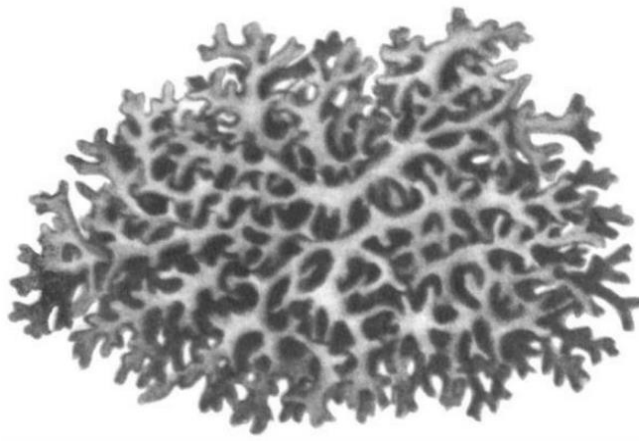


Рис. 5. Накипні лишайники

2. *Листуваті*, талом яких має вигляд лусочок або листоподібних пластинок (рис. 6). Найбільш проста слань листуватих лишайників має вигляд однієї великої округлої листоподібної пластинки, що досягає в діаметрі 10–20 см. Слань, що складається з однієї листоподібної пластинки, зветься монофільною.



а



б

Рис. 6. Листуваті лишайники: а – пармелія; б – цетрарія

Монофільна пластинчаста слань звичайно прикріплюється до субстрата тільки у своїй центральній частині за допомогою товстої короткої ніжки, що називають гомфом. Більш складною за будовою є листувата слань, розсічена на безліч дрібних лопастей. Як правило, вони зібрані в округлі розетки, але іноді утворюють слані невизначених, нескінченно різноманітних форм

Характерною рисою нижньої поверхні листуватих лишайників є те, що вона майже завжди утворює особливі органи, за допомогою яких листуватий лишайник прикріплюється до субстрата. На відміну від накипних лишайників, слань яких щільно зростається із субстратом, листуваті лишайники звичайно досить слабо з ним зв'язані й, у більшості випадків, можуть бути легко відділені від субстрату.

3. *Рунисті*, талом яких складається з гілочок або звисаючих «борід» (рис. 7). За організаційним рівнем рунисті лишайники представляють собою вищий етап розвитку слані. На відміну від накипних і листуватих форм лишайників, для яких характерний горизонтальний ріст гіфів, у рунистих лишайників спостерігається вертикально спрямований ріст гіфів і верхівковий ріст сланей.

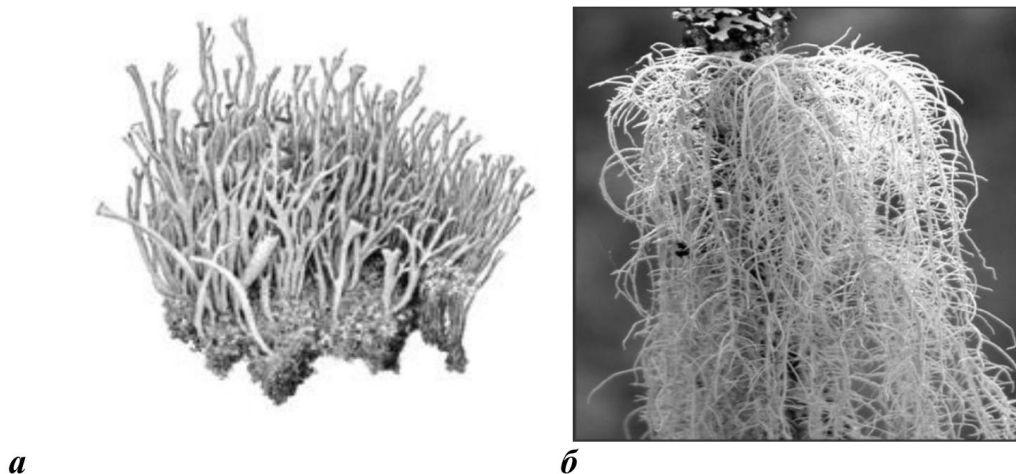


Рис. 7. Рунисті лишайники: а – кладонія; б – уснея

Рунисті лишайники звичайно прикріплюються до субстрата тільки невеликою ділянкою нижньої частини слані. Прямостоячі рунисті лишайники найчастіше прикріплюються до ґрунту тонкими різьїдами (грец. rhiza – корінь й eidos – вид) – нитковидними утвореннями, які виконують у грибів функцію кореня. Особливості використання лишайників для цілей біоіндикації. Все необхідне для життя лишайники отримують із повітря й атмосферних опадів, і при цьому не мають спеціальних пристосувань, що запобігають надходженню в їхні тіла різних забруднювачів. Талом лишайника не має кутикули, тому поглинання елементів проходить дуже швидко, і шкідливі речовини легко накопичуються без можливості виділення. Надходячи в талом, такі з'єднання руйнують хлоропласти водоростей, рівновага між компонентами лишайника порушується, і організм гине. Тому багато видів лишайників швидко зникають з територій, що піддаються значному забрудненню атмосферного повітря. Таким чином, лишайники є ідеальним об'єктом біоіндикації стану атмосферного повітря. Вимогливість лишайників до чистоти повітря зростає в ряді «накипні → листуваті → рунисті». Тобто самими витривалими і толерантними є накипні лишайники. Листуваті проявляють середню чутливість до забруднення повітря, а рунисті лишайники зникають при перших проявах забруднення.

Метод оцінки забруднення атмосферного повітря за допомогою лишайників отримав назву ліхеноіндикація. В ліхеноіндикації використовуються методи пасивного й активного спостереження. В

процесі пасивного спостереження вивчають кількість лишайників та їх видів, а також розміри покриття лишайниками поверхні субстрату в природному біотопі. При активному спостереженні ступінь забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами оцінюють за кількістю ушкодженого таллону (% від загальної площі лишайника) і за вмістом забруднюючих речовин у слані лишайника.

Порядок виконання роботи

Обирають район для дослідження й складають його карту з нанесенням ТЕС, заводів, потужних підприємств та великих автомагістралей. Розбивають досліджувану територію на квадрати розміром 10х10 м, 20х20 м, 50х50 м, 100х100 м (залежно від мети дослідження й розрідженості насаджень). У кожному квадраті вибирають 10 старих, але здорових дерев, що ростуть окремо. На кожному дереві підраховують кількість видів лишайників. При цьому, точну назву видів знати не обов'язково – досить відрізнити їх за формою талону. Потім проводять оцінку ступеня покриття деревного стовбура лишайником. Для цього на висоті 30 – 150 см на найбільш зарослу лишайниками частину кори дерева накладають рамку з розмірами 10х10 см і клітками 1х1 см (палетку). Підраховують, який відсоток загальної площі рамки займають лишайники. Крім дерев, додатково можна досліджувати заростання лишайниками каменів, ділянок ґрунту, стін будинків і т.д. Отримані результати заносять в таблицю 3.

Таблиця 2

Результати проведення ліхеноіндикації

Ознака	Дерева									
Кількість накипних лишайників	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість листуватих лишайників										
Кількість рунистих лишайників										
Ступінь покриття площі рамки накипними лишайниками, %										
Ступінь покриття площі рамки листуватими лишайниками, %										
Ступінь покриття площі рамки рунистими лишайниками, %										

Потім підраховують частоту зустрічальності кожного виду лишайників за формулою:

$$A^{\text{виду}} = \frac{m^{\text{виду}}}{n} \cdot 100, \%$$

де $m^{\text{виду}}$ – кількість лишайників даного виду; n – загальна кількість дерев у досліджуваному квадраті (у нашому випадку $n=10$). Визначають середній ступінь покриття площі рамки лишайниками кожного виду за формулою:

$$S^{\text{виду}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i, \%$$

де S_i – ступінь покриття площі рамки лишайниками окремого дерева, %.

Після цього кожному отриманому значенню частоти зустрічальності лишайників певного виду $A^{\text{виду}}$ й ступеню їхнього покриття $S^{\text{виду}}$, привласнюють свій умовний бал оцінки: відповідно $a^{\text{виду}}$ й $s^{\text{виду}}$ за шкалою, наведеною в табл. 3.

Таблиця 3

Оцінка частоти зустрічальності й ступеня покриття лишайниками за п'ятибальною шкалою

Умовний бал оцінки	Частота зустрічальності $A^{\text{виду}}$		Ступінь покриття $S^{\text{виду}}$	
	значення, %	оцінка	значення, %	оцінка
1	0-5,0	дуже рідко	0-5,0	дуже низький
2	5,1-20,0	рідко	5,1-20,0	низький
3	20,1-40,0	рідко	20,1-40,0	середній
4	40,1-60,0	часто	40,1-60,0	високий
5	60,1-100	дуже часто	60,1-100	дуже високий

Для кожного виду лишайників обчислюють середній умовний бал частоти зустрічальності й ступеню покриття за формулою:

$$M^{\text{виду}} = \frac{a_i^{\text{виду}} + S_i^{\text{виду}}}{2}$$

Після цього визначають показник відносної чистоти атмосфери:

$$Q = \frac{M^H + 2 \cdot M^L + 3 \cdot M^K}{30},$$

де M^H , M^L і M^K – середній умовний бал частоти зустрічальності й ступеню покриття накипних, листуватих і рунистих лишайників, відповідно. За даним показником згідно шкали, наведеної в табл. 4, роблять висновки щодо ступеня забруднення атмосферного повітря.

Таблиця 4

**Шкала оцінки забруднення атмосферного повітря за результатами
ліхеноіндикації**

Показник відносної чистоти атмосфери Q	Оцінка забруднення
0,0-0,20	сильне («лишайникова пустеля»)
0,21-0,40	досить сильне
0,41-0,60	середнє
0,61-0,80	незначне
0,81-1,0	забруднення відсутнє

Висновки

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Експрес-метод визначення вуглекислого газу в повітрі

Мета роботи: навчитися оцінювати концентрацію вуглекислого газу в повітрі доступним методом хімічної нейтралізації вуглекислого газу з розчином кальцинованої соди.

Прилади та обладнання

- шприц на 100 см³;
- кальцинована сода (0,005% -ий розчин);
- ваги технічні;
- фенолфталеїн (1% -ий розчин).

Порядок виконання роботи

В шприц об'ємом 100 см³ набирають 20 см³ 0,005%-го розчину соди з фенолфталеїном, що має рожеве забарвлення, а потім засмоктують 80 см³ повітря і струшують протягом 1 хв. Якщо не відбулося знебарвлення розчину, повітря зі шприца обережно вичавлюють, залишивши в ньому розчин, знову набирають порцію повітря і струшують ще 1 хв. Цю операцію повторюють 3 – 4 рази, після чого додають повітря невеликими порціями по 10 – 20 см³, кожен раз струшуючи розчин 1 хв до знебарвлення розчину. Підрахувавши загальний об'єм повітря, що пройшов через шприц, визначають концентрацію CO₂ в повітрі за даними, наведеними в табл. 5.

Таблиця 5

Вміст CO₂ в повітрі в залежності від об'єму повітря, що знебарвлює 20 см³ 0,005% -го розчину соди

Об'єм повітря, см ³	Концентрація CO ₂ , %	Об'єм повітря, см ³	Концентрація CO ₂ , %	Об'єм повітря, см ³	Концентрація CO ₂ , %
80	3,2	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	0,99	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

Висновки

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Визначення змісту радіонуклідів цезію та калію у витяжці листового опаду методом гамма-радіометрії

Мета роботи: освоєння методики гамма-радіометричного визначення з використанням РУГ-91 «Адані» об'ємної і питомої активності водної витяжки листового опаду, що зумовлена вмістом в них цезію-134, цезію-137 і калію-40.

Теоретичні положення

Вміст радіонуклідів в джерелах випромінювання оцінюється по їх активності. Активність (A_n) – міра інтенсивності розпаду радіоактивних речовин. Це кількість розпадів ядер атомів радіоактивної речовини в одиницю часу (в секунду), тобто швидкість розпаду ядер:

$$A_n = dN/dt,$$

де dN – очікуване число спонтанних ядерних перетворень, що відбуваються за проміжок часу dt . Для обчислення маси за відомої активності радіонукліда використовується залежність

$$m = \frac{A_n A T_{1/2}}{\ln 2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}},$$

де A_n – активність радіонукліда, Бк; m – маса радіонукліда, г; A – масове число радіонукліда; $T_{1/2}$ – період напіврозпаду, с.

При радіометричному контролі зразку виникає необхідність визначення часу, після закінчення якого питома активність знижується до допустимого рівня. Час зниження питомої активності до допустимого рівня визначається залежністю

$$t = -\frac{\ln \frac{A_t}{A_0} T_{1/2}}{0,693},$$

де A_0 – початкова активність проби, Бк; A_t – активність відповідно допустимого рівня, Бк; $T_{1/2}$ – період напіврозпаду радіонукліда; t – час зниження активності до допустимого рівня.

Для характеристики забруднення водної витяжки листя використовуються: питома активність A_m , що дорівнює активності одиниці маси джерела (Бк/кг або Кі/кг); об'ємна активність A_v , що характеризує активність одиниці об'єму джерела (Бк/м³ або Кі/м³), і поверхнева активність A_s , яка визначає активність одиниці поверхні джерела (Бк/м² або Кі/м²). Наприклад, допустиму концентрацію радіонуклідів у воді (об'ємну активність) зручніше виражати в Бк/дм³, а в повітрі – в Бк/м³.

Якщо щільність проби $\rho = 1$ кг/дм³, наприклад води, то виміряні значення об'ємної активності A_v , Бк/дм³, чисельно збігаються з питомою активністю A_m , Бк/кг.

Гамма-радіометр РУГ-91 «Адані» призначений для вимірювання сумарної питомої (об'ємної або масової) активності радіонуклідів цезію-134 і цезію-137, калію-40 в забруднених радіонуклідами зразках. Гамма-радіометр дозволяє проводити аналізи як в лабораторіях, так і побутових умовах.

Робочі умови експлуатації гамма-радіометра:

- температура навколишнього повітря від 10 до 35 °С;
- відносна вологість повітря до 75 % при 30 °С;
- атмосферний тиск 630 – 800 мм рт. ст.

Діапазон вимірюваної питомої (об'ємної) активності радіонуклідів цезію-134, 137, кБк/дм³, не менше: при часу вимірювання 20 хв 0,018 ... 5,0; при часу вимірювання 2 хв 0,06 ... 50,0. Межа основної відносної похибки вимірювань питомої активності цезію-134, 137, не більше: кожного разу вимірювання 20 хв в межах: 0,018 – 0,030 кБк/дм³ – 50 %; 0,030 – 0,100 кБк/дм³ – 30 %; 0,100 – 1,000 кБк/дм³ – 15 %; 1,000 – 5,000 кБк/дм³ – 10 %. При часу вимірювання 2 хв в межах: 0,060 – 0,100 кБк/дм³ – 50 %; 0,100 – 0,600 кБк/дм³ – 30 %; 0,600 – 10,0 кБк/дм³ – 15 %; 10,0 – 50,0 кБк/дм³ – 10 %. Діапазон вимірюваної питомої (об'ємної) активності радіонукліда калію-40, кБк/дм³, не менше: кожного разу вимірювання 20 хв 0,20 – 50,0; кожного разу вимірювання 2 хв 0,50 – 0,50.

Гамма-радіометр РУГ-91 «Адані» реєструє і аналізує амплітуду фотонного розподілу імпульсів. Сцинтиляційний детектор перетворює

гамма-кванти, що випускаються пробою, в фотонні імпульси. Дані автоматично аналізуються за допомогою алгоритму обробки апаратурного спектра по «енергетичним вікнам». Вимірювання проводяться в посудині Марінеллі об'ємом 0,5 дм³ в свинцевому захисному корпусі. Такий корпус збільшує точність вимірювань, виключаючи вплив зовнішніх джерел випромінювання.

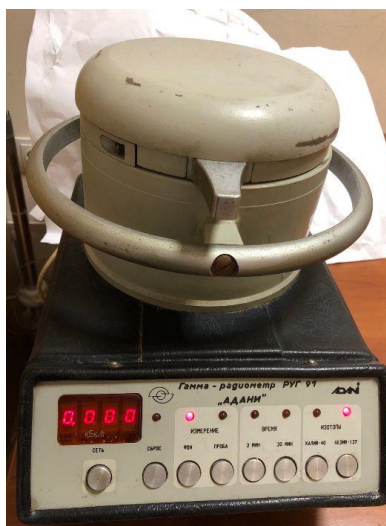


Рис. 8. Гамма-радіометр РУГ-91 «Адані»

В результаті дослідження записуємо значення A_v в таблицю 6, де A_m обчислюємо за формулою:

$$A_m = A_v / \text{щільність розчину}$$

Таблиця 6

№ досліда	Об'ємна активність A_v , кБк/дм ³ ; питома активність A_m , кБк/кг.	Проба № 1 Об'єм зразку, см ³ Маса, г	Проба № 1 Об'єм зразку, см ³ Маса, г
1			
2			

Поправочні коефіцієнти на об'єм зразку: 200 см³ – 2,6; 300 см³ – 1,6; 400 см³ – 1,2; 500 см³ – 1,0.

Висновки

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

Визначення бета-активності продукції рослинного походження шляхом радіометрії її зольних залишків

Мета роботи: освоєння методики визначення бета-активності радіоактивних матеріалів шляхом радіометрії їх зольних залишків з використанням радіометра РУБ-91.

Теоретичні положення

При визначенні активності різних видів продукції рослинного і тваринного походження використовується радіометр їх зольних залишків при малих значеннях питомої активності досліджуваних проб. При озоленні досліджуваних проб нелеткі радіонукліди концентруються в малих обсягах, що спрощує їх радіометрію і в значній мірі підвищує точність вимірювань. Відношення маси озоленої проби m_3 до її масі m в сирому вигляді називають коефіцієнтом озолення q :

$$q = m_3/m$$

Питома активність досліджуваної сирої проби

$$A_m = (q \cdot A_3)/m_3$$

де A_3 – активність зольного залишку, Бк/пробу.

Активність золи визначається відносним (порівняльним) і абсолютним методом.

Відносний метод використовується при дослідженнях активності зольних залишків, що мають масу 0,2 – 0,3 г. Цей метод заснований на порівнянні швидкості рахунку імпульсів, що реєструються від еталону $v_{ет}$ (джерела з відомою активністю $A_{ет}$) та озоленої проби v_3 , активність якої невідома.

Відношення швидкостей рахунку:

$$v_{ет}/v_3 = A_{ет}/A_3$$

Звідки

$$A_3 = (v_3 \cdot A_{ет})/v_{ет}$$

Для вимірів приймається еталон, який має такий же радіонуклідний склад, як і досліджувана проба. Як еталон при визначенні бета-активності продукції рослинного і тваринного походження в залежності від радіонуклідного складу проб застосовують стандартні джерела випромінювання: $^{90}_{38}\text{Sr} + ^{90}_{39}\text{Y}$; $^{137}_{55}\text{Cs}$ або інші бета-випромінювачі з відомою активністю.

При вимірах швидкість підрахунку імпульсів ν і активність A_m радіоактивного джерела з урахуванням самопоглинання випромінювання збігаються. Вимірювання лежать в основі абсолютного методу визначення активності проб. Цей метод використовується в бета-радіометрі РУБ-91 (рис. 9).

Цезій – хімічний аналог калію. Активно всмоктується кореневою системою рослин і їх наземною частиною. В організм тварин цезій потрапляє з кормами, водою і повітрям. З забрудненими продуктами харчування, водою і повітрям радіоактивний цезій потрапляє в організм людини і поширюється по всьому тілу. Накопичується цезій в м'язовій тканині, печінці та легких.

Стронцій складається з чотирьох стабільних ізотопів з масовими числами A 84, 86, 87 і 88. До продуктів поділу відносять радіоізотопи стронцію: довгоживучий $^{90}_{38}\text{Sr}$ ($T_{1/2} = 29,12$ років) – бета-випромінювач з енергією 546 кеВ і короткоживучий $^{89}_{38}\text{Sr}$ ($T_{1/2} = 50,5$ діб) – бета-випромінювач з енергією 1463 кеВ.

Стронцій за своїми хімічними властивостями близький до кальцію. Через кореневу систему і наземну частину рослин він надходить в усі частини рослини. Шляхи надходження стронцію в організм тварин і людини такі ж, як у цезію. Особливістю дії є те, що він накопичується в кістковій тканині, залишається там тривалий час і викликає саркоми кісток. Стронцій-90 дуже повільно виводиться з організму, для нього біологічний період напіввиведення становить близько 50 років.

При взаємодії бета-частинок з речовиною відбувається іонізація і збудження атомів, бета-частинки передають атомам свою кінетичну енергію і розсіюються. Втрата бета-частинкою енергії при кожному акті взаємодії з речовиною супроводжується зменшенням її швидкості

до теплової швидкості руху речовини. Негативні бета-частинки при цьому або залишається у вигляді вільного електрона, або приєднується до нейтрального атому або позитивного іону, перетворюючи перший в негативний іон, а другий – в нейтральний атом.

Позитивна бета-частинки (позитрон) в кінці свого шляху, стикаючись з електроном, з'єднується з ним і анігілює (самознищується).

В процесі анігіляції електрон і позитрон перестають існувати як речові частки і перетворюються в два гамма-кванти з енергією 0,511 МеВ кожен. Багаторазові зміни напрямку бета-частинки при її взаємодії з речовиною призводять до того, що глибина проникнення (довжина пробігу) її в речовину виявляється значно менше істинної довжини шляху бета-частинки в речовині, а іонізація носить об'ємний характер.

Іонізуюча здатність бета-випромінювань залежить від енергії бета-частинок. Кожне радіоактивне джерело бета-випромінювань випускає частки різної енергії – до 3 МеВ у природних і до 15 МеВ у штучних радіонуклідів. Маючи у багато разів меншу масу, ніж альфа-частинки, бета-частинки набувають значно більші швидкості. Так як заряд бета-частинки в два рази менше, ніж альфа-частинки, взаємодія електричного поля бета-частинки з електронами атомів в два рази слабкіше, ніж альфа-частинки і короткочасніше.

Середня величина питомої іонізації - лінійна щільність іонізації - в повітрі залежить від енергії бета-частинок і становить 100 – 300 пар іонів на 1 см шляху, а максимальний пробіг в повітрі досягає декількох метрів (максимум 44 м), в біологічній тканини – сантиметри, в металах – десятки мікрометрів. Швидкість руху бета-частинок в повітрі близька до швидкості світла (250 000 – 270 000 км/с).

Внесок різних радіонуклідів в сумарну активність рослин і живих організмів на територіях, що зазнали радіоактивного забруднення, залежить від фізико-хімічних властивостей ґрунту, щільності забруднення, виду рослин, структури харчування.

При радіометричному визначенні сумарної бета-активності висновок про вміст у досліджуваній пробі штучних радіонуклідів слід робити після зіставлення отриманих значень з її природної активністю, зумовленою наявністю калію-40.

Порядок виконання роботи

Проби рослинних продуктів поміщають в сушильну шафу і висушують при 100 – 120 °С. Сухі проби в порцелянових чашках нагрівають на електроплитці або під інфрачервоною лампою до повного обвуглення. Пересипають в порцелянові тиглі і поміщають в муфельну піч для озолення при 400 °С.

Принцип дії бета-радіометра оснований на аналізі амплітудного розподілу імпульсів, що виникають у сцинтиляційному датчику при попаданні в нього бета-частинок. Вираховування активності дослідного зразку проводиться на основі порівнянь отриманного амплітудного розподілу з функціями форми, записаними в пам'ять бета-радіометра.



Рис. 9. Загальний вигляд бета-радіометра РУБ-91 «АДАНИ»:

1 – досліджуваній зразок (проба); 2 – предметний столик;
3 – кнопка включення і виключення приладу; 4 – кнопка включення високовольтних джерел живлення ФЕУ; 5 – блок аналізаторів

Бета-радіометр дозволяє проводити вимірювання у твердих та сипучих зразках на фоні радіонуклідів техногенного походження: цезія-137, рутенія-106, церія-144 та природного радіонукліда калія-40.

Відповідна підготовка проби (сушка, озолення) дозволяє змінювати активність проб до 1,8 Бк/кг.

Час встановлення робочого режиму – не більше 60 хв. Час вимірювання активності проби встановлюється в діапазоні від 100 до 10000 с. Результати досліджень записуємо в таблицю 7.

Таблиця 7

Зразок	m, кг	m, кг	q	A _з , Бк/зразок ⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y	t, с	A _м , Бк/кг ⁹⁰ Sr

Висновки

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бекетов В. Є., Євтухова Г. П. Джерела та процеси забруднення атмосфери. Харків: ХНУМГ ім. О. Н. Бекетова, 2019. 113 с. <https://core.ac.uk/download/pdf/228030186.pdf>
2. Сарапіна М. В. Процеси та апарати пилогазоочищення: курс лекцій. Харків: НУЦЗУ, 2018. 125 с.
3. Крусір Г. В., Мадані М. М., Гаркович О. Л. Техніка та технології очищення газових викидів. Одеса: ОНАХТ-Одеса, 2017. 207 с.
4. Конспект лекцій з дисципліни «Технології очистки та утилізації промислових стоків та викидів» (Частина І) для студентів напряму підготовки 6.051301 - «Хімічна технологія», 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» та 6.051401 - «Промислова біотехнологія», Укладач: Олійник М.А. – Кам'янське: ДДТУ, 2016. - 56 стор.
5. Методы расчета систем комплексной пыле- и газоочистки. Монография / М.И. Шилев, Е.М. Хромова. М.: Издательство АСВ, 2018. 196 с.
6. Промислові технології та очищення технологічних і вентиляційних викидів: навч. посіб. / Ю. С. Юркевич, О. Т. Возняк, В. М. Желих ; МОНМС України, НУ «Львівська Політехніка». 2012. 120 с.
7. Северин Л. І., Петрук В. Г., Безвозюк І. І., Васильківський І. В. Природоохоронні технології (захист атмосфери) / Ч.І: Навчальний посібник. Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2010. https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/iebmd/severin_priodoohoronni_tehnologii/dop-m.html
8. Ратушняк Г.С., Лялюк О. Г. Засоби очищення газових викидів. Навчальний посібник. Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2008. 207 с.
9. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: навчальний посібник. Київ : Знання, 2007. 422 с.
10. Кузнецов И. Е., Шмат К. И., Кузнецов С. И. Оборудование для санитарной очистки газов. Справочник. Київ: Техніка, 1989. 204 с.
11. Охрана окружающей природной среды. Под ред. Дуганова Г. В. Київ : Вища школа, 1991. 320 с.

12. Кундро Н. В., Давыденко Н. В. Очистка вентвыбросов.
<http://elib.psu.by:8080/handle/123456789/3181>
13. Бекетов В. Є. Конспект лекцій із курсу «Прикладна аероекологія». Модуль 1 «Атмосфера. Основні терміни та визначення» (для студентів 2 курсу денної форми навчання за напрямом 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; В. Є. Бекетов, Г. П. Євтухова, Ю. Л. Коваленко. Х.: ХНАМГ, 2011. 44 с.
14. Бекетов В. Е. Конспект лекцій з розділу «Методи і прилади контролю концентрацій пилогазових домішок в атмосфері і в промислових викидах» з дисципліни «Методи і прибори контролю стану атмосферного повітря» (для студентів 5 курсу денної і 6 курсу заочної форм навчання спеціальності 7.070801 (7.04010601) - «Екологія і охорона навколишнього середовища») / Бекетов В. Е., Євтухова Г. П., Коваленко Ю. Л.; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. Х.: ХНАМГ, 2011. 40 с.
15. Экология города. Под ред. Ф.В. Стольберга. - К.: Лібра, - 2000. - 464 с.
16. КД 52.9.4.01–09. Методичні вказівки щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України. Київ: Державна гідрометеорологічна служба, 2010. 78 с.
17. Рижков С. С. Апарати для очищення повітря від забруднень : метод. вказівки / С. С. Рижков, Ю. М. Харитонов, В. В. Благодатний. - Миколаїв : УДМТУ, 2002. - 36 с.

ЗМІСТ

Передмова	4
Лабораторна робота №1 Визначення концентрації токсичних речовин у повітрі за допомогою газоаналізатора УГ-2	5
Лабораторна робота №2 Визначення концентрації соляної кислоти у повітрі	10
Лабораторна робота №3 Визначення вмісту аміаку в атмосфері довкілля	12
Лабораторна робота №4 Визначення забрудненості атмосферного повітря за допомогою ліхеноіндикації	16
Лабораторна робота №5 Експрес-метод визначення вуглекислого газу у повітрі	23
Лабораторна робота №6 Визначення вмісту радіонуклідів цезію та калію у витяжці листового опаду методом гамма-радіометрії	24
Лабораторна робота №7 Визначення бета-активності продукції листового походження шляхом радіометрії її зольних залишків	27
Список рекомендованої літератури	32